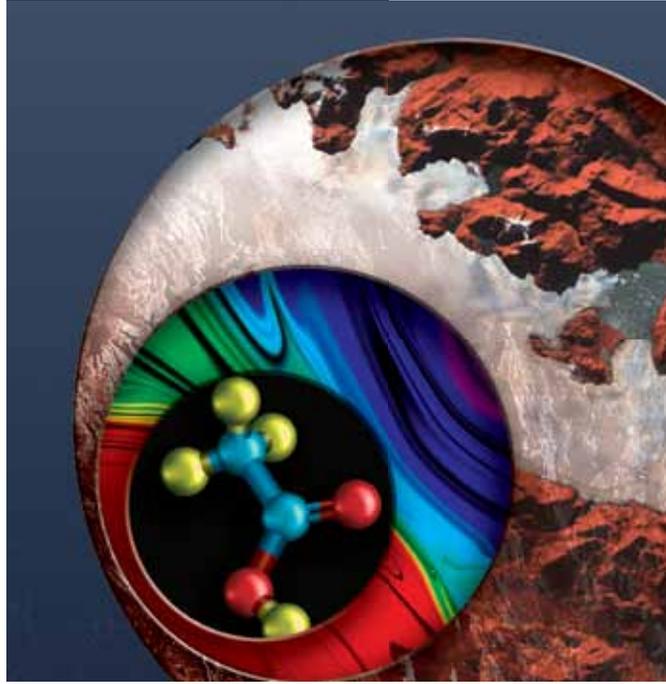


# الكيمياء

للفصل الثالث الثانوي - الفصل الدراسي الأول

قسم العلوم الطبيعية



العبيكان  
Obekon

Mc  
Graw  
Hill Education

يوزع مجاناً ولا يباع

قررت وزارة التربية والتعليم بالمملكة العربية السعودية  
تدريس هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

طبعة تجريبية  
١٤٣٢ هـ - ٢٠١١ م

Original Title:  
**Chemistry**  
**Matter and Change**

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

## الكيمياء

أعدت النسخة العربية: شركة العبيكان للأبحاث والتطوير

التحرير والمراجعة والمواءمة

موسى عطا الله الطراونة

ناصر بن محمد بن طرجم الدوسري

خليل يوسف سمريين

التعريب والتحرير اللغوي

نخبة من المتخصصين

إعداد الصور

د. سعود بن عبدالعزيز الفراج

الإشراف

د. أحمد محمد رفيع

[www.macmillanmh.com](http://www.macmillanmh.com)



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

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

حقوق الطبع الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل ©، ٢٠٠٨م.

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

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

ويأتي كتاب الكيمياء للصف الثالث الثانوي للفصل الدراسي الأول في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم وتعلم هاتين المادتين، بحيث يكون للطلاب الدور الرئيس والمحوري في عمليتي التعليم والتعلم.

وقد جاء هذا الكتاب في خمسة فصول، هي: المخاليط والمحاليل، الطاقة والتغيرات الكيميائية، سرعة التفاعلات الكيميائية، الاتزان الكيميائي، الأحماض والقواعد.

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

كما أكدت فلسفة الكتاب أهمية إكساب الطالب المنهجية العلمية في التفكير والعمل، وتزويده بمهارات عقلية وعملية ضرورية، منها: التجارب الاستهلاكية، والتجارب العلمية الأخرى، والإثراء العلمي، بالإضافة إلى حرصها على ربط المعرفة مع واقع حياة الطالب، من خلال ربطها مع الرياضيات، وفروع العلم الأخرى، والتقنية والمجتمع.

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

# قائمة المحتويات

## الفصل 1

### المخاليط والمحاليل 6

- 1-1 أنواع المخاليط 8
- 1-2 تركيز المحاليل 13
- 1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان 23
- 1-4 الخواص الجامعة للمحاليل 32
- في الميدان: مهن: كيميائي البيئة 39

## الفصل 2

### الطاقة والتغيرات الكيميائية 48

- 2-1 الطاقة 50
- 2-2 الحرارة 57
- 2-3 المعادلات الكيميائية الحرارية 63
- 2-4 حساب التغير في المحتوى الحراري 69
- كيف تعمل الأشياء؟ المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود 77

## الفصل 3

### سرعة التفاعلات الكيميائية 86

- 3-1 نموذج لسرعة التفاعلات الكيميائية 88
- 3-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل 96
- 3-3 قوانين سرعة التفاعل 101
- الكيمياء والصحة: سرعة التفاعل ودرجة حرارة الجسم 105

## الفصل 4

### الاتزان الكيميائي 114

- 4-1 حالة الاتزان الديناميكي 116
- 4-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي 129
- 4-3 استعمال ثوابت الاتزان 136
- الكيمياء والصحة: ارتفاع الهيموجلوبين إلى مستوى التحدي 147

## الفصل 5

### الأحماض والقواعد 156

- 5-1 مقدمة في الأحماض والقواعد 158
- 5-2 قوة الأحماض والقواعد 168
- 5-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني 174
- 5-4 التعادل 183
- الكيمياء من واقع الحياة: تفاعلات الأحماض والقواعد وعملية الخبز 193
- المصطلحات 204
- الجدول الدوري للعناصر 212



خرسانة أسمنتية

**الفكرة العامة** يوجد المحلول في صورة غاز أو سائل أو صلب اعتماداً على الحالة الفيزيائية للمذيب.

## 1-1 أنواع المخاليط

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

## 1-2 تركيز المحالييل

**الفكرة الرئيسية** يمكن التعبير عن التركيز بالنسبة المئوية أو بالمولات.

## 1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

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

## 1-4 الخواص الجامعة للمخاليط

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

## حقائق كيميائية

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



فولاذ

## نشاطات تمهيدية

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

### المطويات

منظمات الأفكار



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

**خطوة 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.

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

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

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

المراجع محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع:

[www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

## تجربة استهلاكية

كيف تتغير الطاقة عند تكوين المحاليل؟

تتغير الطاقة عند تكوين المحلول نتيجة تأثير قوتين: قوة الجذب بين الجزيئية بين جسيمات كل مادة في المحلول، وقوة التجاذب بين جسيمات المذاب والمذيب معًا. فكيف يمكن ملاحظة هذا التغير؟



### خطوات العمل

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

### تحليل النتائج

1. قارن أي العمليتين السابقتين كانت طاردة للطاقة، وأيها كانت ماصة لها؟
  2. استنتج اكتب أمثلة من واقع حياتك على عمليات ذوبان طاردة للطاقة، وأخرى ماصة لها؟
- استقصاء** إذا أردت زيادة التغير في درجة الحرارة، فأيهما يجب إضافته بكمية أكبر: المذاب أم المذيب؟ فسر إجابتك.

## أنواع المخاليط Types of Mixtures

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

**الربط مع الحياة** إذا ملأت دلوًا بآء البحر فسوف تلاحظ أن بعض المواد تترسب في قاع الدلو، ويظل الماء مالحًا مَّها 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 تتمزج مكوناتها تمامًا معًا؛ أي يمكن تمييز كل منها. وهناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي.

**المعلق** مخلوط يحتوي على جسيمات يمكن أن تترسب - بالترسيق - إذا تركت فترة دون تحريك. انظر الشكل 1-1؛ فالوحد 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؛ المادة الصلبة في القاع والسائل فوقها، ولكن عند تحريك المخلوط المعلق سرعان ما تبدأ المادة الصلبة في الانسياب، وكأنها سائل. وتسمى المادة التي تسلك هذا السلوك المادة التي تتميع بالهز أو التحريك. وهناك أنواع من الطين تتميع جسيماتها بسرعة؛ استجابة للهز أو الحركة؛ تستخدم في مناطق الزلازل الأرضية، فتشيد المباني فوقها.

تقارن بين خصائص المخاليط المعلقة والمخاليط الغروية والمحاليل.

تعرف أنواع المخاليط الغروية وأنواع المحاليل.

تصف القوى الكهروسكونية في المخاليط الغروية.

### مراجعة المفردات

**المذاب** : مادة تذوب في المحلول.

### المفردات الجديدة

المخلوط المعلق

المخلوط الغروي

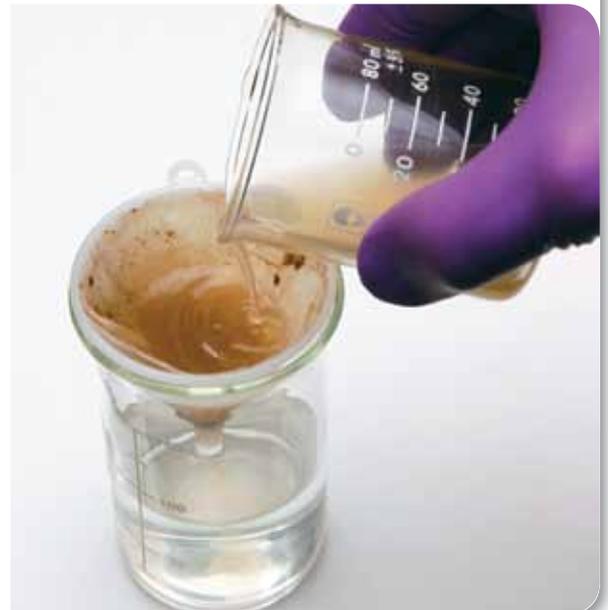
الحركة البراونية

تأثير تندال

المادة غير الذائبة

المادة الذائبة

**الشكل 1-1** يمكن فصل المخلوط المعلق إذا ترك دون تحريك فترة من الزمن أو فصله بواسطة الترشيح.



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

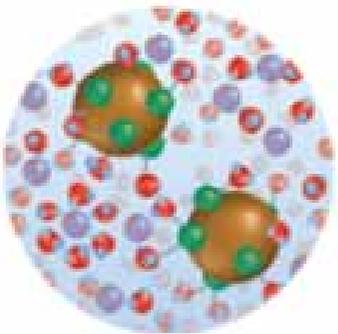
**المخاليط الغروية** لأن حجوم جسيمات المخلوط المعلق أكبر من حجوم الذرات فإنها يمكن أن تترسب في المخلوط. ويسمى المخلوط غير المتجانس الذي يتكون من جسيمات متوسطة الحجم **المخلوط الغروي**. وتتراوح أقطار الجسيمات في المخلوط الغروي بين 1 nm و 1000 nm، ولا تترسب. فعلى سبيل المثال، يعد الحليب مخلوطاً غروياً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

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

تُمنع جسيمات المذاب من الترسب في المخاليط الغروية؛ وذلك لوجود مجموعات ذرية أو قطبية مشحونة على سطحها، تقوم بجذب المناطق الموجبة أو السالبة لجسيمات المذيب، مما ينتج عنه تكون طبقات كهروسكونية حول الجسيمات، كما هو موضح في الشكل 1-2، مما يجعل الطبقات تتنافر بعضها مع بعض عندما تصطدم جسيمات المذاب معاً، لذا تبقى الجسيمات في المخلوط الغروي ولا تترسب.

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

**الشكل 1-2** تكون جسيمات المذيب طبقات مشحونة حول جسيمات المذاب حيث تتنافر هذه الطبقات بعضها مع بعض، وتمنع جسيمات المذاب من الترسب.



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

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

✓ **ماذا قرأت؟ صف** سببين لعدم ترسب جسيمات المخلوطة الغروية.

**تأثير تبدال** يظهر المخلوطة الغروية المركز عادةً معتمًا أو معكراً، ولكن المخلوطة الغروية المخففة يظهر أحياناً صافياً كالمحاليل. وتبدو المخاليط الغروية المخففة كالمحاليل المتجانسة؛ لأن جسيمات المذاب فيها صغيرة جداً، إلا أنها تعمل على تشتيت الضوء، وتسمى هذه الظاهرة **تأثير تبدال**.

يظهر الشكل 1-3 مرور حزمة من الضوء من خلال مخلوطين مجهولين. ويمكنك ملاحظة كيف تعمل جسيمات المذاب في المخلوطة الغروية على تشتيت الضوء، على خلاف جسيمات المحلول. وتُظهر المخاليط المعلقة أيضاً تأثير تبدال، أما المحاليل فلا يمكن أن تظهر هذه الظاهرة. كما يمكنك ملاحظة تأثير تبدال عندما تشاهد مرور أشعة الشمس خلال الهواء المشبع بالدخان، أو مرور ضوء خلال الضباب. ويستخدم تأثير تبدال في تحديد كمية المذاب في المخلوطة المعلق.

## المخاليط المتجانسة Homogeneous Mixtures

تظهر بعض المحاليل - ومنها الهواء الجوي وماء المحيط والفولاذ - غير متشابهة، إلا أنها جميعاً تشترك في خصائص معينة. 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** قد يوجد المحلول في صورة غاز أو سائل أو صلب، اعتماداً على الحالة الفيزيائية للمذيب، كما هو موضح في الجدول 1-2. الهواء محلول غازي والمذيب فيه هو غاز النيتروجين. وقد تكون أسلاك تقويم الأسنان التي تضعها على أسنانك مصنوعة من النيتينول، وهو محلول صلب يتكون من التيتانيوم المذاب في النيكل. إلا أن معظم المحاليل تكون في الحالة السائلة. لقد تعلمت أن 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.



**الشكل 1-3** تشتت الجسيمات في المخلوطة

الغروية الضوء، بعكس الجسيمات في المحلول، وهو ما يسمى تأثير تبدال. لذا تُرى حزمة الضوء في المخلوطة الغروية.

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

## 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 تندال. واختر تقنية لجمع أو تفسير البيانات.

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

#### البيانات والملاحظات

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

**تكوين المحاليل** تسمى المادة التي تذوب في المذيب **المادة الذائبة**. فمثلًا ذوبان السكر في الماء حقيقة يمكن أن تكون قد تعلمتها من خلال إذابة السكر في الماء لعمل شراب محليّ كالشاي أو عصير الليمون. وتسمى المادتان السائلتان اللتان تذوب إحداهما في الأخرى بأي نسبة المواد القابلة للامتزاج، ومنها مانع التجمد المذكور في الجدول 1-2. وتسمى المادة التي لا تذوب في المذيب **مادة غير ذائبة**، فالرمل مثلًا لا يذوب في الماء. وتسمى السوائل التي تمتزج معًا فترة قصيرة عند خلطها، وتفصل بعدها السوائل غير الممتزجة. فالزيت مثلًا لا يمتزج مع الخل؛ أي أنّ الزيت لا يذوب في الخل.

#### أنواع المحاليل وأمثلة عليها

#### الجدول 1-2

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

# التقويم 1-1

## الخلاصة

1. يمكن تمييز مكونات المخلوط غير المتجانس. **الفكرة الرئيسية** فسر استعمال خصائص ماء البحر لوصف خصائص المخاليط.
2. هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي. فرق بين المخلوط الغروي والمخلوط المعلق.
3. حدّد الأنواع المختلفة للمحاليل، وصف الخصائص المميزة لكل منها.
4. الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات المخلوط الغروي. فسر مستخدماً تأثير تندال، لماذا تكون القيادة خلال أجواء الضباب المنخفضة؟
5. قد يوجد المحلول في إحدى الحالات. صف الأنواع المختلفة للمخاليط الغروية.
6. الفيزيائية الثلاث: السائلة أو الغازية أو الصلبة، اعتماداً على الحالة الفيزيائية للمذيب. فسر لماذا تبقى جسيمات المذاب في المخلوط الغروي منتشرة؟
7. لخص ما الذي يسبب الحركة البراونية؟
8. قارن كوّن جدولاً تلخص فيه خصائص المخلوط المعلق والمخلوط الغروي والمحلول. يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازاً أو سائلاً أو صلباً.

## تركيز المحاليل Concentration of Solutions

**الفكرة الرئيسية** يمكن التعبير عن التركيز بالنسبة المئوية أو بالمولات.

**الربط مع الحياة** هل تذوقت يوماً كأس شاي فوجدته قوي المذاق أو مر الطعم؟ لتعديل الطعم فإنك تقوم بإضافة السكر لتحليته أو بإضافة الماء لتخفيفه. وما تقوم به في كلتا الحالتين هو تغيير تركيز الجسيمات المذابة في الماء.

- تصف التركيز باستعمال وحدات مختلفة.
- تحدد تركيز المحاليل.
- تحسب مولارية المحلول.

### 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 إيريقي الشاي في الشكل 1-4؛ فأحد الإبريقين يحتوي شايًا أكثر تركيزاً من الآخر. وعمومًا يحتوي المحلول المركز على كمية كبيرة من المذاب. فالشاي ذو اللون الغامق يحتوي على جسيمات شاي أكثر من الشاي ذي اللون الفاتح، والعكس صحيح؛ إذ يحتوي المحلول المخفف على كمية أقل من المذاب؛ فالشاي ذو اللون الفاتح في الشكل 1-4 محلول مخفف يحتوي على جسيمات شاي أقل من الشاي ذي اللون الغامق.

وعلى الرغم من أن التعبير الوصفي عن التركيز مفيد، إلا أنه غالبًا ما يتم التعبير عن التركيز كميًا. ومن أكثر التعبيرات الكمية عن التركيز شيوعًا النسبة المئوية بالكتلة أو النسبة المئوية بالحجم أو المولارية أو المولالية. وكل هذه الطرائق تعبر عن التركيز بوصفه نسبة بين كمية المذاب وكمية المذيب أو المحلول ككل. ويحتوي الجدول 1-3 وصفًا لكل طريقة.

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

الجدول 1-3	
نسب التركيز	وصف التركيز
$100 \times \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}}$	النسبة المئوية بالكتلة
$100 \times \frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}}$	النسبة المئوية بالحجم
$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول (بالتر)}} \times 1000$	المولارية
$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{كتلة المذيب (kg)}}$	المولالية
$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{عدد مولات المذاب + عدد مولات المذيب}}$	الكسر المولي

### المفردات الجديدة

التركيز

المولارية

المولالية

الكسر المولي

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



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

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

### النسبة المئوية بالكتلة

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

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

## مثال 1-1

**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 بالكتلة لكلوريد الصوديوم NaCl في المحلول؟

### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

كتلة المذاب = 3.6 g NaCl

كتلة المذيب = 100 g H<sub>2</sub>O

#### المطلوب

النسبة المئوية = ؟

### 2 حساب المطلوب

جد كتلة المحلول

كتلة المحلول = كتلة المذيب + كتلة المذاب

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

احسب النسبة المئوية بالكتلة

اكتب معادلة النسبة المئوية بالكتلة

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

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

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

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

### 3 تقويم الإجابة

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

## مسائل تدريجية

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

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

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



الشكل 5-1 الديزل الحيوي  
وقود بديل ينتج عن مصادر  
متجددة، منها الزيت النباتي.

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

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

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

يعد الديزل الحيوي الموضح في الشكل 5-1 وقودًا بديلًا نظيفًا للاحتراق، ينتج عن موارد متجددة، ويستعمل في محركات الديزل مع القليل من التحسينات أو دونها. والديزل الحيوي سهل الاستعمال وقابل للتحلل الحيوي، وغير سام، ولا يحتوي على الكبريت أو المركبات الأروماتية (العطرية)، كما أنه لا يحتوي على النفط، ولكن يمكن مزجه مع ديزل "النفط" لتكوين الديزل الحيوي الممزوج؛ الذي يتكون من 20% بالحجم ديزل حيوي و 80% بالحجم ديزل من النفط.

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

#### مسائل تدريبية

13. ما النسبة المئوية بالحجم للإيثانول في محلول يحتوي على 35 ml إيثانول مذاب في 155 ml ماء؟
14. ما النسبة المئوية بالحجم لكحول أيزوبروبيل، في محلول يحتوي على 24 ml من كحول الأيزوبروبيل مذاب في 1.1 L من الماء؟
15. تحدّد إذا استعمل 18 ml من الميثانول لعمل محلول مائي منه تركيزه 15% بالحجم، فما حجم المحلول الناتج بالملتر؟

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

#### المولارية

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

المولارية هي عدد مولات المذاب مقسومة على حجم المحلول باللتر.

✓ **ماذا قرأت؟** احسب التركيز المولاري لمحلول حجمه 1.0 L، يحتوي على

0.5 mol من المذاب؟

**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.

**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 إذ 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 كل لتر من المحلول.

#### المطلوب

تركيز المحلول = **M** ؟

#### المعطيات

كتلة المذاب = 5.10 g  $C_6H_{12}O_6$

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

حجم المحلول = 100.5 ml

### 2 حساب المطلوب

احسب عدد مولات  $C_6H_{12}O_6$

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

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

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

وحول حجم  $H_2O$  إلى وحدة لتر

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

0.1005 L اكتب معادلة المولارية

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

عوض عن عدد مولات المذاب = 0.0282 mol

وحجم المحلول = 0.1005 L

$$\mathbf{M} = \frac{0.0282 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{1 \text{ L}} = \mathbf{0.282 \text{ M}}$$

اقسم الأرقام والوحدات

### 3 تقويم الإجابة

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

#### مسائل تدريبية

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

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

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

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



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



**خطوة 2** يضاف المذاب إلى قارورة حجمية مناسبة.



**خطوة 1** تقاس كتلة المذاب.

**الشكل 6-1** يبين الخطوات المتبقية

لتحضير محلول كبريتات النحاس.

**فسر لماذا لا يمكنك وضع 375 g من**

**كبريتات النحاس مباشرة في 1.0 L**

**من الماء للحصول على محلول تركيزه**

**1.5 M ؟**

**تحضير المحاليل القياسية** وبعد أن عرفت كيفية حساب مولارية المحلول كيف يمكنك تحضير محلول مائي حجمه 1 L وتركيزه 1.50 M من كبريتات النحاس المائية  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ؟ يحتوي محلول  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  الذي تركيزه 1.5 M على 1.5 mol  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  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، وأن المحلول يحتوي على 1.50 mol  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، أي 375 g، وهي كتلة يمكن قياسها بالميزان.

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

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. لأنه مثل المواد الأخرى، تعمل  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  على زيادة حجم المحلول عن الحجم المطلوب. لذلك يجب استعمال كمية من الماء تقل عن 1.0 L للحصول على 1.0 L من المحلول، كما هو موضح في الشكل 6-1. 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 على 1.5 mol  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  لكل لتر من المحلول. لذلك يحتوي 1 L 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.

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

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.

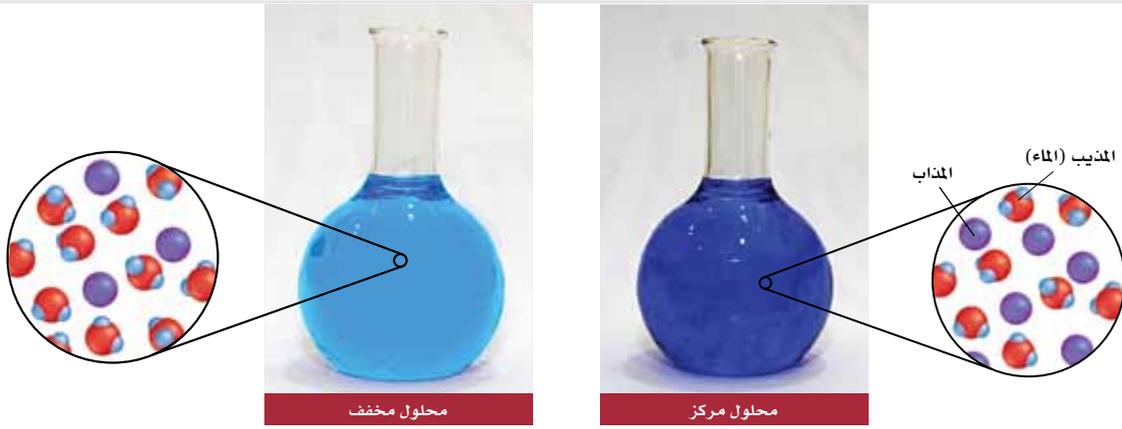
### مسائل تدريبية

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  $\text{NaOH}$  في محلول مائي حجمه 250 ml وتركيزه 3.0 M؟

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



**الشكل 1-7** يمكن تخفيف المحلول المركز بإضافة كمية من المذيب. لاحظ أن عدد مولات المذاب لا يتغير عند تخفيف المحلول المركز.

**تخفيف المحاليل المولارية** تستعمل في المختبر محاليل لها تراكيز محددة تسمى المحاليل القياسية، ومنها محلول حمض الهيدروكلوريك HCl الذي تركيزه 12 M. تذكر أن المحاليل المركزة تحتوي على كمية كبيرة من المذاب. ويمكنك تحضير محلول أقل تركيزاً عن طريق تخفيف كمية من المحلول القياسي بإضافة المزيد من المذيب. وعندما تضيف المذيب تزيد عدد جسيماته التي تتحرك خلالها جسيمات المذاب، كما هو موضح في الشكل 1-7، ومن ثم يقل تركيز المحلول.

كيف يمكنك تحديد حجم المحلول القياسي اللازم تخفيفه؟

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

عدد مولات المذاب = المولارية × حجم المحلول بالتر.

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

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

معادلة التخفيف

$$M = \text{المولارية}$$

$$V = \text{الحجم}$$

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

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

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

## المفردات

### مفردات أكاديمية

مرکز Concentrated

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 بالتر ثم تحويله إلى مللتر.

**المطلوب**  
 $V_1 = ? \text{ ml}$

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

### 2 حساب المطلوب

حل المعادلة لإيجاد حجم المحلول القياسي  $V_1$

اكتب معادلة التخفيف

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

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

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

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

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

حل لإيجاد  $V_1$

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

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

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

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

### 3 تقويم الإجابة

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

### مسائل تدريجية

24. ما حجم المحلول القياسي  $3.00 \text{ M KI}$  اللازم لتحضير محلول مخفف منه تركيزه  $1.25 \text{ M}$  وحجمه  $0.300 \text{ L}$ ؟
25. ما حجم المحلول القياسي  $0.50 \text{ M H}_2\text{SO}_4$  بالملترات اللازم لتحضير محلول مخفف منه حجمه  $100 \text{ ml}$  وتركيزه  $0.25 \text{ M}$ ؟
26. تحدّد إذا خفف  $0.5 \text{ L}$  من المحلول القياسي  $5 \text{ M HCl}$  ليصبح  $2 \text{ L}$  فما كتلة  $\text{HCl}$  الموجودة في المحلول؟

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

### المولالية

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

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

### مثال 1-4

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

### 1 تحليل المسألة

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

### المعطيات

$$\text{كتلة الماء } H_2O = 100.0 \text{ g}$$

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

### المطلوب

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

### 2 حساب المطلوب

احسب عدد مولات NaCl

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

حول كتلة  $H_2O$  من جرامات إلى كيلوجرامات باستعمال معامل

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

التحويل 1kg / 1000 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 mol NaCl وكتلة المذيب

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

0.1000 kg  $H_2O$

### 3 تقويم الإجابة

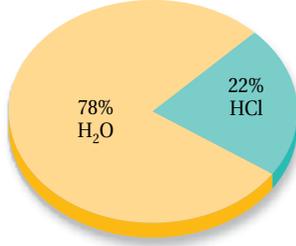
هناك أقل من 1 / 10 mol من المذاب في 1 / 10 Kg من الماء، لذا ستكون المولالية أقل من واحد، وهي كذلك.

### مسائل تدريجية

27. ما مولالية محلول يحتوي على 10.0 g  $Na_2SO_4$  ذائبة في 1000.0 g ماء؟

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

### محلول حمض الهيدروكلوريك



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

$$0.22 + 0.78 = 1.00$$

#### الشكل 1-8 يشير الكسر المولي

إلى عدد مولات المذاب والمذيب بالنسبة إلى عدد المولات الكلي في المحلول. ويمكن النظر إلى الكسر المولي على أنه نسبة مئوية.

**الكسر المولي** إذا عرفت عدد مولات المذاب والمذيب أمكنك التعبير عن تركيز المحلول بما يعرف **بالكسر المولي**، وهو نسبة عدد مولات المذاب 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.

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

فعلى سبيل المثال: يحتوي 100 g من محلول حمض الهيدروكلوريك على 36 g HCl و 64 g H<sub>2</sub>O، كما هو موضح في الشكل 1-8. ولتحويل هذه الكتل إلى مولات عليك استعمال الكتل المولية كعوامل 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:

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

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

#### مسائل تدريبية

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

30. تحدّد إذا كان الكسر المولي لحمض الكبريتيك H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> في محلول مائي يساوي 0.325 فما كتلة الماء بالجرامات الموجودة في 100 ml من المحلول؟

## التقويم 1-2

### الخلاصة

- يقاس التركيز كمًّا ونوعًا.
  - المولارية هي عدد مولات المذاب في 1.0 L من المحلول.
  - المولالية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1.0 kg من المذيب.
  - لا يتغير عدد مولات المذاب خلال التخفيف.
31. **الفكرة الرئيسية** قارن بين خمس طرائق للتعبير عن تراكيز المحاليل كمياً.
32. وضح التشابه والاختلاف بين 1M من محلول NaOH و 1m من محلول NaOH.
33. احسب النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الصوديوم في علبة حساء الدجاج إذا احتوت على 450 mg كلوريد صوديوم في 240.0 g من الحساء.
34. أوجد كتلة كلوريد الأمونيوم  $\text{NH}_4\text{Cl}$  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.

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

## مراجعة المفردات

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

## المفردات الجديدة

الذوبان

حرارة المحلول

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.

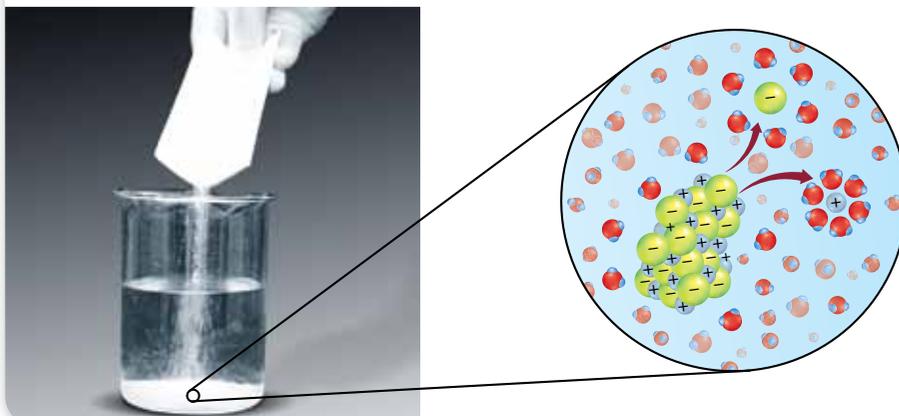
### عملية الذوبان The Solvation Process

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

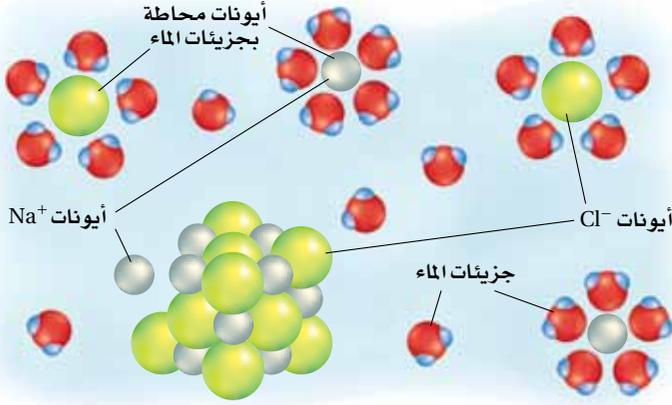
فعند وضع مذاب صلب في مذيب، تحيط جسيمات المذيب بسطح المذاب الصلب تمامًا. فإذا كانت قوى التجاذب المتكونة بين جسيمات المذاب والمذيب أكبر من قوى التجاذب بين جسيمات المذاب نفسه فسوف تجذب جسيمات المذيب جسيمات المذاب، وتفصل بعضها عن بعض وتحيط بها، ثم تتعد جسيمات المذاب المحاطة بجسيمات المذيب عن المذاب الصلب،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

وتسمى عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب **الذوبان**، كما هو موضح في الشكل 9-1، فالمذيب يذيب شبيهه "like dissolves like"، قاعدة عامة تستعمل لتحديد ما إذا كانت عملية الذوبان تحدث في مذيب معين. ولتحديد ما إذا كان المذيب والمذاب متماثلين يجب دراسة قطبية المركبات ونوع الروابط بين الجزيئية فيها.

الشكل 9-1 يأخذ الملح في الانفصال عندما يوضع في الماء. إذ تسحب جسيمات المذاب وتحاط بجسيمات المذيب.



### ذوبان ملح الطعام NaCl في الماء



**الشكل 1-10** يذوب كلوريد الصوديوم في الماء عندما تحيط جزيئات الماء بأيونات الصوديوم والكلوريد. لاحظ كيف تحيط جزيئات الماء القطبية بكل من أيونات الكلور السالبة وأيونات الصوديوم الموجبة.

**محاليل المركبات الأيونية** تعلم أن جزيئات الماء قطبية، وهي في حركة مستمرة، حسب نظرية الحركة الجزيئية. فعند وضع بلورة من مركب أيوني مثل كلوريد الصوديوم في الماء تصطدم جزيئات الماء بسطح البلورة. وعندها تجذب أطراف (أقطاب) جزيئات الماء المشحونة أيونات الصوديوم الموجبة وأيونات الكلوريد السالبة. وهذا التجاذب بين الأقطاب والأيونات هو 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 1-10.

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 ساهمت اكتشافات محاليل ومخاليط معينة - ومنها الجبيرة الطبية المحضرة من الجبس - في تطوير الكثير من المنتجات والعمليات، كما هو موضح في الشكل 1-11.

### الشكل 1-11 كيمياء المحاليل

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

**1916م** طور الأطباء محلول الجلسرين الذي يسمح بتخزين الدم عدة أسابيع بعد سحبه.



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

1910

1890

1870

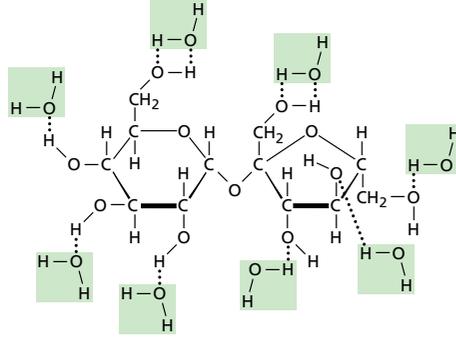
**1899م** سجلت براءة اختراع لأحداث تقنية تستخدم في التقليل من حجم حبيبات الدهن الذائبة في الحليب؛ لمنع تكون طبقة زبد في عملية تسمى التجانس.

**1866م** كان اختراع السلولويد، وهو عبارة عن محلول من الكافور والسليولوز، إشارة إلى بدايات صناعة البلاستيك.





**الشكل 1-12** يحتوي جزيء السكر على 8 روابط O-H قطبية، وتكوّن جزيئات الماء القطبية روابط هيدروجينية مع الروابط O-H في السكر، وتسحب جزيئات السكر نحو المحلول.



**محاليل المركبات الجزيئية** يعد الماء مذيّبًا جيدًا للكثير من المركبات الجزيئية. فسكر المائدة عبارة عن المركب الجزيئي السكر، وتحتوي جزيئاته القطبية على عدة روابط من O-H، كما هو موضح في الشكل 1-12. وبمجرد ملاسة بلورات السكر الماء، تصطدم جزيئات الماء بالسطح الخارجي للبلورات، وتصبح كل رابطة O-H في السكر موقعا لتكوين روابط هيدروجينية مع الماء، لذا يتم التغلب على قوى التجاذب بين جزيئات السكر وبقوى التجاذب التي تتكون بين جزيئاته وجزيئات الماء القطبية، فتترك جزيئات السكر البلورة، وتصبح ذائبة في الماء.

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

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

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



2010

1990

1970

1950

**1980م** تم تطوير لوح من الجبس ليكون نظاماً مانعاً للنار، يفصل بين المنزل ووحدات التحكم.

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

**حرارة المحلول** تنفصل جسيمات المذاب بعضها عن بعض خلال عملية الذوبان، وتتباعد جسيمات المذيب لتسمح لجسيمات المذاب بالدخول بينها. ويلزم طاقة للتغلب على قوى التجاذب التي بين جسيمات المذاب والتي بين جسيمات المذيب، لذلك فكلتا الخطوات ماصة للطاقة. وعند خلط جسيمات المذيب مع جسيمات المذاب تتجاذب جسيماتها وتنتقل الطاقة، لذا فإن هذه الخطوة في عملية الذوبان طاردة للطاقة. ويسمى التغير الكلي للطاقة الذي يحدث خلال عملية تكون المحلول **حرارة المحلول**. وكما لاحظت في التجربة الاستهلاكية أن بعض المحاليل تنتج الطاقة في أثناء تكونها، بينما بعضها الآخر يحتاج أو يمتص طاقة خلال تكونه. فمثلاً، بعد ذوبان نترات الأمونيوم في وعاء يحوي ماء يصبح الوعاء بارداً، بينما بعد ذوبان كلوريد الكالسيوم في وعاء يحوي ماء يصبح الوعاء ساخناً.

✓ **ماذا قرأت؟ فسّر** لماذا تمتص بعض المحاليل طاقة في أثناء تكونها بينما يحتاج بعضها الآخر إلى الطاقة في أثناء تكونه؟

## العوامل المؤثرة في الذوبان Factors That Affect Solvation

يحدث الذوبان عندما تتصل جسيمات المذاب والمذيب بعضها ببعض. ويبين الشكل 1-13 ثلاث طرائق شائعة لزيادة التصادمات بين جسيمات المذاب والمذيب، ومن ثم زيادة سرعة الذوبان، وهي: التحريك، وزيادة مساحة سطح المذاب، ورفع درجة حرارة المذيب.

**التحريك** يعمل تحريك المحلول على إبعاد جسيمات المذاب الذائبة عن سطح الاتصال بسرعة أكبر، وبذلك يسمح بحدوث تصادمات أخرى بين جسيمات المذاب والمذيب. ومن دون تحريك المحلول تتحرك الجسيمات الذائبة بعيداً عن مناطق الاتصال ببطء.

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

**الحرارة** تتأثر سرعة الذوبان بدرجة الحرارة. يذوب السكر مثلاً في الشاي الساخن بسرعة أكبر من ذوبانه في الشاي المثلج، كما في الشكل 1-13. كذلك فإن المذيب الساخن يذيب كمية أكبر من المذاب مقارنة بالمذيب البارد الذي له الكمية نفسها. لذلك يستوعب الشاي الساخن سكرًا ذائبًا أكثر من الشاي المثلج، ومع زيادة درجة الحرارة فإن معظم المواد الصلبة تسلك سلوك السكر نفسه عند الذوبان. ولكن يقل ذوبان بعض المواد الأخرى، ومنها الغازات، بزيادة درجة الحرارة. وهذا يجعل المشروبات الغازية تفقد طعمها اللاذع أسرع عند درجة حرارة الغرفة مما لو كانت باردة.



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



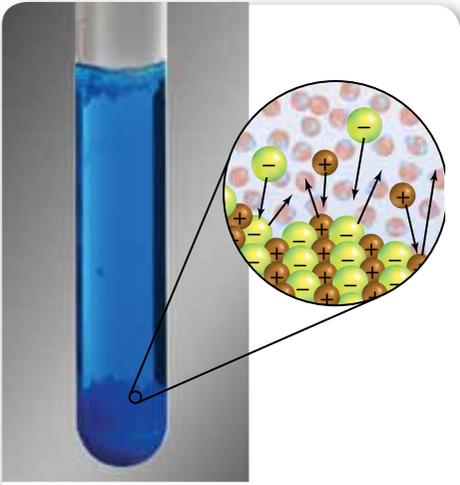
يذوب السكر المطحون بسرعة أكبر من مكعب السكر في الشاي المثلج، كما يزيد التحريك من سرعة ذوبان السكر المطحون.



يذوب السكر المطحون بسرعة كبيرة جداً في الشاي الساخن.

**الشكل 1-13** يؤثر كل من التركيب والحرارة والتحريك في سرعة الذوبان.

## الذوبانية Solubility



**الشكل 1-14** تساوي سرعة الذوبان في المحلول المشبع سرعة التبلور، ولذلك لا تتغير كمية المذاب.

كما يمكن فهم الذوبان على مستوى الجسيمات يمكن كذلك فهم الذوبانية على مستوى الجسيمات. تعتمد ذوبانية المذاب على طبيعة كل من المذاب والمذيب؛ فعند إضافة المذاب إلى المذيب تتصادم جسيمات المذيب مع جسيمات سطح المذاب وتبدأ جسيمات المذاب الذائبة في الاختلاط خلال جسيمات المذيب عشوائياً، إلا أنه مع زيادة عدد جسيمات المذاب الذائبة يزيد عدد تصادماتها مع بقية البلورة، مما يجعل بعضها يلتصق بسطح البلورة، أو يتبلور مرة أخرى، كما هو موضح في الشكل 1-14. ومع استمرار عملية الذوبان تزداد سرعة التبلور، بينما تبقى سرعة الذوبان ثابتة. ويستمر الذوبان ما دامت سرعة الذوبان أعلى من سرعة التبلور.

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

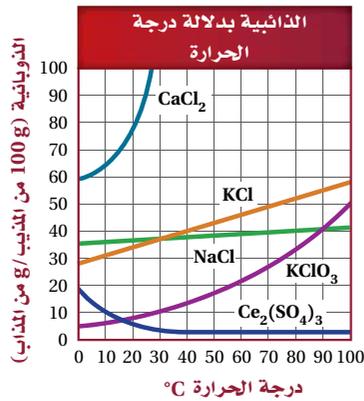
**المحلول غير المشبع** يحتوي المحلول غير المشبع على كمية مذاب أقل من اللازم عند درجة حرارة وضغط معينين. ويمكن إضافة كميات أكثر من المذاب إلى المحلول غير المشبع.

**المحلول المشبع** رغم استمرار ذوبان جسيمات المذاب وتبلورها في المحلول الذي وصل إلى حالة الاتزان إلا أن كمية المذاب الذائبة في المحلول تبقى ثابتة. يعرف مثل هذا المحلول الموضح في الشكل 1-14 بالمحلول المشبع، والذي يحتوي على أكبر كمية من المذاب ذائبة في كمية محددة من المذيب عند درجة حرارة وضغط معينين.

**الحرارة والمحاليل فوق المشبعة** تتأثر الذوبانية بارتفاع درجة حرارة المذيب؛ حيث تزداد طاقة حركة جسيماته، فتزداد التصادمات ذات الطاقة العليا مقارنة بالتصادمات عند درجة حرارة منخفضة. إن ذوبانية الكثير من المواد أكبر عند درجات الحرارة العليا، كما في الشكل 1-15. فمثلاً ذوبانية كلوريد الكالسيوم  $\text{CaCl}_2$  تساوي 64 g لكل 100 g  $\text{H}_2\text{O}$  عند درجة حرارة  $10^\circ\text{C}$ ، وعند زيادة درجة الحرارة إلى  $27^\circ\text{C}$  تزداد الذوبانية بنسبة 50% تقريباً: 100 g  $\text{CaCl}_2$  لكل 100 g  $\text{H}_2\text{O}$  تقريباً.

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

**الشكل 1-15** يبين الرسم البياني أدناه ذوبانية عدة مواد عند درجات حرارة مختلفة.



✓ قراءة الرسم البياني

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

الذوبانية في الماء عند درجات حرارة مختلفة				الجدول 1-4	
الذوبانية (g/100 g H <sub>2</sub> O)*				الصيغة الكيميائية	الاسم الكيميائي
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 على ذوبانية المواد من خلال البيانات الموجودة في الجدول 1-4. تلاحظ أن 203 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 484.2 g من السكروز في 100 g من الماء عند درجة حرارة 100°C، وهذا يعني زيادة قابلية الذوبان 140% تقريباً. وحقيقة أن الذوبانية 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 تدريجياً وببطء. إذ يسمح التبريد البطيء للمادة المذابة الزائدة أن تبقى مذابة في المحلول عند درجات حرارة منخفضة كما هو موضح في الشكل 1-16.

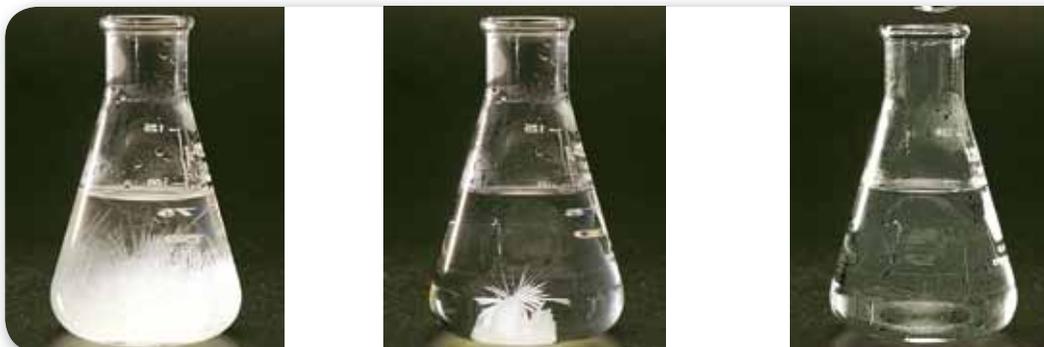
## المفردات

### أصل الكلمة

**Saturated** والتي تعني مُشبع

مشتقة من الكلمة اللاتينية

(Saturatus) وتعني يُشبع أو يملأ.



الشكل 1-16 عند

إضافة نوى التبلور إلى

محلول فوق مشبع تتبلور

المادة المذابة الزائدة.

**الشكل 1-17** تعد الرواسب المعدنية في الينابيع الحارة مثلاً على تكون البلورات من المحاليل فوق المشبعة .



المحاليل فوق المشبعة غير ثابتة؛ فعند إضافة قطعة صغيرة من مذاب - تسمى نواة التبلور - إلى محلول فوق مشبع تترسب المادة المذابة الزائدة بسرعة، كما هو موضح في الشكل 1-16 .

ويمكن أن يحدث التبلور عند كشط (Scratch) الجزء الداخلي من الكأس الزجاجية أو الوعاء الزجاجي الذي يوجد به المحلول بساق تحريك زجاجية بلطف أو تعرض المحلول فوق المشبع إلى الحركة أو الرج. وباستعمال يوديد الفضة AgI بوصفه نوى تكاثف في الهواء فوق المشبع ببخار الماء يؤدي إلى تجمع جزيئات الماء في صورة قطرات قد تسقط على الأرض على هيئة مطر. تسمى هذه الآلية استمطار الغيوم. كما يتكون سكر النبات والرواسب المعدنية على حواف الينابيع المعدنية - كالتالي تظهر في الشكل 1-17 - من محاليل فوق مشبعة.

## 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.

هناك الكثير من الضغط للقيام بأداء

جيد في الامتحانات

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

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

ينص **قانون هنري** على "تتناسب ذوبانية (s) الغاز في سائل عند درجة حرارة معينة طردياً مع ضغط (p) الغاز الموجود فوق السائل". فعندما تكون قارورة المشروب الغازي مغلقة، كما هو موضح في الشكل 1-18، يعمل الضغط الواقع فوق المحلول على إبقاء غاز ثاني أكسيد الكربون ذائباً في المحلول. ويمكن تمثيل هذه العلاقة على النحو الآتي:

### قانون هنري

S يمثل الذوبانية

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

P يمثل الضغط

يبقى ناتج قسمة الذوبانية على الضغط ثابتاً عند درجة حرارة معينة.

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

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

بالضرب التبادلي نحصل على المعادلة:

$$P_1 S_2 = S_1 P_2$$

وبقسمة الطرفين على  $P_1$ :

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

**الشكل 1-18** ثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  مذاب في الصودا، كما يوجد بعض الغاز فوق السائل.

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



يقبل الضغط الموجود فوق السائل عند فتح غطاء القارورة، ومن ثم تقل ذوبانية ثاني أكسيد الكربون.

يحافظ الضغط الموجود فوق السائل في قارورة المشروب الغازي المغلقة على بقاء  $CO_2$  الفاتئذ ذائباً في المحلول ومنعه 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 25 °C، فما كتلة الغاز الذي يذوب في 1.0 L من الماء عند ضغط مقداره 1.0 atm ودرجة الحرارة نفسها؟

### 1 تحليل المسألة

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

**المطلوب**  
 $S_2 = ? \text{ g/L}$

**المعطيات**

$$\begin{aligned} S_1 &= 0.85 \text{ g/L} \\ P_1 &= 4.0 \text{ atm} \\ P_2 &= 1.0 \text{ atm} \end{aligned}$$

### 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 تقييم الإجابة

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

### 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. ذوبانية غاز عند ضغط 10 atm تساوي 0.66 g/L. ما مقدار الضغط الواقع على محلول حجمه 1.0 L ويحتوي على 1.5 g من الغاز نفسه؟
38. تحدد ذوبانية غاز عند ضغط 7 atm تساوي 0.52 g/L. ما كتلة الغاز بالجرامات التي تذوب في لتر واحد إذا تم زيادة الضغط إلى 10 atm؟

## التقويم 1-3

### الخلاصة

- 39. **الفكرة الرئيسية** صف العوامل المؤثرة في تكوين المحاليل.
- 40. عرف الذوبانية.
- 41. صف كيف تؤثر قوى التجاذب بين الجزيئية في الذوبان؟
- 42. فسر لماذا يكون الضغط البخاري لمحلول ما أقل من الضغط البخاري للمذيب؟
- 43. لخص ماذا يحدث إذا أضيفت نواة تبلور إلى محلول فوق مشبع؟ وبم تصف المحلول الناتج؟
- 44. الرسوم البيانية استعمل المعلومات الموجودة في الجدول 4-2 لعمل رسوم بيانية لذوبانية كبريتات الألومنيوم، وكبريتات الليثيوم، وكلوريد البوتاسيوم عند درجات حرارة 0°C و 20°C و 60°C و 100°C. أي المواد السابقة تتأثر ذوبانيتها أكثر بزيادة درجة الحرارة؟
- تتضمن عملية الذوبان إحاطة جسيمات المذيب بجسيمات المذاب.
- يكون المحلول غير مشبع أو مشبعًا أو فوق مشبع.
- ينص قانون هنري على أن ذوبانية الغاز في سائل تتناسب طرديًا مع ضغط الغاز فوق السائل عند درجة حرارة معينة.

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

## مراجعة المفردات

الأيون؛ ذرة مشحونة كهربائياً.

## المفردات الجديدة

الخواص الجامعة

الانخفاض في الضغط البخاري

الارتفاع في درجة الغليان

الانخفاض في درجة التجمد

الخاصية الأسموزية

الضغط الأسموزي

## الخواص الجامعة للمحاليل

### Colligative Properties of Solutions

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

**الربط مع الحياة** إذا عشت في منطقة طقسها بارد جداً في الشتاء فلا بد أنك لاحظت أن الناس يرشون الملح لإزالة الثلج والجليد عن الأرصفة والطرق. كيف يساعد الملح على جعل القيادة في الشتاء أكثر أمناً؟

### المواد المتأينة والخواص الجامعة

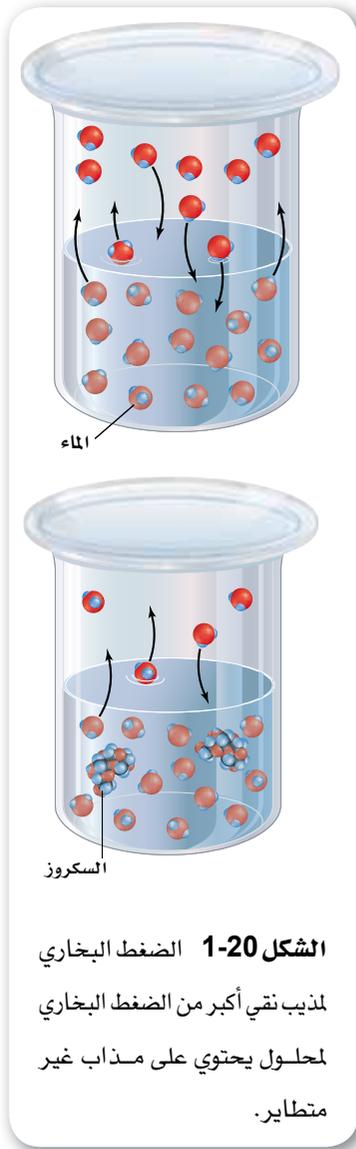
#### Electrolytes and Colligative Properties

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

**المواد المتأينة في محلول مائي** درست سابقاً أن المركبات الأيونية مواد توصل محاليلها التيار الكهربائي؛ وذلك لأنها تتفكك في الماء إلى أيونات، كما هو موضح في الشكل 1-19. كما تتأين بعض المركبات الجزيئية في الماء وتكون أيضاً محلولاً متأيناً. وتسمى المواد المتأينة التي تنتج أيونات كثيرة في المحلول مواد متأينة قوية. أما التي تنتج عدداً قليلاً من الأيونات في المحلول فتسمى المواد المتأينة الضعيفة.

**الشكل 1-19** محلول كلوريد الصوديوم موصل جيد للكهرباء؛ وذلك لأنه محلول لمادة متأينة. في حين لا يوصل السكروز التيار الكهربائي؛ لأنه محلول لمادة غير متأينة.

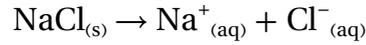




الشكل 1-20 الضغط البخاري

لمذيب نقي أكبر من الضغط البخاري  
لمحلول يحتوي على مذاب غير  
متطاير.

يعد كلوريد الصوديوم مادة متأيئة قوية، حيث يتفكك في المحلول وينتج أيونات  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$ .



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

**المواد غير المتأينة في المحلول المائي** تذوب الكثير من المركبات الجزيئية في المذيبات، ولكنها لا تتأين. ومثل هذه المحاليل لا توصل التيار الكهربائي، كما هو موضح في الشكل 1-19. وتسمى المواد المذابة مواد غير متأيئة. والسكروروز مثال على المواد غير المتأينة، حيث يحتوي محلول السكروروز الذي تركيزه 1 m على 1 mol فقط من جزيئات السكروروز. **ماذا قرأت؟** استنتج أي المركبين له تأثير أكبر في الخواص الجامعة: كلوريد الصوديوم أم السكروروز؟

## الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering

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

تظهر التجارب أن إضافة مذاب غير متطاير - له ميل قليل إلى التحول إلى غاز - إلى مذيب يقلل الضغط البخاري للمذيب. كما أن الجسيمات التي تحدث الضغط البخاري تتبخر من سطح السائل. فعندما يكون المذيب نقياً كما في الشكل 1-20 تشغل جسيماته مساحة السطح كلها. أما عندما يحتوي المذيب على مذاب كما في الشكل 1-20، 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** عائد إلى عدد جسيمات المذاب في المحلول، ولذلك فهو من الخواص الجامعة للمحاليل.

تستطيع توقع التأثير النسبي للمذاب في الضغط البخاري اعتماداً على كون المذاب متأيئاً أو غير متأيئ. فمثلاً يكون التأثير النسبي لـ 1 mol من كل من المواد المذابة غير المتأينة - ومنها الجلوكوز والسكروروز والإيثانول - هو نفسه في الضغط البخاري. إلا أنه يزداد تأثير 1 mol من كل من المواد المذابة المتأينة - ومنها كلوريد الصوديوم  $\text{NaCl}$ ، وكبريتات الصوديوم  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ، وكلوريد الألومنيوم  $\text{AlCl}_3$  - في الضغط البخاري بسبب تزايد أعداد الأيونات التي تنتجها كل منها في محلولها.

## الارتفاع في درجة الغليان Boiling Point Elevation

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

### الارتفاع في درجة الغليان

$\Delta T_b$  تمثل ارتفاع درجة الغليان

$K_b$  تمثل ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي

$m$  تمثل مولالية المحلول

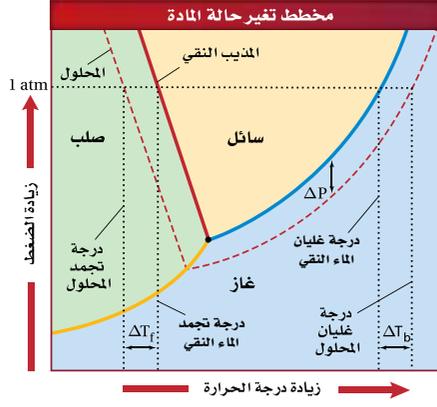
$$\Delta T_b = K_b m$$

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

كما أن ثابت ارتفاع درجة الغليان المولالي  $K_b$ ، هو الفرق بين درجة غليان محلول يحتوي على  $1\ m$  من مذاب غير متطاير وغير متأين ودرجة غليان المذيب النقي. والوحدة المستعملة للتعبير عن ارتفاع درجة الغليان هي  $^{\circ}C / m$ ، وتختلف باختلاف المذيب. يبين الجدول 1-5 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 خاصة جامعة فإن الارتفاع في درجة الغليان يعد أيضاً خاصية جامعة. وتتناسب قيمة الارتفاع في درجة الغليان تناسباً طردياً مع مولالية المذاب في المحلول، أي أنه كلما زاد عدد جسيمات المذاب في المحلول زاد الارتفاع في درجة الغليان. ولأن المولالية مرتبطة مع الكسر المولي الذي يتضمن عدد جسيمات المذاب لذا فهي تستعمل للدلالة على التركيز. ويعبر عن المذيب في المولالية بالكتلة بدلاً من الحجم، ولذلك لا تتأثر المولالية بتغير درجة الحرارة.

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



**الشكل 1-21** يؤثر الضغط و الحرارة في حالة المذيب النقي (الخط المتصل)، الصلبة أو السائلة أو الغازية، ويؤثران أيضًا في المحلول (الخط المتقطع).

### اختبار الرسم البياني

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

## الكيمياء في واقع الحياة

### الانخفاض في درجة التجمد



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

انظر إلى الشكل 1-21 ولاحظ أن المنحنى الذي يمثل المحلول يقع أسفل المنحنى الذي يمثل المذيب النقي عند أي درجة حرارة.

## الانخفاض في درجة التجمد Freezing Point Depression

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

وتكون درجة تجمد المحلول دائماً أقل من درجة تجمد المذيب النقي. يبين الشكل 1-21 الفرق بين درجات الغليان والتجمد للماء النقي والمحلول المائي. وعند مقارنة الخطوط المتصلة مع المتقطعة في الرسم تستطيع أن تلاحظ أن نطاق درجة الحرارة للمحلول المائي في الحالة السائلة أكبر من الماء النقي. و يبين الشكل 1-22 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 1-22** تعمل إضافة الأملاح إلى الجليد على تقليل درجة تجمد الجليد مما يؤدي إلى انصهار الجليد على الطرق. وتعمل إضافة الملح إلى الجليد عند صنع الآيس كريم على تقليل درجة التجمد، مما يسمح للماء الناتج بتجميد الآيس كريم.



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

ثابت الانخفاض في درجة التجمد المولالي $K_f$		الجدول 1-6
$K_f$ ( $^{\circ}\text{C}/m$ )	درجة التجمد $^{\circ}\text{C}$	المذيب
1.86	0.0	الماء
5.12	5.5	البنزين
29.8	-23.0	رابع كلوريد الكربون
1.99	-114.1	الإيثانول
4.68	-63.5	الكلوروفورم

### الانخفاض في درجة التجمد

$$\Delta T_f = K_f m$$

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

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

وكما هو الحال مع قيم  $K_b$  فإن قيم  $K_f$  تعتمد على طبيعة المذيب. ولأن قيمة ثابت انخفاض درجة التجمد للماء  $(K_f) = 1.86^{\circ}\text{C}/m$  فسيتجمد المحلول المائي الذي تركيزه  $1\ m$ ، 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 أحد المذيبات غير المتأينة الذي تنتجه الكثير من الأسماك والحشرات لحماية دماؤها من التجمد في الشتاء القارص. كذلك فإن مقاوم التجمد أو مانع تكوين الجليد يحتوي على مذيب غير متأين، هو جليكول الإثيلين.

لاحظ أن معادلات الارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد تحدد مولالية المواد غير المتأينة، أما في حالات المواد المتأينة فيجب استعمال المولالية الفاعلة للمحلول، كما يوضحها المثال 1-6.

## تجربة

### الانخفاض في درجة التجمد

كيف يمكنك قياس الانخفاض في درجة التجمد؟

#### الخطوات

6. عندما تثبت درجة الحرارة في كل كأس سجل كلاً منها.
  7. لتخلص من النفايات اسكبها في المغسلة.
- ### التحليل
1. قارن درجة حرارة الماء والثلج مع درجة حرارة الماء والثلج المضاف إليهما ملح. 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 أخذ هذا التفكك بعين الاعتبار عند حساب الانخفاض في درجة التجمد مهماً؟
  4. توقع ما إذا كان من الأفضل استعمال الملح الصخري الخشن، أم ملح المائدة الناعم عند صنع الآيس كريم المنزلي. فسر إجابتك.

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
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 باستعمال مقياس حرارة (ثيرمومتر) غير زئبقي.
4. حرك محتويات كل كأس باستعمال ساق تحريك مدة دقيقة واحدة، حتى تصبح درجة حرارة كلتا الكأسين هي نفسها، وسجل درجة الحرارة.
5. أضف 75 g من الملح الصخري NaCl إلى إحدى الكأسين، وتابع التحريك في كلتا الكأسين، فسيذوب بعض الملح.

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

### 1 تحليل المسألة

أعطيت مولالية المحلول المائي لكلوريد الصوديوم. أولاً، 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 =  $0.029 m$

#### المطلوب

درجة الغليان =  $^{\circ}C$  ؟  
درجة التجمد =  $^{\circ}C$  ؟

### 2 حساب المطلوب

احسب مولالية الجسيمات

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

ضع العلاقات الرياضية للارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد

$$\Delta T_b = K_b m$$

$$\Delta T_f = K_f m$$

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

$$K_b = 0.512^{\circ}C/m, K_f = 1.86^{\circ}C/m$$

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

$$m = 0.058 m$$

احسب درجة الغليان بعد الارتفاع ودرجة التجمد بعد الانخفاض للمحلول.

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

أضف  $\Delta T_b$  إلى درجة الغليان

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

اطرح  $\Delta T_f$  من درجة التجمد

### 3 تقويم الإجابة

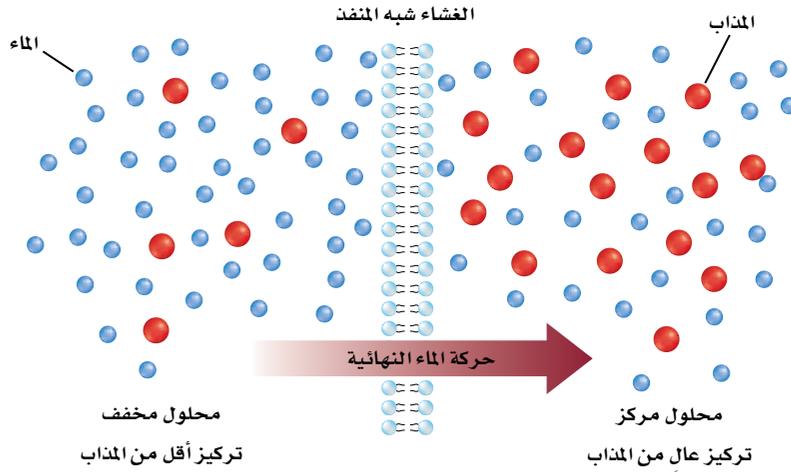
تكون درجة الغليان أعلى، ودرجة التجمد أقل، كما هو متوقع.

#### مسائل تدريبية

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

46. ما درجة غليان محلول السكر والأيثانول الذي تركيزه  $0.40 m$ ؟ وما درجة تجمده؟

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



**الشكل 1-23** تنتشر المذيبات بسبب الخاصية الأسموزية من التركيز الأقل إلى التركيز الأكثر خلال أغشية شبه منفذة.

## الضغط الأسموزي Osmotic Pressure

عرفت أن الانتشار هو اختلاط الغازات أو السوائل، والنتيجة عن حركتها العشوائية. أما الخاصية الأسموزية فهي انتشار المذيب خلال غشاء شبه منفذ. والأغشية شبه المنفذة حواجز تسمح لبعض الجسيمات بالعبور. والأغشية التي تحيط بالخلايا الحية جميعها عبارة عن أغشية شبه منفذة. وتلعب الخاصية الأسموزية دوراً مهماً في الكثير من العمليات الحيوية، ومنها امتصاص الغذاء في النباتات. يبين الشكل 1-23 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 تستطيع العبور. وتنتشر جزيئات الماء عبر الغشاء من المحلول المخفف إلى المحلول المركز. وتسمى كمية الضغط الإضافي الناتج عن انتقال جزيئات الماء إلى المحلول المركز **الضغط الأسموزي**. ويعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في كمية محددة من المحلول، وهو خاصية جامعة للمحاليل.

## التقويم 1-4

### الخلاصة

- 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. احسب الارتفاع في درجة الغليان لمحلول يحتوي على 50 g من الجلوكوز  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  مذابة في 500.0 g من الماء. ثم احسب الانخفاض في درجة التجمد للمحلول نفسه.
- 53. تحقق إذا علمت أن درجة الغليان لمحلول مائي لمذاب غير متأين وغير متطاير  $1.12^\circ\text{C}$  فما مولالية المحلول؟
- 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.

# في الميدان

مهن: كيميائي البيئة

## محلول CO<sub>2</sub>

تشير السجلات الجيولوجية إلى أن مستويات ثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub> الجوي أعلى كثيراً في الوقت الحاضر مقارنة بالعشرين مليون سنة الماضية. وقد ساهمت المصادر التي صنعها الإنسان في زيادة CO<sub>2</sub> إلى الحد الذي وصل إليه الآن في الغلاف الجوي. ولكن لا يبقى CO<sub>2</sub> في الغلاف الجوي إلى أجل غير مسمى؛ إذ تحتوي المحيطات بشكل طبيعي على CO<sub>2</sub> الذي يأتي من الغلاف الجوي، ومن المخلوقات الحية. وتقوم المحيطات بامتصاص 50% من CO<sub>2</sub> المنبعث من مصادر صنعها الإنسان. ويعتقد بعض العلماء أنه خلال ألف سنة قادمة سيذوب 90% منه في المحيطات.

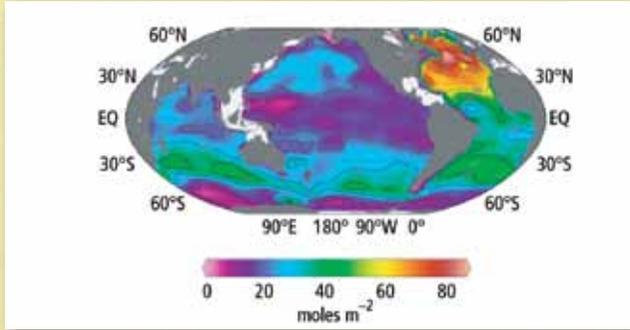
## جمع البيانات عن CO<sub>2</sub> Collecting CO<sub>2</sub> data

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

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

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

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



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

## الحجز في أعماق البحار Deep ocean sequestration

هناك اقتراح قد يقلل من كمية CO<sub>2</sub> الجوي، ويحمي الحياة في الجزء العلوي من المحيط، وهو تسهيل غاز CO<sub>2</sub>، ثم ضخه إلى طبقات المياه السفلى، وتسمى هذه العملية الحجز في أعماق البحار. وهناك تصور أن الضغط الشديد في الأعماق (أكبر من 3000 m) من شأنه أن يحول CO<sub>2</sub> إلى هيدرات تذوب في أعماق مياه المحيطات، ولكن سيقى CO<sub>2</sub> عالماً لمئات السنين بعيداً عن الجزء العلوي للمحيط والغلاف الجوي.

## بحوث مستمرة Ongoing research

يعمل العلماء على إيجاد إجابات عن كثير من الأسئلة حول أثر CO<sub>2</sub> على المخلوقات التي تعيش في الأعماق. ولا يزال هناك الكثير من المشاكل التقنية المتعلقة بعملية جمع CO<sub>2</sub> وتخزينه ونقل كميات كبيرة منه. وإذا تم حل هذه المشاكل التقنية فإن على الرأي العام والمسؤولين الأخذ بعين الاعتبار الأخطار المتعلقة بانبعاث CO<sub>2</sub> في الهواء وفي المحيطات.

## الكتاب في الكيمياء

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

# مختبر الكيمياء

## استقصاء العوامل المؤثرة في الذوبانية

**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؟



14. كرر الخطوات 7 و 8 مع الأنبوب الخامس باستعمال ماء أكثر برودة، واترك الأنبوب بلا تحريك.

15. كرر الخطوات 7 و 8 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 معدات المختبر جميعها، وأعدّها إلى أماكنها الأصلية.

### حلل واستنتج

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

### استقصاء موسع

**التفكير الناقد** إذا كانت الملاحظات الناتجة عن هذه التجربة يمكن رؤيتها بالعين المجردة في الطبيعة فاقترح تفسيراً تحت مجهرى (لا يمكن ملاحظته) لأثر هذه العوامل في سرعة تكوين المحلول، وما يحدث على مستوى الجزيئات لتسريع تكوين المحلول في كل حالة؟

### المواد والأدوات اللازمة

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

### إجراءات السلامة

#### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. صمم جدولاً لتسجيل البيانات.
3. اكتب فرضية تستعمل 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.
7. قس 15 ml من الماء المقطر عند درجة حرارة الغرفة، ثم اسكبه في أنبوب الاختبار الأول وسجل الزمن.
8. لاحظ المحلول في الأنبوب الأول بعد إضافة الماء مباشرة وبعد 15 دقيقة.
9. اترك الأنبوب الأول دون أي حركة على حامل الأنابيب.
10. كرر الخطوات 7 و 8 مع الأنبوبين الثالث والرابع.
11. استعمل ساق التحريك الزجاجية لتحريك أنبوب الاختبار الثاني مدة دقيقة أو اثنتين.
12. اترك الأنبوب الثالث دون تحريك.
13. حرك المحلول في الأنبوب الرابع باستعمال ساق التحريك الزجاجية مدة دقيقة أو اثنتين.

الفكرة (الامة) يوجد المحلول في صورة غاز أو سائل أو صلب اعتماداً على الحالة الفيزيائية للمذيب .

## 1-1 أنواع المخاليط

### المفاهيم الرئيسية

- يمكن تمييز مكونات المخلووط غير المتجانس .
- هناك نوعان من المخاليط غير المتجانسة، هما المعلق والغروي .
- الحركة البراونية حركة عشوائية لجسيمات المخلووط الغروي .
- تظهر المخاليط الغروية تأثير تبدال .
- قد يوجد المحلول في إحدى الحالات الفيزيائية الثلاث: الغازية أو السائلة أو الصلبة، اعتماداً على الحالة الفيزيائية للمذيب .
- يمكن أن يكون المذاب في المحلول غازاً أو سائلاً أو صلباً .

الفكرة الرئيسية المخاليط إما متجانسة أو غير متجانسة .

### المفردات

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

## 1-2 تركيز المحاليل

### المفاهيم الرئيسية

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

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

الفكرة الرئيسية يمكن التعبير عن التركيز بالنسبة المئوية أو بالمولات .

### المفردات

- المادة الذائبة
- المادة غير الذائبة
- السوائل غير الممتزجة
- المولارية
- التركيز
- المولالية
- الكسر المولي

## 1-3 العوامل المؤثرة في الذوبان

### المفاهيم الرئيسية

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

الفكرة الرئيسية يتأثر تكون المحلول بعوامل، منها

### المفردات

- الحرارة والضغط والقطبية .
- الذوبان
- حرارة المحلول
- المحلول غير المشبع
- المحلول المشبع
- المحلول فوق المشبع
- قانون هنري

## 1-4 الخواص الجامعة للمحاليل

### المفاهيم 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

### المفردات

- جسيمات المذاب في المحلول .
- الخواص الجامعة
- الانخفاض في الضغط البخاري
- الارتفاع في درجة الغليان
- الانخفاض في درجة التجمد
- الخاصية الأسموزية

## إتقان المسائل

66. حسب خطوات العمل في تجربة مختبرية، قمت بخلط 25.0 g من  $MgCl_2$  مع 550 ml من الماء. ما النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الماغنسيوم  $MgCl_2$  في المحلول؟
67. ما كمية  $LiCl$  بالجرامات الموجودة في 275 g من محلوله المائي الذي تركيزه 15%؟
68. ترغب في تحضير كمية كبيرة من محلول  $HCl$  بتركيز 5%، ولكن لديك فقط 25 ml من  $HCl$ . ما أقصى حجم محلول 5% يمكنك تحضيره؟
69. احسب النسبة المئوية بالحجم لمحلول يحضر بإضافة 75 ml من حمض الإيثانويك إلى 725 ml من الماء.
70. احسب مولارية محلول يحتوي على 15.7 g من  $CaCO_3$  الذائب في 275 ml من الماء.
71. ما حجم محلول تركيزه 3.00 M تم تحضيره بإذابة 122 g  $LiF$ ؟
72. ما عدد مولات  $BaS$  اللازمة لتحضير محلول حجمه  $1.5 \times 10^3$  ml وتركيزه 10 M؟
73. ما كتلة  $CaCl_2$  بالجرامات اللازمة لتحضير محلول حجمه 2.0 L وتركيزه 3.5 M؟
74. غالبًا ما تحضر محاليل قياسية مختلفة التراكيز من  $HCl$  لتنفيذ التجارب. أكمل الجدول 1-7 بحساب حجم المحلول المركز أو المحلول الذي تركيزه 12 M من حمض الهيدروكلوريك اللازم لتحضير 1.0 L من محلول  $HCl$  باستعمال قيم المولارية المدونة في الجدول.

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

## 1-1

## إتقان المفاهيم

54. وضح المقصود بالعبارة الآتية "ليست كل المخاليط محاليل".
55. ما الفرق بين المذاب والمذيب؟
56. ما المخلوطين المعلق؟ وفيه يختلف عن المخلوطين الغروي؟
57. كيف يستخدم تأثير تندال للتمييز بين المخلوطين الغروي والمخلوطين؟ لماذا؟
58. سمِّ مخلوطًا غرويًا مكونًا من غاز في سائل؟
59. **تتبيلة السلطة** ما نوع الخليط غير المتجانس الموضح في الشكل 1-24؟ وما الخصائص التي اعتمدت عليها في تصنيفك؟



الشكل 1-24

60. ما الذي يسبب الحركة البراونية في المخلوطين الغروي؟

## 1-2

## إتقان المفاهيم

61. ما الفرق بين النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم؟
62. ما الفرق بين المولارية والمولالية؟
63. ما العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند إعداد محلول مخفف من محلول قياسي؟
64. كيف يختلف محلولان من  $NaCl$  تركيز أحدهما 0.5 M والآخر 2.0 M؟
65. تحت أي ظروف يمكن للكيميائي وصف المحلول بدلالة المولالية؟ ولماذا؟

## 1-3

### إتقان المفاهيم

85. صف عملية الذوبان.

86. اذكر ثلاث طرائق لزيادة سرعة الذوبان.

87. اشرح الفرق بين المحاليل المشبعة والمحاليل غير المشبعة.

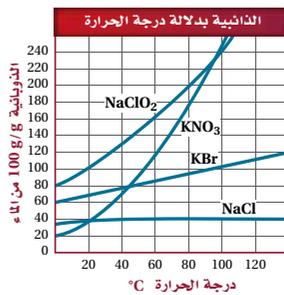
### إتقان المسائل

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

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

91. استعن بالشكل 1-26 لمقارنة ذوبانية بروميد البوتاسيوم KBr ونترات البوتاسيوم  $\text{KNO}_3$  عند درجة حرارة  $80^\circ\text{C}$ .



الشكل 1-26

92. استعن بقانون هنري لإكمال الجدول 1-8

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

75. كم تحتاج من حمض النيتريك (ml) الذي تركيزه  $5.0 \text{ M}$  لتحضير  $225 \text{ ml}$   $\text{HNO}_3$  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  $5.0 \text{ M}$   $\text{H}_3\text{PO}_4$ ؟

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؟

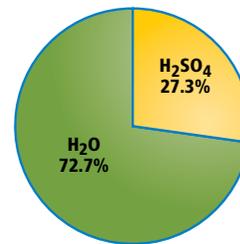
79. ما مولارية محلول يحتوي على  $75.3 \text{ g}$  من  $\text{KCl}$  مذابة في  $95.0 \text{ g}$  من الماء؟

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 الطولوين؟

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

83. استعن بالشكل 1-25، واحسب الكسر المولي لحمض الكبريتيك  $\text{H}_2\text{SO}_4$  في المحلول.



الشكل 1-25

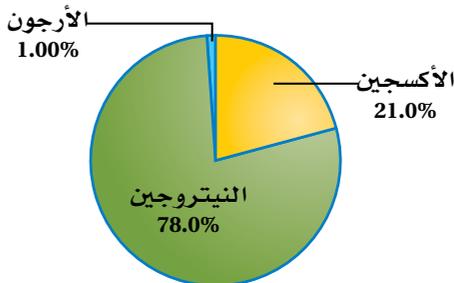
84. احسب الكسر المولي لمحلول  $\text{MgCl}_2$  الناتج عن إذابة  $132.1 \text{ g}$   $\text{MgCl}_2$  في  $175 \text{ ml}$  من الماء؟

## مراجعة عامة

102. أي مذاب له التأثير الأكبر في درجة غليان 1.00 kg من الماء: 50 g من كلوريد الإسترانسيوم  $\text{SrCl}_2$  أو 150 g من رابع كلوريد الكربون  $\text{CCl}_4$ ? فسر إجابتك.

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

103. استعمل معرفتك بالقطبية والذوبانية لتوقع ما إذا كان الذوبان ممكناً في كل حالة من الحالات الموضحة في الجدول 1-9. فسر إجابتك.
104. إذا قمت بتحضير محلول مائي مشبع من كلوريد البوتاسيوم عند درجة حرارة  $25^\circ\text{C}$ ، ثم قمت بتسخينه إلى  $50^\circ\text{C}$  فهل يصبح المحلول غير مشبع، أو مشبعًا، أو فوق مشبع؟ فسر إجابتك.
105. ما كتلة نترات الكالسيوم  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  التي تلزم لتحضير 3.00 L من محلول تركيزه 0.500 M؟
106. يبين الشكل 1-27 النسب المئوية لمكونات عينة من الهواء. احسب الكسر المولي لكل غاز في العينة.



الشكل 1-27

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

## 1-4

## إتقان المفاهيم

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

## إتقان المسائل

98. احسب درجة التجمد لمحلول يحتوي على 12.1 g من النفثالين  $\text{C}_{10}\text{H}_8$  الذائب في 0.175 kg من البنزين  $\text{C}_6\text{H}_6$ . استعن بالجدول 1-6 لأخذ البيانات المطلوبة.
99. في المختبر قمت بإذابة 179 g من  $\text{MgCl}_2$  في 1.00 L ماء، استعمل الجدول 1-6؛ لإيجاد درجة تجمد المحلول.
100. في المطبخ يقوم طبخ بتحضير محلول للغليان بإضافة 12.5 g من  $\text{NaCl}$  إلى وعاء يحتوي 0.750 L من الماء. عند أي درجة حرارة يغلي المحلول في الوعاء؟ استعمل الجدول 1-6 لأخذ البيانات المطلوبة.
101. المثلجات (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  $10.0^\circ\text{C}$ ؟

# مراجعة الفصل 1

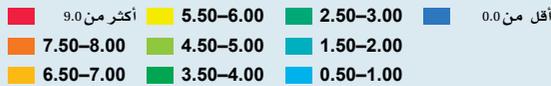
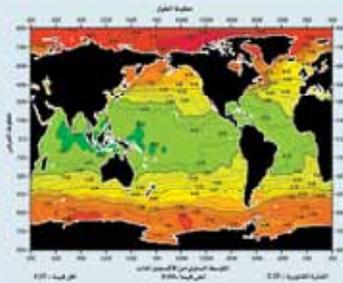
## تقويم إضافي

### الكتابة في الكيمياء

111. **الحليب المتجانس** تم بيع أول حليب متجانس Homogenized Milk في الولايات المتحدة في العام 1919م. أما اليوم فكل الحليب المباع متجانس على شكل مستحلب غروي. ابحث عن عملية التجانس Homogenization Process. اكتب مقالة مختصرة تصف فيها العملية، وتتضمن مخطط يوضح العملية، بالإضافة إلى مناقشة حول المنافع والمضار المتعلقة بشرب الحليب المتجانس.

### أسئلة المستندات

المتوسط السنوي من الأكسجين المذاب تبين البيانات الموجودة في الشكل 1-29 متوسط قيم الأكسجين الذائبة في مياه المحيطات بوحدة ml/L خلال شهر واحد من العام 2001م. لاحظ أن المحور الأفقي يمثل خطوط الطول، والمحور العمودي يمثل خطوط العرض.



الشكل 1-29

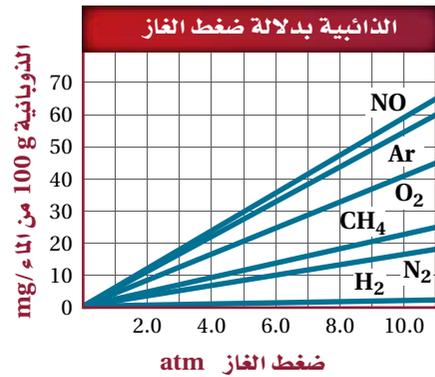
112. هل ترتبط قيم الأكسجين المذاب بشكل واضح مع خط الطول أو خط العرض؟ لماذا ترى ذلك صحيحًا؟
113. عند أي خط عرض يكون متوسط الأكسجين المذاب أقل؟
114. صف الاتجاه العام الذي توضحه البيانات، وارتبط ذلك مع العلاقة بين ذوبانية الغاز ودرجة الحرارة.

## 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 1-21، وقارن بين الخطوط المتقطعة لـ  $\Delta T_b$  و  $\Delta T_f$ ، وصف الاختلافات التي لاحظتها. كيف يمكن لهذه الخطوط أن توضع في أماكن مختلفة تبعًا لنوع المحاليل إذا كانت متأينة أو غير متأينة؟ ولماذا؟

109. **توسع** بين الشكل 1-28 ذوبانية الأرجون في الماء عند ضغوط مختلفة. استعمل قانون هنري للتحقق من الذوبانية عند (15atm).



الشكل 1-28

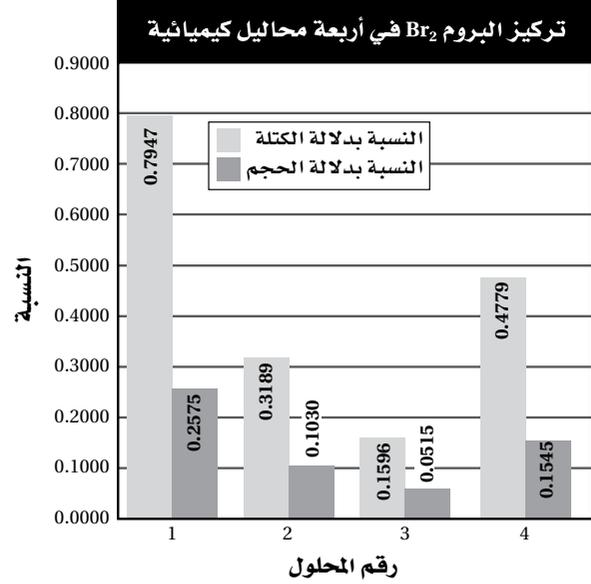
## مسألة تحدّ

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

## اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعمل الرسم البياني الآتي للإجابة عن السؤالين 1 و2.



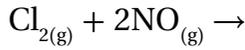
1. ما حجم البروم  $Br_2$  الذائب في 7.00 L من المحلول 1؟

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

2. ما كمية البروم (بالجرام) الموجودة في 55.00 g من المحلول 4؟

- a. 3.560 g  
b. 3.560 g  
c. 1.151 g  
d. 0.2628 g

3. ما نواتج التفاعل التالي:

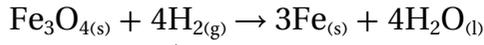


- a.  $NCl_2$   
b.  $2NOCl$   
c.  $N_2O_2$   
d.  $2ClO$

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

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

استعن بالتفاعل الآتي للإجابة عن السؤالين 5 و6.



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  $NiCl_2$ ؟

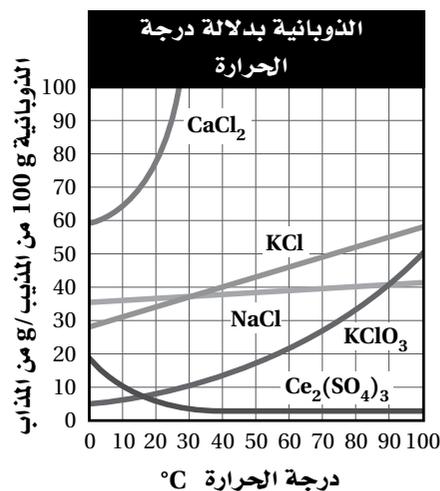
- a. 406 ml  
b. 32.5 ml  
c. 38.5 ml  
d. 201 ml

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 من 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 بذوبانيتها 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؟

# الطاقة والتغيرات الكيميائية

## Energy and Chemical Changes

# 2

الطاقة والتغيرات الكيميائية

**الفكرة العامة** تمتص التفاعلات الكيميائية عادة الحرارة أو تطلقها.

### 2-1 الطاقة

**الفكرة الرئيسية** قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائماً.

### 2-2 الحرارة

**الفكرة الرئيسية**

التغير في المحتوى الحراري للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحاً منه المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة.

### 2-3 المعادلات الكيميائية الحرارية

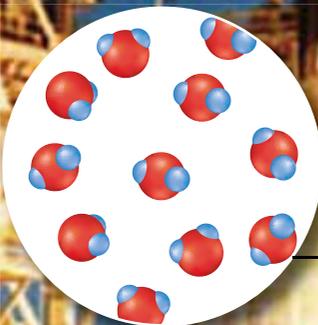
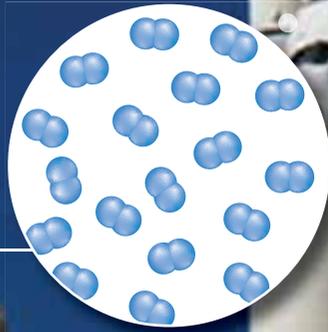
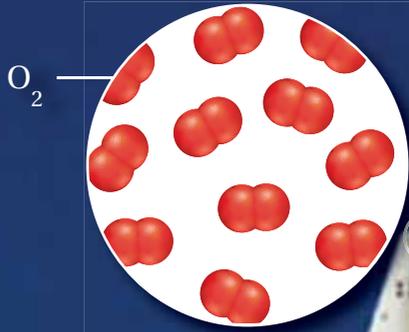
**الفكرة الرئيسية** تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصة في التفاعلات الكيميائية.

### 2-4 حساب التغير في المحتوى الحراري

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

### حقائق كيميائية

- تستعمل المحركات الثلاثة الرئيسية لمكوك الفضاء أكثر من 547,000 kg من الأكسجين السائل و 92,000 kg تقريباً من الهيدروجين السائل.
- ترفع المحركات كتلة تصل إلى  $2.04 \times 10^6$  kg
- يتسارع مكوك الفضاء إلى سرعة تزيد على 17,000 km/h خلال ثماني دقائق (8 min).



## نشاطات تمهيدية

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

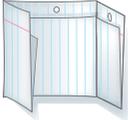
### المطويات

منظمات الأفكار

#### خطوة 1 اطو

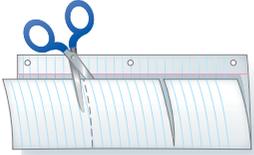


الورقة طولياً من منتصفها على أن تكون الحافة الخلفية أطول من الأمامية 2cm تقريباً.



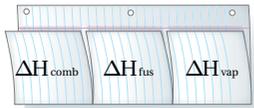
#### خطوة 2 اطو

الورقة مرة أخرى مكوناً ثلاثة أجزاء.



#### خطوة 3 افتح

المطوية واقطع على خطي الطي للجزء الأمامي مشكلاً ثلاثة أشرطة.



#### خطوة 4 عنون الأشرطة كما يأتي:

$\Delta H_{\text{comb}}$ ،  $\Delta H_{\text{fus}}$ ،  $\Delta H_{\text{vap}}$

المطويات استعمال هذه المطوية في القسم 3-2، لخص في أثناء قراءتك لهذا القسم معنى كل مصطلح.

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع:

[www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

## تجربة استهلاكية

### كيف تعمل كمادة باردة؟



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

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. أحضر ثلاثة أنابيب اختبار.

3. استعمل محبباً مدرجاً لنقل 15 ml من الماء المقطر إلى كل أنبوب من أنابيب الاختبار الثلاثة.

4. استعمل مقياس درجة حرارة غير زئبقي لقياس درجة حرارة الماء المقطر، ثم سجل درجة الحرارة الأولية للماء في جدول البيانات.

5. استعمل الميزان لقياس كتلة 1.0 g من نترات البوتاسيوم  $KNO_3$  وضعها في أنبوب الاختبار رقم 1. تحذير: أبعدهم جميع المواد الكيميائية المستعملة في هذه التجربة عن مصادر الحرارة.

6. حرك الخليط جيداً، وسجل درجة حرارة المحلول.

7. أعد الخطوتين 4 و 5 مستعملاً كلاً من كلوريد الكالسيوم  $CaCl_2$ ، ونترات الأمونيوم  $NH_4NO_3$  بدلاً من نترات البوتاسيوم  $KNO_3$ .

### تحليل النتائج

1. حلل واستنتج أي المواد الكيميائية الثلاث المستعملة في التجربة تعد الأفضل لعمل كمادة كيميائية باردة؟

2. صف استعمالاً أفضل لإحدى المادتين الأخرين المستعملتين في التجربة.

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

## الأهداف

تعرف الطاقة.

تميّز بين طاقة الوضع والطاقة الحركية.

تربط بين طاقة الوضع الكيميائية والحرارة المفقودة أو المكتسبة في التفاعلات الكيميائية.

تحسب كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة عندما تتغير درجة حرارة المادة.

## مراجعة المفردات

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

## المفردات الجديدة

الطاقة

قانون حفظ الطاقة

طاقة الوضع الكيميائية

الحرارة

الشعر

الجول

الحرارة النوعية

## الطاقة Energy

الفكرة الرئيسية ▶ قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائماً.

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

## طبيعة الطاقة The Nature of Energy

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

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

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

ما الطاقة؟ تعرف **الطاقة** بأنها القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة، وهي توجد عموماً في صورة طاقة وضع وطاقة حركية. تسمى الطاقة التي تعتمد على تركيب أو موضع جسم ما طاقة الوضع. الشكل **1a-2** يكون للمترجل عند نقطة البداية في أعلى المسار أكبر طاقة وضع ولا يكون له طاقة حركية، وما إن يبدأ في الحركة حتى تتحول طاقة وضعه إلى طاقة حركية على طول المسار حتى خط النهاية، كما هو مبين في الشكل **1b-2**. تنجم الطاقة الحركية عن حركة الأجسام، ويمكنك ملاحظتها في حركة الأجسام والناس من حولك. تحتوي الأنظمة الكيميائية على طاقة حركية وطاقة وضع. وقد عرفت سابقاً أن الطاقة

## الشكل 2-1

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

b. تتحول طاقة الوضع للمترجل إلى طاقة حركية.

قارن كيف تختلف طاقة الوضع للمترجل عند بوابة البدء عنها عند خط النهاية؟



**الشكل 2-2** يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى آخر ولكنها دائماً محفوظة.

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

**b.** تتحول طاقة الوضع المخزنة في روابط جزيئات البروبان إلى حرارة.

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

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

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

**طاقة الوضع الكيميائية** تسمى الطاقة المخزنة في مادة نتيجة تركيبها **طاقة الوضع الكيميائية**. وتلعب هذه الطاقة دوراً مهماً في التفاعلات الكيميائية. فطاقة الوضع الكيميائية للبروبان مثلاً تنتج عن ترتيب ذرات الكربون والهيدروجين وقوة الروابط التي تربط بينهم.

✓ **ماذا قرأت؟ اذكر نص قانون حفظ الطاقة بكلماتك الخاصة.**

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

### قياس الحرارة Measuring Heat

يعد انتقال الطاقة، وما يتبعه من تغير في درجة الحرارة مفتاحين لطريقة قياس الحرارة. وتسمى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من الماء النقي درجة سيليزية واحدة  $1^\circ C$  **السُّعْر** (Calorie (Cal). فعندما يحطم جسمك جزيئات السكر والدهون مكوناً ثاني أكسيد الكربون والماء ينتج عن هذا التفاعل الطارد للطاقة حرارة يمكن قياسها بالسُّعرات الغذائية (Cal).

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

تقاس الطاقة الحرارية وفق النظام الدولي للوحدات **بالجول** (J) joule. ويعادل الجول الواحد 0.2390 cal، والسُّعْر الواحد يعادل 4.184 J. يلخص الجدول 2-1 العلاقات بين السُّعْر cal والسُّعْر الغذائي Cal والجول J والكيلوجول kJ وعوامل التحويل التي يمكنك استعمالها للتحويل من وحدة إلى أخرى.

العلاقات بين وحدات الطاقة		الجدول 2-1
معامل التحويل	العلاقة	
$\frac{1 \text{ J}}{0.2390 \text{ cal}}$ $\frac{0.2390 \text{ cal}}{1 \text{ J}}$	$1 \text{ J} = 0.2390 \text{ cal}$	
$\frac{1 \text{ cal}}{4.184 \text{ J}}$ $\frac{4.184 \text{ J}}{1 \text{ cal}}$	$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$	
$\frac{1 \text{ kcal}}{1000 \text{ cal}}$ $\frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ kcal}}$	$1 \text{ Cal} = 1 \text{ Kcal}$	

#### مثال 2-1

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

#### 1 تحليل المسألة

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

**المطلوب**

**الطاقة = J؟**

**المعطيات**

الطاقة = 230 Cal

## 2 حساب المطلوب

حوّل Cal إلى cal .

$$230 \text{ Cal} \times \frac{1000 \text{ cal}}{1 \text{ Cal}} = 2.3 \times 10^5 \text{ cal} \quad 1 \text{ Kcal} = 1000 \text{ Cal} \text{ طبق العلاقة}$$

حوّل cal إلى J

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

## 3 تقويم الإجابة

القيمة  $10^5$  إلى  $10^6$  متوقعة؛ لأن القيمة  $10^2 \text{ kcal}$  يجب ضربها في  $10^3$  لتحويلها إلى cal. ثم تضرب في عامل تحويل J الذي يساوي 4 تقريباً. لذا الإجابة معقولة.

## مسائل تدريبية

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

## الحرارة النوعية Specific Heat

لقد قرأت أنه يلزم 1 cal، أو 4.184 J، لرفع درجة حرارة 1g من الماء النقي درجة سيليزية واحدة  $1^\circ\text{C}$ . تعرف هذه الكمية بـ  $4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$  بأنها الحرارة النوعية c للـماء. **الحرارة النوعية** لأي مادة هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من تلك المادة درجة سيليزية واحدة ( $1^\circ\text{C}$ ). ولأن لكل مادة تركيباً مختلفاً عن المواد الأخرى لذا فإن لكل مادة حرارة نوعية مميزة لها.

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

**حساب الحرارة الممتصة** افترض أن قطعة من رصيف أسمنتي (Concrete) كتلتها  $5.00 \times 10^3 \text{ g}$  زادت درجة حرارتها بمقدار  $6.0^\circ\text{C}$  فهل يمكن حساب كمية الحرارة التي امتصتها؟ تذكر أن الحرارة النوعية للمادة هي كمية الحرارة التي يجب أن يمتصها 1g من المادة لترفع درجة حرارته  $1^\circ\text{C}$ .

يبين الجدول 2-2 الحرارة النوعية لبعض المواد. الحرارة النوعية للأسمنت مثلاً، هي  $0.84 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ؛ إذن يمتص 1g من الأسمنت  $0.84 \text{ J}$  عندما تزداد درجة حرارته  $1^\circ\text{C}$ . لإيجاد الحرارة التي تمتصها  $5.00 \times 10^3 \text{ g}$  من الأسمنت. عليك أن تضرب  $0.84$  في  $5.00 \times 10^3$ ، ولأن درجة حرارة الأسمنت ازدادت  $6.0^\circ\text{C}$  فإن عليك أن تضرب الناتج عن ضرب الكتلة والحرارة النوعية في  $6^\circ\text{C}$ .

### معادلة حساب الحرارة

$q$ : الطاقة الحرارية الممتصة أو المطلق

$c$ : الحرارة النوعية للمادة

$m$ : كتلة المادة بالجرام

$\Delta T$ : التغير في درجة الحرارة ( $^\circ\text{C}$ ) أو

$T$  النهائية -  $T$  الأولية ( $T_f - T_i$ )

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

يمكنك استعمال هذه المعادلة لحساب الحرارة التي امتصتها قطعة الأسمنت.

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

$$q_{\text{concrete}} = \frac{0.84 \text{ J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \times (5.00 \times 10^3 \text{ g}) \times 6.0^\circ\text{C} = 25,000 \text{ J أو } 25 \text{ kJ}$$

مجموع كمية الحرارة التي امتصتها قطعة الأسمنت هو  $25,000 \text{ J}$  أو  $25 \text{ kJ}$ . بالمقارنة مع الماء، ما كمية الحرارة التي يمتصها  $5.00 \times 10^3 \text{ g}$  من الماء عندما تزداد درجة حرارته بمقدار  $6.0^\circ\text{C}$ ؟ يمكننا حساب  $q_{\text{water}}$  بنفس طريقة حسابها للأسمنت، ولكن هنا يجب استعمال الحرارة النوعية للماء،  $4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$ .

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

إذا قسمت الحرارة التي امتصها الماء  $130 \text{ kJ}$  على الحرارة التي امتصها الأسمنت سيكون الناتج  $25 \text{ kJ}$ ؛ ويعني ذلك أن الماء يمتص كمية من الحرارة أكثر خمس مرات من كمية الحرارة التي يمتصها الأسمنت إذا طرأ تغير متساوٍ على درجتي حرارتها.

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

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

ثم استعمال معادلة كمية الحرارة:

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

$$q_{\text{concrete}} = \frac{0.84 \text{ J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \times 5.00 \times 10^3 \text{ g} \times 34.0^\circ\text{C} = 140,000 \text{ J أو } 140 \text{ kJ}$$

الجدول 2-2	
الحرارة النوعية لبعض المواد عند $298 \text{ k} (25^\circ\text{C})$	
المادة	الحرارة النوعية $\text{J/g} \cdot ^\circ\text{C}$
الماء (l)	4.184
الإيثانول (l)	2.44
الماء (s)	2.03
الماء (g)	2.01
البريليوم (s)	1.825
المغنسيوم (s)	1.023
الألومنيوم (s)	0.897
الأسمنت (s)	0.84
الجرانيت (s)	0.803
الكالسيوم (s)	0.647
الحديد (s)	0.449
الإستراشيوم (s)	0.301
الفضة (s)	0.235
الباريوم (s)	0.204
الرصاص (s)	0.129
الذهب (s)	0.129

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

### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

$$T_i = 50.4^\circ\text{C} \quad \text{الطاقة المنطلقة} = 114 \text{ J}$$

$$T_f = 25^\circ\text{C} \quad \text{كتلة الحديد} = 10 \text{ g Fe}$$

#### المطلوب

$$\text{الحرارة النوعية للحديد} = ? \text{ J/g}^\circ\text{C}$$

### 2 حساب المطلوب

احسب  $\Delta T$ .

اكتب معادلة لحساب كمية الحرارة

أوجد قيمة  $c$

$$\Delta T = 50.4^\circ\text{C} - 25.0^\circ\text{C} = 25.4^\circ\text{C}$$

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

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

$$c = \frac{114 \text{ J}}{10.0 \text{ g} \times 25.4^\circ\text{C}}$$

$$c = 0.449 \text{ J/g}^\circ\text{C}$$

عوض  $q=114\text{J}$ ،  $m=10.0 \text{ g}$

$$\Delta T = 25.4^\circ\text{C}$$

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

### 3 تقويم الإجابة

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

#### مسائل تدريجية

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



**الشكل 2-3** كل خلية كهروضوئية على هذا اللوح تمتص أشعة الشمس وتحولها إلى طاقة كهربائية دون أن تسبب تلوثاً.

**الطاقة الشمسية** يستغل الماء أحياناً لأخذ الطاقة من الشمس؛ وذلك بسبب حرارته النوعية العالية. فبعد أن يسخن الماء بواسطة أشعة الشمس يمكن تدويره في البيوت والأماكن الأخرى لتدفئتها. كما يمكن أن تزود أشعة الشمس احتياجات العالم من الطاقة، مما يقلل من استعمال أنواع الوقود التي تنتج ثاني أكسيد الكربون. ولكن هناك عدة عوامل أدت إلى تأخير تطوير التقنيات الشمسية. فمثلاً الشمس تسطع فترةً محددةً كل يوم، كما أنّ تراكم الغيوم فوق بعض الأماكن تخفف من كمية أشعة الشمس الساقطة عليها. وبسبب هذه المتغيرات كان لابد من ابتكار طرائق فعالة لتخزين الطاقة. إن تطوير الخلايا الكهروضوئية-انظر الشكل 2-3- هو السبيل الواعد لاستعمال الطاقة الشمسية؛ فهذه الخلايا تحول الإشعاع الشمسي مباشرة إلى كهرباء. فالخلايا الفولتية الضوئية تزود رواد الفضاء بالطاقة؛ ولكنها لا تستعمل لتوفير الطاقة اللازمة للاحتياجات العادية؛ وذلك لأن تكلفة إنتاج الكهرباء بواسطة الخلايا الفولتية الضوئية مرتفعة مقارنة بتكلفة حرق الفحم أو البترول.

## التقويم 2-1

### الخلاصة

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

## الأهداف

## الحرارة Heat

**الفكرة الرئيسية** التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحاً منه المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة.

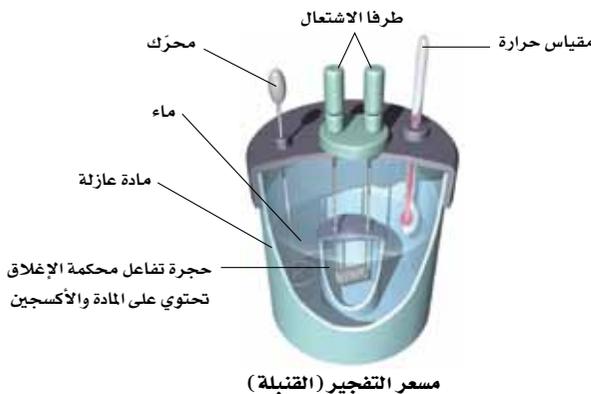
**الربط مع الحياة** لا بد أنك تشعر بالاسترخاء عند وقوفك تحت الدش الدافئ؛ حيث يمتص جسمك حرارة من الماء، في حين أنك تشعر بالارتعاش عندما تقفز في مسبح بارد؛ حيث يفقد جسمك حرارة. بطريقة مشابهة تمتص أو تطلق بعض التفاعلات الكيميائية الحرارة.

## قياس الحرارة Calorimetry

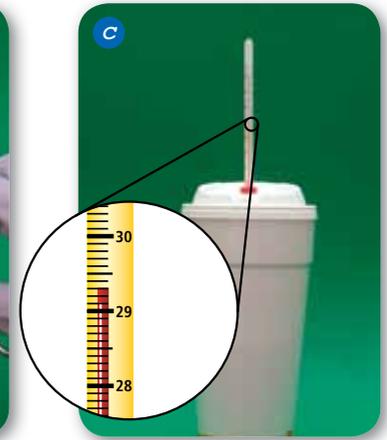
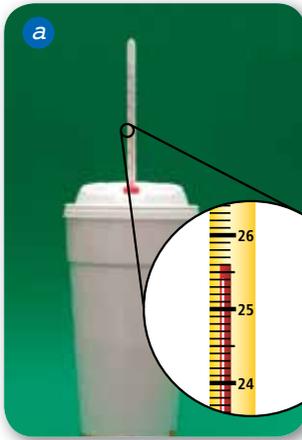
هل تساءلت يوماً كيف يعرف كيميائيو الغذاء القيمة الحرارية للأطعمة؟ لقد تم الحصول على المعلومات المدونة على عبوات المنتجات الغذائية من تفاعلات احتراق أجريت في مساعر. **والمسعر** جهاز معزول حرارياً يستخدم لقياس كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في أثناء عملية كيميائية أو فيزيائية؛ إذ توضع كمية معلومة من الماء في حجرة معزولة لكي تمتص الطاقة المنطلقة من التفاعل، أو لتزود الطاقة التي يمتصها التفاعل، ومن ثم يمكننا قياس التغير في درجة حرارة كتلة الماء. يبين الشكل 4-2 نوعاً من المسعر يدعى مسعر القنبلة، يستخدمه كيميائيو التغذية.

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

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



**الشكل 4-2** وضعت عينة في حجرة فولاذية داخلية تدعى القنبلة مملوءة بالأكسجين المضغوط ضغطاً عالياً. وحول القنبلة كمية معلومة من الماء تحرك بمحرك قليل الاحتكاك للمحافظة على درجة حرارة منتظمة. بدأ التفاعل بشراة، وسجلت درجة الحرارة حتى وصلت إلى أقصاها.



يبين الشكل 2-5 خطوات عمل التجربة. لاحظ أن درجة الحرارة في المسعر تثبت عند  $29.30^{\circ}\text{C}$ ، وهي درجة الحرارة النهائية التي وصل إليها كل من الفلز والماء. فإذا افترضنا أنه لم تُفقد حرارة إلى المحيط، فإن الحرارة التي اكتسبها الماء تكون مساوية للحرارة التي فقدها الفلز. ويمكن حساب كمية الحرارة هذه بالمعادلة:

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

ماذا قرأت؟ حدد المتغيرات الأربعة في المعادلة أعلاه.

احسب أولاً كمية الحرارة التي اكتسبها الماء. وللقيام بذلك عليك أن تعرف أن الحرارة النوعية للماء تساوي  $4.184 \text{ J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

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

$$q_{\text{water}} = 4.184 \text{ J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}) \times 125 \text{ g} \times 3.70^{\circ}\text{C}$$

$$q_{\text{water}} = 1940 \text{ J}$$

إن كمية الحرارة التي اكتسبها الماء  $1940 \text{ J}$  تساوي كمية الحرارة التي فقدها الفلز، لذلك يمكنك كتابة المعادلة:

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

$$q_{\text{metal}} = -1940 \text{ J}$$

$$c_{\text{metal}} \times m \times \Delta T = -1940 \text{ J}$$

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

$$c_{\text{metal}} = \frac{-1940 \text{ J}}{m \times \Delta T}$$

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

$$c_{\text{metal}} = \frac{-1940 \text{ J}}{(50.0 \text{ g})(-85.7^{\circ}\text{C})} = 0.453 \text{ J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$$

بمقارنة الحرارة النوعية للفلز  $0.453 \text{ J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$  بالقيم الواردة في الجدول 2-2 يتبين أن هذا الفلز هو الحديد.

الشكل 2-5 a. سجلت درجة الحرارة الأولية  $25.60^{\circ}\text{C}$  لـ  $125 \text{ g}$  من الماء في المسعر.

b. سخّنت قطعة من فلز مجهول كتلتها  $50.0 \text{ g}$  حتى أصبحت درجة حرارتها  $115.0^{\circ}\text{C}$ ، ثم وضعت في المسعر

c. ينقل الفلز الحرارة إلى الماء حتى تتساوى درجة حرارة الفلز والماء. وكانت درجة الحرارة النهائية  $29.30^{\circ}\text{C}$ .

**قانون هنري** تمتص قطعة فلز كتلتها 4.68g ما مقداره 256 J من الحرارة عندما ترتفع درجة حرارتها بمقدار 182°C. ما الحرارة النوعية للفلز؟ هل يمكن أن يكون الفلز أحد الفلزات القلوية الأرضية الموجودة في الجدول 2-3؟

### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

$$m = 4.68 \text{ g}$$

$$\text{كمية الحرارة المكتسبة، } q = ? \text{ J/(g}\cdot\text{C)}$$

$$\Delta T = 182^\circ\text{C}$$

#### المطلوب

$$\text{الحرارة النوعية } c = ? \text{ J/g}\cdot\text{C}$$

### 2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كمية الحرارة، q.

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

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

$$c = \frac{256 \text{ J}}{(4.68 \text{ g})(182^\circ\text{C})} = 0.301 \text{ J/(g}\cdot\text{C)}$$

حل المعادلة لإيجاد C

$$q = 256 \text{ J, } m = 4.68 \text{ g}$$

$$\Delta T = 182^\circ\text{C}$$

### 3 تقويم الإجابة

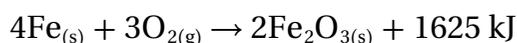
الكميات الثلاث المستخدمة في الحل تحوي ثلاثة أرقام معنوية، والإجابة تتكون من ثلاثة أرقام، وهذا صحيح. الحسابات صحيحة وتعطي الوحدة المتوقعة.

#### مسائل تدريبية

12. عينة من فلز كتلتها 90.0g امتصت 25.6 J من الحرارة عندما ازدادت درجة حرارتها 1.18°C. ما الحرارة النوعية للفلز؟
13. ارتفعت درجة حرارة عينة من الماء من 20.0°C إلى 46.6°C عند امتصاصها 5650 J من الحرارة. ما كتلة العينة؟
14. ما كمية الحرارة التي تكتسبها صخرة من الجرانيت كتلتها  $2.00 \times 10^3 \text{ g}$  إذا ارتفعت درجة حرارتها من 10.0°C إلى 29.0°C، إذا علمت أن الحرارة النوعية للجرانيت (0.803 J/(g°C)؟
15. تحدّد إذا فقدت 335 g من الماء، عند درجة حرارة 65.5°C كمية حرارة مقدارها 9750 J، فما درجة الحرارة النهائية للماء؟

## الطاقة الكيميائية والكون Chemical Energy and the Universe

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



## تحديد الحرارة النوعية

كيف تستطيع أن تحدد الحرارة النوعية لفلز؟

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

### الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. اعمل جدولاً لتسجل فيه بياناتك.
3. اسكب 150 ml تقريباً من الماء المقطر في كأس زجاجية سعته 250 ml. ثم ضع الكأس على السخان الكهربائي.
4. قس كتلة قطعة الفلز بالميزان.
5. أمسك قطعة الفلز بحذر بالملقط، وضعها في الكأس التي على السخان الكهربائي.
6. قس 90.0 ml من الماء المقطر بالمخيار المدرج.
7. اسكب الماء في كأس بوليسترين موضوعة داخل كأس زجاجية ثانية سعته 250 ml.
8. قس درجة حرارة الماء بمقياس حرارة غير زئبقي.

9. عندما يبدأ الماء الموجود في الكأس التي على السخان الكهربائي في الغليان قس درجة الحرارة وسجلها على أنها درجة الحرارة الأولية للفلز.

10. أمسك قطعة الفلز الساخنة بالملقط بحذر، وضعها في الماء البارد الموجود في كأس البوليسترين. لا تلمس الفلز الساخن بيديك.

11. حرك الماء في الكأس، وقس أعلى درجة حرارة يصل إليها بعد إضافة الفلز.

### التحليل

12. احسب كمية الحرارة التي اكتسبها الماء، علماً بأن الحرارة النوعية للماء  $4.184 \text{ J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ . ولأن كثافة الماء تساوي  $1.0 \text{ g/ml}$ ، استخدم حجم الماء على أنه الكتلة.

13. احسب الحرارة النوعية للفلز. افترض أن الحرارة التي امتصها الماء تساوي الحرارة التي فقدها الفلز.

14. قارن القيمة التي حصلت عليها في التجربة بالقيمة المقبولة للفلز.

15. صف مصادر الخطأ الرئيسية في هذه التجربة. ما التحسينات التي يمكن أن تعملها في هذه التجربة لتقليل الخطأ؟

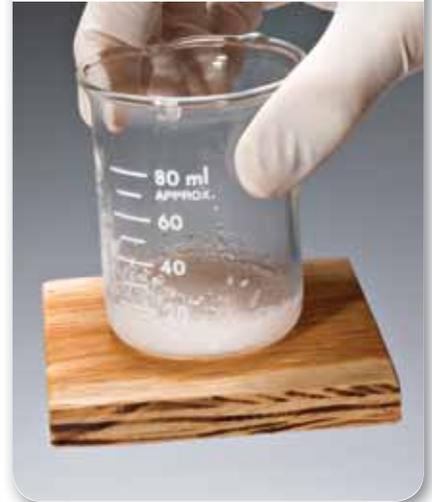
عرفت أن الحرارة التي تنطلق من الكمادة تنتج عن تفاعل كيميائي. لذا عليك أن تفكر بالكمادة ومحتوياتها بوصفها نظاماً. تُعرّف الكيمياء الحرارية النظام بأنه جزء معين من الكون يحتوي على التفاعل أو العملية التي تريد دراستها، وأن كل شيء في الكون غير النظام يسمى المحيط. لذلك يعرف الكون بأنه النظام مع المحيط.

$$\text{الكون} = \text{النظام} + \text{المحيط}$$

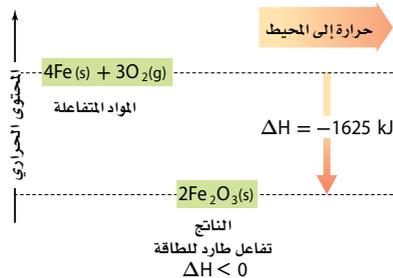
ما نوع انتقال الطاقة الذي يحدث في أثناء التفاعل الطارد للحرارة في الكمادة الساخنة؟ تنتقل الحرارة الناتجة عن التفاعل من الكمادة الساخنة (النظام) إلى يدك الباردتين (جزء من المحيط). ماذا يحدث في العملية أو التفاعل الماص للحرارة؟ ينعكس انتقال الحرارة؛ إذ تنتقل الحرارة من المحيط إلى النظام. فعلى سبيل المثال، عند خلط هيدروكسيد الباريوم مع بلورات ثيوسيانات الأمونيوم في كأس، كما يظهر في الشكل 6-2، ينتج تفاعل ماص للحرارة بشدة. وعند وضع الكأس التي تحوي هذا التفاعل على لوح مبتل بالماء تنتقل الحرارة من الماء واللوح (المحيط) إلى داخل الكأس (النظام)، فيحدث تغير كبير في درجة الحرارة، يتسبب في تجمد الماء الذي بين اللوح والكأس، مما يجعل الكأس تلتصق باللوح.

**المحتوى الحراري وتغيراته** تعتمد كمية الحرارة الكلية التي تحتوي عليها مادة ما على عوامل كثيرة، وبعض هذه العوامل غير مفهوم تماماً حتى الآن. لذلك من المستحيل معرفة كمية الحرارة الكلية الموجودة في المادة. ومن حسن الحظ أن الكيميائيين يهتمون بدراسة تغيرات الطاقة في أثناء التفاعلات الكيميائية أكثر من اهتمامهم بكمية الطاقة الموجودة في المواد المتفاعلة أو المواد الناتجة.

الشكل 6-2 في هذا التفاعل الماص للحرارة يمتص خليط التفاعل كمية كافية من الطاقة من الماء الذي يبيل اللوح ومن اللوح نفسه، فتتخفض درجة حرارة الماء واللوح حتى التجمد فيمسك اللوح بالكأس.



التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الكمادة الساخنة



**الشكل 2-7** يشير السهم المتجه إلى أسفل إلى أن 1625 J من الحرارة انطلقت إلى المحيط، في التفاعل بين الحديد والأكسجين لتكوين  $Fe_2O_3$ . يمكن استخدام كمادة ساخنة من هذا النوع لتدفئة الأيدي الباردة. **اشرح** كيف يبين المخطط أن التفاعل طارد للحرارة.

يمكن قياس كمية الطاقة المكتسبة أو المفقودة للكثير من التفاعلات باستخدام المسعر عند ضغط ثابت، كما هو موضح في التجربة في الشكل 2-5. ولأن كأس البوليسترين غير مغلقة فالضغط ثابت. يحدث الكثير من التفاعلات عند ضغط جوي ثابت، ومن ذلك تلك التي تحدث في المخلوقات الحية التي تعيش على سطح الأرض، وفي البرك والمحيطات، وكذلك التفاعلات التي تحدث في الكؤوس والدواقر المفتوحة داخل المختبرات. يرمز إلى الطاقة المنطلقة أو المتولدة من التفاعلات التي تحدث عند ضغط ثابت في بعض الأحيان بالرمز  $q_p$ . ولتسهيل قياس أو دراسة تغيرات الطاقة التي ترافق تلك التفاعلات وضع الكيميائيون خاصية أسموها المحتوى الحراري. ويعرّف المحتوى الحراري (H) بأنه المحتوى الحراري للنظام تحت ضغط ثابت.

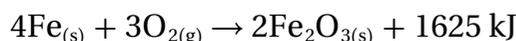
وبالرغم من عدم مقدرتك على قياس الطاقة الفعلية أو المحتوى الحراري للمادة إلا أنه يمكنك أن تقيس التغير في المحتوى الحراري، وهو كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في التفاعل الكيميائي. ويسمى التغير في المحتوى الحراري **المحتوى الحراري (أو حرارة) للتفاعل** ( $\Delta H_{rxn}$ ). لقد تعلمت سابقاً أن الرمز المسبوق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

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

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

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

**إشارة المحتوى الحراري للتفاعل** تذكر التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الكمادة الساخنة.

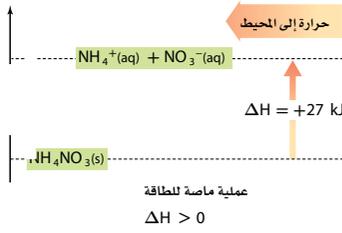


يتبين من معادلة التفاعل أن المواد المتفاعلة في هذا التفاعل الطارد للحرارة تفقد حرارة، لذلك يكون  $H_{products} < H_{reactants}$ ، لذا عند طرح  $H_{reactants}$  من  $H_{products}$  التي كميتها أصغر نحصل على قيمة سالبة لـ  $\Delta H_{rxn}$ ، ويقودنا ذلك إلى أن تغيرات المحتوى الحراري للتفاعلات الطاردة للحرارة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

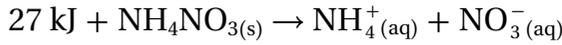


ويبين الشكل 2-7 مخطط التغير في المحتوى الحراري.

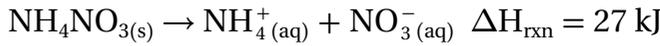
### طريقة عمل الكمادة الباردة



الآن تذكر عملية الكمادة الباردة.



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



يبين الشكل 2-8 التغير في الطاقة في الكمادة الباردة، حيث يزيد المحتوى الحراري للنواتج بمقدار 27 kJ عن المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة؛ لأنه تم امتصاص طاقة. لذلك تكون إشارة  $\Delta H$  لهذا التفاعل وجميع التفاعلات والعمليات الماصة للحرارة موجبة. تذكر أن إشارة  $\Delta H_{\text{rxn}}$  سالبة للتفاعلات والعمليات الطاردة للحرارة. التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$  يساوي الحرارة المكتسبة أو المفقودة  $q_p$  في أي تفاعل أو عملية تحدث عند ضغط ثابت. ولأن جميع التفاعلات الواردة في هذا الفصل تحدث عند ضغط ثابت يمكنك أن تفترض أن  $q = \Delta H_{\text{rxn}}$ .

**الشكل 2-8** يبين السهم الذي يشير إلى أعلى أن 27 kJ من الحرارة قد تم امتصاصها من المحيط في أثناء عملية إذابة  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . يعد هذا التفاعل هو الأساس في صناعة الكمادة الباردة؛ فعند وضع الكمادة على كاحل الشخص يزود الكاحل الكمادة بالحرارة ويبرد هو بدوره.

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

## التقويم 2-2

### الخلاصة

16. **الفكرة الرئيسية** صف كيف تحسب كمية الحرارة المكتسبة أو المفقودة من المادة عندما تتغير درجة حرارتها؟
  17. اشرح لماذا تكون إشارة  $\Delta H$  سالبة للتفاعل الطارد للحرارة؟
  18. اشرح لماذا يشكل الحجم المعلوم من الماء جزءاً مهماً من المسعر؟
  19. اشرح لماذا يجب أن تعرف الحرارة النوعية للمادة حتى تحسب الحرارة المكتسبة أو المفقودة من المادة نتيجة تغير درجة الحرارة؟
  20. صف معنى النظام في الديناميكا الحرارية، وشرح العلاقة بين النظام والمحيط والكون.
  21. احسب الحرارة النوعية  $J/(g \cdot ^\circ C)$  لمادة مجهولة؛ إذ تطلق عينة كتلتها 2.50 g منها 12.0 Cal عندما تتغير درجة حرارتها من  $25^\circ C$  إلى  $20.0^\circ C$ .
  22. صمم تجربة صف خطوات العمل التي يمكنك أن تتبعها لإيجاد الحرارة النوعية لقطعة فلز كتلتها 45.0 g.
- تعرف الكيمياء الحرارية الكون على أنه النظام مع المحيط.
  - تسمى كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة في النظام في أثناء التفاعل أو العملية التي تتم تحت ضغط ثابت التغير في المحتوى الحراري ( $\Delta H$ ).
  - عندما يكون  $\Delta H$  موجباً، يكون التفاعل ماصاً للحرارة أما عندما يكون  $\Delta H$  سالباً، فيكون التفاعل طارداً للحرارة.

## المعادلات الكيميائية الحرارية Thermochemical Equations

### الأهداف

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

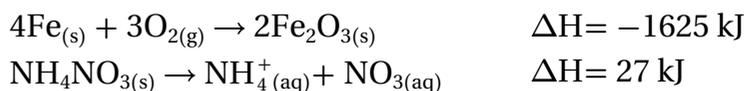
**الفكرة الرئيسية** تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصة في التفاعلات الكيميائية.

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

### كتابة المعادلات الكيميائية الحرارية

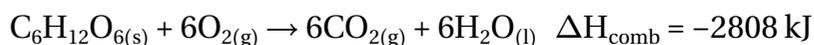
#### Writing Thermochemical Equations

إن التغير في الطاقة جزء مهم من التفاعلات الكيميائية، لذلك يضمنوا الكيميائيون  $\Delta H$  في الكثير من المعادلات الكيميائية. وتدعى المعادلات الكيميائية التي تكتب فيها قيم  $\Delta H$  معادلات كيميائية حرارية.



تكتب المعادلة الكيميائية الحرارية في صورة معادلة كيميائية موزونة تشتمل على الحالات الفيزيائية لجميع المواد المتفاعلة والنواتج، والتغير في الطاقة، والذي يعبر عنه عادة بأنه تغير في المحتوى الحراري،  $\Delta H$ .

ينتج عن تفاعل احتراق الجلوكوز  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  الطارد للحرارة في أثناء عملية الأيض في الجسم كمية كبيرة من الطاقة، كما هو مبين في المعادلة الكيميائية:



يسمى المحتوى الحراري الناتج عن حرق 1 mol من المادة احتراقاً كاملاً، **حرارة الاحتراق** ( $\Delta H_{\text{comb}}$ ) enthalpy (heat) of combustion. ويبين الجدول 2-3 تغيرات المحتوى الحراري القياسية لعدة مواد. ويستعمل الرمز  $\Delta H^\circ$  ليدل على تغير المحتوى الحراري القياسي. فالرمز ( $^\circ$ ) يبين أن تغيرات المحتوى الحراري قد تم تحديدها للمواد المتفاعلة والنواتج جميعها عند الظروف القياسية (ضغط جوي 1 atm ودرجة حرارة  $25^\circ\text{C}$ )، ويجب عدم الخلط بينها وبين درجة الحرارة والضغط القياسيين STP.

### مراجعة المفردات

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

### المفردات الجديدة

المعادلة الكيميائية الحرارية  
حرارة الاحتراق  
حرارة التبخر المولارية  
حرارة الانصهار المولارية

حرارة الاحتراق القياسية		الجدول 2-3
$\Delta H^\circ_{\text{comb}}$ kJ/mol	الصيغة الكيميائية	المادة
-5644	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(\text{s})$	السكروز (سكر المائدة)
-5471	$\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{l})$	الأوكتان (أحد مكونات البنزين)
-2808	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$	الجلوكوز (سكر بسيط يوجد في الفواكه)
-2219	$\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$	البروبان (وقود غازي)
-891	$\text{CH}_4(\text{g})$	الميثان (وقود غازي)

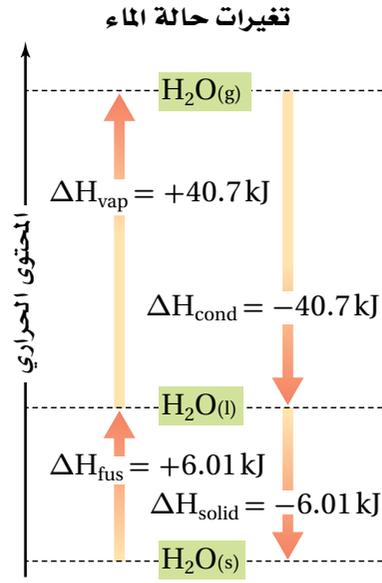
## تغيرات الحالة Changes of State

هناك الكثير من العمليات غير الكيميائية التي تمتص الطاقة فيها أو تطلق. فكر مثلاً فيما يحدث عندما تخرج من حمام ساخن، لا بد أنك تشعر أن جسمك يرتعش في أثناء تبخر الماء عن جلدك؛ وذلك لأن جلدك يزود الماء بالحرارة التي يحتاج إليها لكي يتبخّر، وكلما امتص الماء الحرارة من جلدك وتبخّر ازدادت برودة جسمك.

تسمى الحرارة اللازمة لتبخّر 1 mol من سائل **حرارة التبخر المولارية** Molar enthalpy (heat) of vaporization ( $\Delta H_{\text{vap}}$ ). وبالمثل أيضاً إذا أردت شرب كأس ماء بارد فقد تضع فيه مكعباً من الثلج؛ فيبرد الماء لأنه يزود مكعب الثلج بالحرارة لكي ينصهر. تسمى الحرارة اللازمة لـ 1 mol من مادة صلبة **حرارة الانصهار المولارية** Molar enthalpy (heat) of fusion ( $\Delta H_{\text{fus}}$ ). ولأن تبخر السائل وصره المادة الصلبة عمليتان ماصتان للحرارة، تكون  $\Delta H$  لكل من العمليتين موجبة. يبين الجدول 2-4 حرارة التبخر والانصهار القياسية لعدد من المواد المألوفة.

حرارة التبخر والانصهار القياسية		الجدول 2-4	
$\Delta H^\circ_{\text{fus}}$ kJ/mol	$\Delta H^\circ_{\text{vap}}$ kJ/mol	الصيغة الكيميائية	المادة
6.01	40.7	$\text{H}_2\text{O}$	الماء
4.94	38.6	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	الإيثانول
3.22	35.2	$\text{CH}_3\text{OH}$	الميثانول
11.7	23.4	$\text{CH}_3\text{COOH}$	حمض الإيثانويك
5.66	23.3	$\text{NH}_3$	الأمونيا

**الشكل 2-9** الأسهم التي تشير إلى أعلى تدل على أن طاقة النظام تزداد عندما ينصهر الماء، ثم يتبخّر. وتدل الأسهم التي تشير إلى أسفل أن طاقة النظام تقل عندما يتكثف الماء ويتجمد.



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



تبين المعادلة الأولى أن 40.7 kJ من الطاقة تُمتص عندما يتحول 1 mol من الماء إلى 1 mol من بخار الماء. بينما تشير المعادلة الثانية إلى أن 6.01 kJ من الطاقة تُمتص عندما ينصهر مول واحد من الجليد ليكون مولاً واحداً من الماء السائل.

ماذا يحدث في العمليتين العكسيتين عندما يتكثف بخار الماء ليكوّن الماء السائل أو عندما يتجمد الماء مكوناً الجليد؟ كميات الحرارة في هذه العمليات الطاردة للحرارة مساوية لكميات الحرارة التي تمتص في عمليتي التبخر والانصهار الماصتين للحرارة. وهكذا فإن قيمة حرارة التكثيف المولارية Molar enthalpy (heat) of condensation ( $\Delta H_{\text{cond}}$ ) وقيمة حرارة التبخر المولارية متساويتان رقمياً وإن اختلفتا في الإشارة. كذلك فإن قيمة حرارة التجمد المولارية ( $\Delta H_{\text{solid}}$ ) وقيمة حرارة الانصهار المولارية لها القيمة الرقمية نفسها، ولكنهما تختلفان في الإشارة. وهذه العلاقات موضحة في الشكل 2-9.

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

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

قارن بين معادلتَي تكثف وتجمد الماء التاليتين بالمعادلتين المتعلقتين بتبخّر الماء وصهره.



يستغل بعض المزارعين في البلاد الباردة حرارة انصهار الماء لحماية الفاكهة والخضراوات من التجمد. فإذا كان من المتوقع أن تنخفض درجة الحرارة إلى درجة التجمد في أحد الأيام فإنهم يغمرّون بساتينهم وحقولهم بالماء في تلك الليلة. ويعود السبب في ذلك إلى أن عملية تجمد الماء تطلق طاقة  $\Delta H_{\text{fus}}$  تدفئ الهواء المحيط لدرجة كافية لمنع الفاكهة والخضراوات من التلف. وسوف ترسم في مختبر حل المشكلات الآتي منحني تسخين الماء لتفسير استعمال حرارة الانصهار والتبخّر.

**ماذا قرأت؟** صنف عمليات كل من التكثف، والتجمد، والتبخّر، والانصهار، إلى طاردة للحرارة أو ماصة لها.

## مختبر حل المشكلات

### اعمل رسوماً بيانية واستعملها

كيف ترسم منحنى التسخين للماء؟

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

### التحليل

استعمل بيانات الجدول لرسم منحنى التسخين لعينة من الماء كتلتها 180 g عند تسخينها بمعدل ثابت من  $-20^{\circ}\text{C}$  إلى  $120^{\circ}\text{C}$ . ثم سجل الوقت الذي يحتاج إليه الماء ليمر في كل قطاع من الرسم البياني.

### التفكير الناقد

1. **حلل** كلاً من الأجزاء الخمسة من الرسم. والتي تتميز بتغير حاد في ميل المنحنى. وبين كيف يغير امتصاص الحرارة من طاقة الوضع وطاقة الحركة لجزيئات الماء.

2. **احسب** كمية الحرارة اللازمة لكل منطقة من الرسم.

$180\text{ g H}_2\text{O} = 10\text{ mol H}_2\text{O}$ ,  $\Delta H_{\text{fus}} = 6.01\text{ kJ/mol}$ ,  
 $\Delta H_{\text{vap}} = 40.7\text{ kJ/mol}$ ,  $C_{\text{H}_2\text{O(s)}} = 2.03\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  
 $C_{\text{H}_2\text{O(l)}} = 4.184\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $C_{\text{H}_2\text{O(g)}} = 2.01\text{ J/g}\cdot^{\circ}\text{C}$

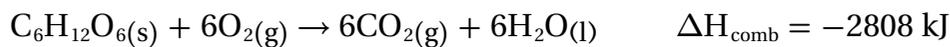
ما علاقة الزمن اللازم في كل منطقة في الرسم بكمية الحرارة الممتصة؟

3. **استنتج** كيف يبدو شكل منحنى التسخين للإيثانول؟ ينصهر الإيثانول عند  $-114^{\circ}\text{C}$  ويغلي عند  $78^{\circ}\text{C}$ . ارسم منحنى تسخين الإيثانول في مدى درجات الحرارة من  $-120^{\circ}\text{C}$  إلى  $90^{\circ}\text{C}$ . ما العوامل التي تحدد طول الأجزاء التي تثبت فيها درجة الحرارة (الخطوط الأفقية)؟ وما ميل المنحنى بين الأجزاء التي تتغير فيها درجة الحرارة؟

بيانات الزمن ودرجة حرارة الماء

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

**الحرارة المنطلقة من تفاعل** يستعمل المسعر في قياس الحرارة الناتجة عن تفاعلات الاحتراق؛ إذ يتم التفاعل في حجم ثابت يحوي أكسجيناً مضغوطاً وضغطاً عالياً. ما كمية الحرارة الناتجة عن احتراق 54.0 g جلوكوز  $C_6H_{12}O_6$  حسب المعادلة الآتية:



### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

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

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

#### المطلوب

$q = ? \text{ kJ}$

### 2 حساب المطلوب

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

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

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

اضرب مولات  $C_6H_{12}O_6$  في المحتوى الحراري للاحتراق،  $\Delta H_{comb}$

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

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

### 3 تقويم الإجابة

الطاقة الناتجة أقل من ثلث  $\Delta H_{comb}$ .

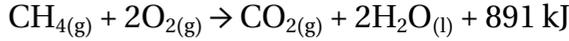
#### مسائل تدريبية

23. احسب الحرارة اللازمة لصهر 25.7g من الميثانول الصلب عند درجة انصهاره. استعن في الجدول 2-4.
24. ما كمية الحرارة المنطلقة عن تكثف 275g من غاز الأمونيا إلى سائل عند درجة غليانه؟ استعن في الجدول 2-4 لتحديد  $\Delta H_{cond}$ .
25. تحدّد ما كتلة الميثان  $CH_4$  التي يجب احتراقها لإطلاق 12.880 kJ من الحرارة؟ استعن في الجدول 2-3.

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

## تفاعلات الاحتراق Combustion Reactions

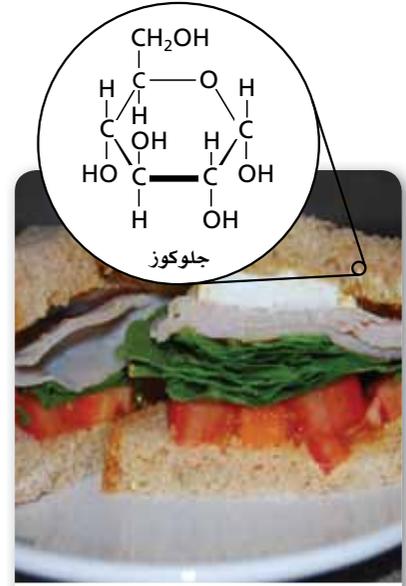
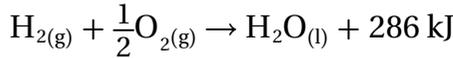
تفاعل الاحتراق عبارة عن تفاعل الوقود مع الأكسجين. وفي الأنظمة الحيوية يعد الطعام الوقود اللازم للاحتراق. يبين الشكل 10-2 بعض الأغذية العديدة التي تحتوي على الجلوكوز بالإضافة إلى أغذية أخرى تحتوي على الكربوهيدرات، والتي تتحول بدورها إلى جلوكوز داخل جسمك. كما أنك تعتمد على تفاعلات الاحتراق في تدفئة منزلك. فمثلاً يُحرق غاز الميثان بوصفه وسيلة لطهو الطعام أو تدفئة المنازل؛ إذ ينتج عن حرق 1 mol من الميثان 891 kJ من الطاقة الحرارية، كما تبين المعادلة الكيميائية:



تعمل معظم المركبات - ومنها السيارات والطائرات والسفن والشاحنات - باحتراق الجازولين، والذي يتكون غالباً من الأوكتان  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ . ويبين الجدول 3-3 أن احتراق 1 mol من الأوكتان ينتج 5471 kJ من الحرارة.



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

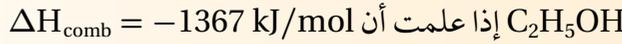


**الشكل 10-2** هذه الأغذية هي وقود للجسم. فهي تزود الجسم بالجلوكوز الذي يحترق لإنتاج 2805 kJ/mol ليقوم الجسم بأنشطته الحيوية.

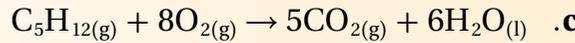
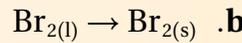
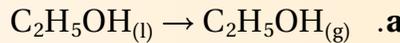
## التقويم 2-3

### الخلاصة

26. **الفكرة الرئيسية** اكتب معادلة كيميائية حرارية كاملة لاحتراق الإيثانول

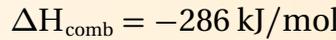


27. **حدد** أي العمليات الآتية طاردة للحرارة، وأيها ماصة لها؟



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

29. **احسب** كمية الحرارة المنطلقة عنه احتراق 206 g من غاز الهيدروجين؟

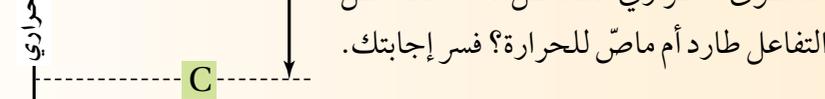


30. **طبّق** إذا كانت حرارة التبخر المولارية للأمونيا هي 23.3 kJ/mol فما مقدار

حرارة التكثف المولارية للأمونيا؟

31. **تفسير الرسوم العلمية** يبين الرسم المجاور المحتوى الحراري للتفاعل  $A \rightarrow C$ . هل

التفاعل طارد أم ماص للحرارة؟ فسر إجابتك.



- تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الطبيعية للمواد المتفاعلة والناتج، كما تبين التغير في المحتوى الحراري.
- حرارة التبخر المولارية  $\Delta H_{\text{vap}}$ ، هي كمية الطاقة اللازمة لتبخّر مول واحد من السائل.
- حرارة الانصهار المولارية  $\Delta H_{\text{fus}}$ ، هي كمية الحرارة اللازمة لصهر مول واحد من المادة الصلبة.

## الأهداف

- **تطبيق قانون هس** لحساب التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما.
- **توضيح المقصود** بحرارة التكوين القياسية.
- **تحسب التغير** في المحتوى الحراري للتفاعل  $\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}$  مستعملًا المعادلات الكيميائية الحرارية.
- **تحسب التغير** في المحتوى الحراري لتفاعل باستعمال بيانات حرارة التكوين القياسية.

## مراجعة المفردات

**المتآصلات؛** شكل أو أكثر لعنصر، ويكون لهذه الأشكال تراكيب بنائية وخواص مختلفة عندما يكونون في الحالة الفيزيائية نفسها.

## المفردات الجديدة

قانون هس

حرارة التكوين القياسية

## حساب التغير في المحتوى الحراري

### Calculating Enthalpy Change

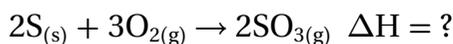
**الفكرة الرئيسية** يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الكيميائية باستعمال قانون هس.

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

### قانون هس Hess's Law

يكون أحياناً من المستحيل أو من غير العملي أن تقيس التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$  لتفاعل باستعمال المسعر. تأمل التفاعل في الشكل 2-11 مثلاً، وهو تغير الكربون في صورته المتآصلة (الألماس)، إلى الكربون في صورته المتآصلة (الجرافيت). (جرافيت، C(s) → C(s, ماس).

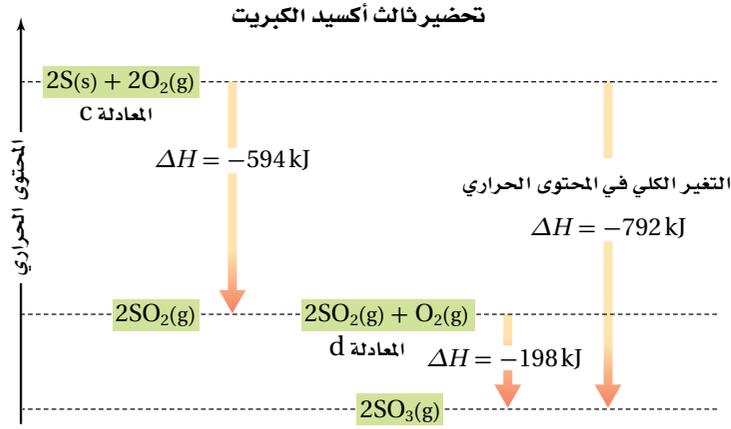
يحدث هذا التفاعل ببطء شديد، مما يجعل من المستحيل أن نقيس التغير في محتواه الحراري. وهناك تفاعلات أخرى تحدث في ظروف يصعب إيجادها في المختبر، كما أن هناك تفاعلات تعطي نواتج غير النواتج المطلوبة منها، فيستعمل الكيميائيون طريقة نظرية لإيجاد  $\Delta H$  لمثل هذه التفاعلات. لنفترض أنك تدرس تكوين ثالث أكسيد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



لسوء الحظ إن التجارب المخبرية التي تجرى لإنتاج ثالث أكسيد الكبريت لتحديد  $\Delta H$  للتفاعل ينتج عنها مخلوط من النواتج، معظمها يتكون من ثاني أكسيد الكبريت  $\text{SO}_2$ . في مثل هذه الحالة يمكنك حساب  $\Delta H$  باستعمال قانون هس للجمع الحراري. ينص **قانون هس** على أنه إذا كنت تستطيع أن تجمع معادلتين كيميائيتين حراريتين أو أكثر لإنتاج معادلة نهائية لتفاعل ما كان مجموع التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الفردية مساوياً لتغير المحتوى الحراري للتفاعل النهائي.

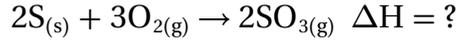


**الشكل 2-11** إن التعبير الذي يقول إن "الألماس يبقى إلى الأبد dimonds are forever" يدل على أن عملية تحويل الألماس إلى جرافيت عملية بطيئة جداً حتى أنه من المستحيل أن تقيس التغير في محتواه الحراري.



**الشكل 2-12** يدل السهم الموجود عن اليسار على إطلاق 594 kJ عند اتحاد S و O<sub>2</sub> لتكوين SO<sub>2</sub> (المعادلة c). ثم يتحد SO<sub>2</sub> مع O<sub>2</sub> لتكوين SO<sub>3</sub> (المعادلة d) عند إطلاق 198 kJ (السهم الأوسط). إن التغير الكلي في الحرارة (مجموع العمليتين) يمثل السهم الأيمن. **أوجد** التغير في المحتوى الحراري لتحلل SO<sub>3</sub> إلى S و O<sub>2</sub>.

**تطبيق قانون هس** كيف يمكن استعمال قانون هس لحساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل الذي ينتج ثالث أكسيد الكبريت SO<sub>3</sub>؟



**الخطوة 1** نحتاج إلى الاطلاع على معادلات كيميائية معلومة تُظهر التغير في المحتوى الحراري للمواد في معادلة التفاعل المطلوب حساب التغير في المحتوى الحراري له. المعادلتان الآتيتان تحتويان على SO<sub>3</sub> و O<sub>2</sub> و S:

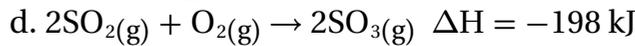
- $S_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow SO_{2(g)} \quad \Delta H = -297 \text{ kJ}$
- $2SO_{3(g)} \rightarrow 2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta H = 198 \text{ kJ}$

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

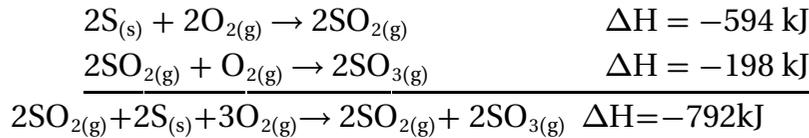


**الخطوة 3** تبين معادلة التفاعل المطلوب حساب التغير في المحتوى الحراري له أن ثالث أكسيد الكبريت هو ناتج وليس مادة متفاعلة، لذا اعكس المعادلة b.

عندما تعكس المعادلة يجب عليك أيضاً أن تغير إشارة ΔH. فتصبح المعادلة b كما يأتي:



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



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



ويبين الشكل 2-12 تغيرات الطاقة في هذا التفاعل.

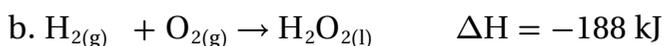
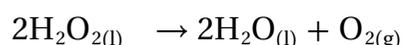
تكون المعادلات الكيميائية الحرارية عادةً موزونةً لمول واحد من الناتج. لذا نجد أنه في الكثير من هذه المعادلات يجب استعمال معاملات كسرية. مثلاً تُكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لتفاعل الكبريت مع الأكسجين لإنتاج مول واحد من ثالث أكسيد الكبريت كما يأتي:



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

## مثال 2-5

**قانون هس:** استعمل المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b أدناه لإيجاد  $\Delta H$  لتحلل بيروكسيد الهيدروجين  $H_2O_2$ ، وهو مركب له عدة استعمالات، منها إزالة لون الشعر، وتزويد محركات الصواريخ بالطاقة.



### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

#### المطلوب

$$\Delta H = ? \text{ kJ}$$



### 2 حساب المطلوب

$H_2O_2$  هو مادة متفاعلة

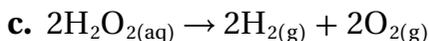
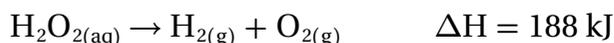
اعكس المعادلة b وغير إشارة  $\Delta H$

يلزم 2 mol من  $H_2O_2$

اضرب المعادلة b بعد عكسها في 2 لتحصل على المعادلة c

اضرب 188 kJ في 2 لتحصل على  $\Delta H$  للمعادلة c

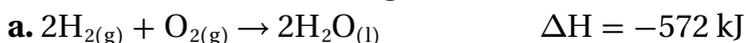
اكتب المعادلة c متضمنة  $\Delta H$



$$\Delta H = 188 \text{ kJ} \times 2 = 376 \text{ kJ}$$



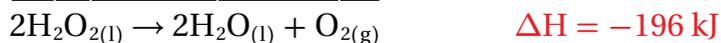
اجمع المعادلة a مع المعادلة c، واحذف كل حدين موجودين على طرفي المعادلة المدجة. اجمع المحتوى الحراري للمعادلتين a و c.



اكتب المعادلة a



اكتب المعادلة c



اجمع المعادلتين a و c

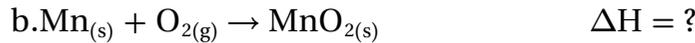
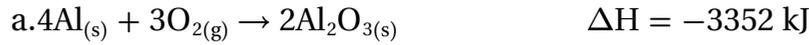
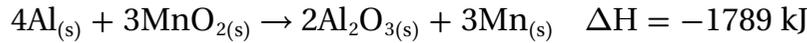
### 3 تقويم الإجابة

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

32. استعمل المعادلتين a و b لإيجاد  $\Delta H$  للفاعل الآتي:



33. تحدّد إذا كانت قيمة  $\Delta H$  للفاعل الآتي  $-1789 \text{ kJ}$ ، فاستعمل ذلك مع المعادلة a لإيجاد  $\Delta H$  للفاعل b



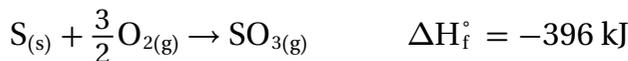
## حرارة التكوين القياسية

### Standard Enthalpy (Heat) of Formation

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

ويسمى  $\Delta H$  لهذا التفاعل المحتوى الحراري، أو حرارة التكوين القياسية للمركب. ويعرف المحتوى الحراري أو حرارة التكوين القياسية  $\Delta H_f^\circ$  بأنها التغير في المحتوى الحراري الذي يرافق تكوين مول واحد من المركب في الظروف القياسية من عناصره في حالاتها القياسية.

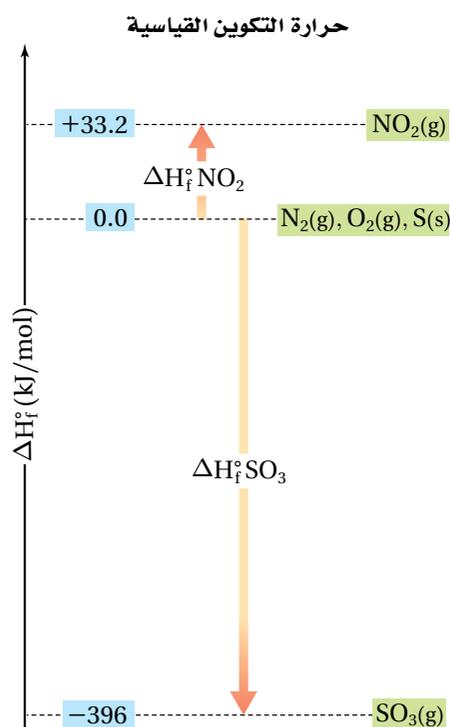
ويعد تفاعل تكوّن ثالث أكسيد الكبريت  $\text{SO}_3$  مثلاً على تفاعل حرارة تكوين قياسية.



ينتج عن هذا التفاعل ثالث أكسيد الكبريت  $\text{SO}_3$ ، وهو غاز خانق يتسبب في إنتاج المطر الحمضي عندما يختلط بالرطوبة الموجودة في الجو. والشكل 2-13 يبين النتائج المدمرة للمطر الحمضي.

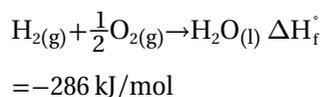


الشكل 2-13 يتحد ثالث أكسيد الكبريت مع الماء في الجو مكوناً حمض الكبريتيك  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ، وهو حمض قوي يصل إلى الأرض على شكل مطر حمضي، فيدمر الأشجار والممتلكات ببطء.



**الشكل 14-2**  $\Delta H_f^\circ$  للعناصر  $N_2$  و  $O_2$  و  $S$  تساوي (0.0 kJ). عندما يتفاعل  $N_2$  مع  $O_2$  لتكوين مول واحد من  $NO_2$  يتم امتصاص 33.2 kJ من الطاقة. لذا فإن  $\Delta H_f^\circ$  لـ  $NO_2$  تساوي 33.2 kJ/mol. أما عند تفاعل  $S$  مع  $O_2$  لتكوين مول واحد من  $SO_3$  فينتقل 396 kJ من الطاقة. لذا فإن  $\Delta H_f^\circ$  لـ  $SO_3$  تساوي -396 kJ/mol.

**توقع** صف الموقع التقريبي للماء على الرسم أعلاه.



**ما مصدر حرارة التكوين؟** إن حرارة التكوين القياسية تعتمد على الفرضية الآتية: العناصر في حالاتها القياسية يكون لها  $\Delta H_f^\circ$  تساوي 0.0 kJ/mol. فإذا أخذنا الصفر نقطة بداية أمكننا أن ننظم تدریجاً لقيم حرارة التكوين للمركبات، والتي تم إيجادها مختبرياً. يمكنك التفكير في الصفر على هذا التدریج بما يشبه الصفر المئوي  $0.0^\circ C$  الذي حُدّد درجة لتجمد الماء. وهكذا كل مادة أدفاً من الماء المتجمد تكون درجة حرارتها أعلى من الصفر. وكل المواد التي تكون أبرد من الماء المتجمد يكون لها درجة حرارة أقل من الصفر.

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



النيتروجين والأكسجين في الحالة القياسية غازان ثنائيا الذرة، لذا تكون حرارة التكوين لكل منهما صفرًا. وعند تفاعل النيتروجين مع الأكسجين لتكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين وجد مختبرياً أن  $\Delta H$  تساوي +33.2 kJ.

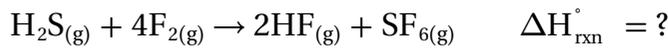
وهذا يعني أن +33.2 kJ من الطاقة قد امتصت في هذا التفاعل الماص للحرارة. أي أنّ المحتوى الحراري للنواتج  $NO_2$  أعلى من المحتوى الحراري للمتفاعلات بمقدار +33.2 kJ. يبين الشكل 14-2 أنه على تدریج حرارة التكوين القياسية يوضع  $NO_2$  فوق العناصر المكونة له بمقدار +33.2 kJ. ويوضع ثالث أكسيد الكبريت  $SO_3$  بمقدار 396 kJ تحت الصفر؛ لأن  $SO_3(g)$  ينتج عن تفاعل طارد للحرارة. أي أن حرارة التكوين لثالث أكسيد الكبريت  $\Delta H_f^\circ$  تساوي -396 kJ. يحتوي الجدول 5-3 على قيم حرارة التكوين القياسية لبعض المركبات الشائعة.

حارات التكوين القياسية		الجدول 5-2
$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	معادلة التكوين	المركب
-21	$H_2(g) + S(s) \rightarrow H_2S(g)$	$H_2S(g)$
-273	$\frac{1}{2}H_2(g) + \frac{1}{2}F_2(g) \rightarrow HF(g)$	$HF(g)$
-396	$S(s) + \frac{3}{2}O_2(g) \rightarrow SO_3(g)$	$SO_3(g)$
-1220	$S(s) + 3F_2(g) \rightarrow SF_6(g)$	$SF_6(g)$



**الشكل 2-15** يستعمل سادس فلوريد الكبريت في حفر أشكال دقيقة، وأحياناً بنمط محدد على رقائق السليكون في عملية إنتاج الأجهزة شبه الموصلة. تعد أشباه الموصلات أجزاء مهمة في الأجهزة الإلكترونية الحديثة ومنها الحواسيب والهواتف الخلوية ومشغلات MP3، وغيرها.

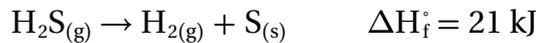
**استعمال حرارة التكوين القياسية** تستعمل حرارة التكوين القياسية في حساب حرارة التفاعل  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$  لكثير من التفاعلات في الظروف القياسية باستعمال قانون هس. افترض أنك أردت أن تحسب  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$  لتفاعل ينتج سادس فلوريد الكبريت، وهو غاز مستقر، غير نشط، له تطبيقات مهمة. واحدة منها مبينة في الشكل 2-15.



**الخطوة 1** ارجع إلى الجدول 3-5 لتجد معادلة تفاعل تكوين كل من المركبات الثلاثة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$ .

- a.**  $\frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HF}(\text{g}) \quad \Delta H_f^{\circ} = -273 \text{ kJ}$   
**b.**  $\text{S}(\text{s}) + 3\text{F}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SF}_6(\text{g}) \quad \Delta H_f^{\circ} = -1220 \text{ kJ}$   
**c.**  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2\text{S}(\text{g}) \quad \Delta H_f^{\circ} = -21 \text{ kJ}$

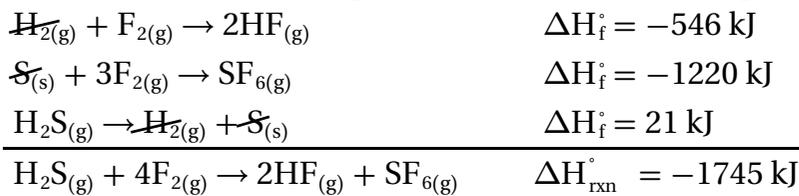
**الخطوة 2** المعادلتان **a** و **b** تصفان تكوين الناتجين HF و SF<sub>6</sub> في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$ ، لذا استعمل المعادلتين **a** و **b** كما هما. المعادلة **c** تصف تكوين H<sub>2</sub>S، ولكن H<sub>2</sub>S هو أحد المواد المتفاعلة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية. لذا اعكس المعادلة **c** وغير إشارة  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$  فيها.



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



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



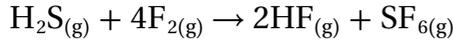
يمكن تلخيص خطوات حساب حرارة التفاعل القياسية  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$  بالصيغة أدناه:

### معادلة التجميع

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = \sum \Delta H_f^{\circ}(\text{النواتج}) - \sum \Delta H_f^{\circ}(\text{المتفاعلات})$$

$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$  تمثل حرارة التفاعل القياسية، و  $\Sigma$  تمثل مجموع الحدود.

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



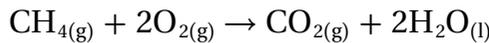
$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = [2\Delta H_f^{\circ} \text{HF} + \Delta H_f^{\circ} \text{SF}_6] - [\Delta H_f^{\circ} \text{H}_2\text{S} + (4) \Delta H_f^{\circ} \text{F}_6]$$

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

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = -1745 \text{ kJ}$$

### مثال 2-6

إيجاد تغير المحتوى الحراري من حرارة التكوين القياسية استعمال حرارة التكوين القياسية لحساب  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$  لتفاعل احتراق الميثان.



### 1 تحليل المسألة

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

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = \sum \Delta H_f^{\circ}(\text{النواتج}) - \sum \Delta H_f^{\circ}(\text{المتفاعلات})$$

المطلوب

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = ? \text{ kJ}$$

المعطيات

$$\Delta H_f^{\circ} \text{CO}_2 = -394 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f^{\circ} \text{H}_2\text{O} = -286 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f^{\circ} \text{CH}_4 = -75 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_f^{\circ} \text{O}_2 = 0.0 \text{ kJ}$$

### 2 حساب المطلوب

استعمل العلاقة الرياضية:

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = \sum \Delta H_f^{\circ}(\text{النواتج}) - \sum \Delta H_f^{\circ}(\text{المتفاعلات})$$

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = [\Delta H_f^{\circ}(\text{CO}_2) + (2)\Delta H_f^{\circ}(\text{H}_2\text{O})] - [\Delta H_f^{\circ}(\text{CH}_4) + (2)\Delta H_f^{\circ}(\text{O}_2)]$$

عوض عن المواد الناتجة بـ  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  وعن المواد المتفاعلة بـ  $\text{CH}_4$ ،  $\text{O}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  واضرب كلاً من  $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{O}_2$  في 2

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

عوض بقيم حرارة التكوين في المعادلة

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

احتراق 1 mol من  $\text{CH}_4$  يعطي 891 kJ

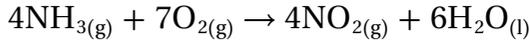
### 3 تقويم الإجابة

القيمة التي تم حسابها هي القيمة المعطاة في الجدول 2-3 نفسها.

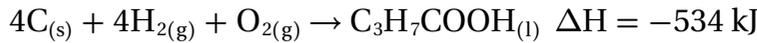
34. بين كيف أن مجموع معادلات حرارة التكوين يعطي كلاً من التفاعلات الآتية، دون البحث عن قيم  $\Delta H$  واستعمالها في الحل .



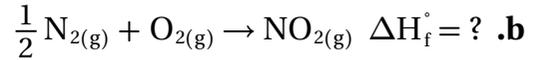
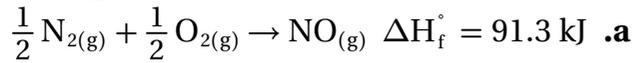
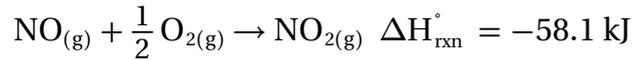
35. مستعيناً بجدول قيم حرارة التكوين القياسية، احسب  $\Delta H_{\text{rxn}}^\circ$  للتفاعل الآتي.



36. أوجد  $\Delta H_{\text{comb}}^\circ$  لحمض البيوتانويك،  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}(\text{l}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ، مستعيناً بجدول قيم حرارة التكوين والمعادلة الكيميائية أدناه:



37. تحدّد بدمج معادلتَي حرارة التكوين a و b تحصل على معادلة تفاعل أكسيد النيتروجين مع الأوكسجين، الذي ينتج عنه ثاني أكسيد النيتروجين.



ما قيمة  $\Delta H_f^\circ$  للتفاعل b؟

## التقويم 2-4

### الخلاصة

38. **الفكرة الرئيسية** وضح المقصود بقانون هس، وكيف يستعمل لإيجاد  $\Delta H_{\text{rxn}}^\circ$ ؟
39. اشرح بالكلمات الصيغة التي يمكن استعمالها لإيجاد  $\Delta H_{\text{rxn}}^\circ$  عند استعمال قانون هس.
40. صف كيف تعرّف العناصر في حالاتها القياسية على تدرّج حرارة التكوين القياسية؟
41. **تفحص** البيانات في الجدول 5-2. ماذا يمكن أن تستنتج عن ثبات أو استقرار المركبات المذكورة مقارنةً بالعناصر في حالاتها القياسية؟ تذكر أن الثبات أو الاستقرار يرتبط مع الطاقة المنخفضة.
42. احسب استعمال قانون هس لإيجاد  $\Delta H$  للتفاعل أدناه:
- $$\text{NO}(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = ?$$
- مستعيناً بالتفاعلات الآتية:
- $$\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = +495 \text{ kJ}$$
- $$2\text{O}_3(\text{g}) \rightarrow 3\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -427 \text{ kJ}$$
- $$\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -199 \text{ kJ}$$
43. **تفسير الرسوم العلمية** استعمل البيانات أدناه لعمل رسم حرارة التكوين القياسية مشابهٍ للشكل 14-2، واستعمله في إيجاد حرارة تبخر الماء عند درجة حرارة 298 K.
- الماء السائل:  $\Delta H_f^\circ = -285.8 \text{ kJ/mol}$
- الماء في الحالة الغازية:  $\Delta H_f^\circ = -241.8 \text{ kJ/mol}$
- يمكن حساب التغيير في المحتوى الحراري للتفاعل بجمع معادلتين كيميائيتين حراريتين أو أكثر مع تغيرات المحتوى الحراري لها.
- حرارة التكوين القياسية للمركبات تحدد مقارنة بحرارة التكوين لعناصرها في حالاتها القياسية.

# كيف تعمل الأشياء؟

## المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود

قد لا تزودنا محطات الوقود في المستقبل غير البعيد بأنواع من الجازولين فقط، ولكنها ستضخ أيضاً وقوداً يسمى E85. يمكن استعمال هذا الوقود في المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود flexible fuel - vehicle أو (FFV). والفرق بين هذا النوع من المركبات والمركبات التقليدية أن المركبات التقليدية تعمل على الجازولين بنسبة 100% أو على خليط يتكون من 10% إيثانول و90% بنزين، في حين تعمل FFV على أنواع الوقود التي تعمل بها المركبات التقليدية، وعلى E85 الذي يحتوي على 85% كحول. ويتميز الوقود E85 بعدم اعتماده على الوقود الأحفوري بنسبة عالية.



1 مصدر متجدد E85 ووقود 15% من حجمه جازولين و 85% إيثانول. والإيثانول C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH ووقود متجدد يمكن إنتاجه منزلياً.

2 فائدة بيئية يقلل احتراق E85 من إطلاق غازات الدفينة كثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين مقارنة بالجازولين.

3 متطلبات الاحتراق محرك FFV الذي يحرق E85 يحتاج إلى خليط أغنى (وقود أكثر، هواء أقل) من حجم مماثل من الجازولين. حاقيات الوقود في FFV يجب أن يكون لديها القدرة على حقن كمية وقود أكبر من 30%.

4 منع التلف إن محتوى الإيثانول في E85 عال لدرجة أنه يتلف بعض المواد المستعملة في المركبات التقليدية. لذلك يصنع خزان وقود FFV من الفولاذ الذي لا يصدأ. كذلك فإن أنابيب الوقود تصنع من الفولاذ الذي لا يصدأ أو تكون مبطنة بمواد لا تتفاعل.

## الكتابة في الكيمياء

اكتب معادلات كيميائية حرارية تمثل الاحتراق الكامل لكل من 1mol من الأوكتان C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>، وهو أحد مكونات البنزين، و 1mol من الإيثانول.

( $\Delta H_{\text{comb}} \text{C}_8\text{H}_{18} = -5471 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta H_{\text{comb}} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = -1367 \text{ kJ/mol}$ )

أيهما يطلق كمية أكبر من الطاقة لكل 1mol من الوقود؟

أيهما يطلق كمية أكبر من الطاقة لكل 1 Kg من الوقود؟

# مختبر الكيمياء

## قياس السُّعرات الحرارية

**الإخفية:** يطلق حرق شريحة بطاطس الحرارة المخزنة في المواد الموجودة في الشريحة. مستعملًا المسعر ستجد الكمية التقريبية للطاقة الموجودة في شريحة بطاطس.

**سؤال:** ما عدد السُّعرات في شريحة البطاطس؟



### المواد والأدوات اللازمة

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

9. **التخلص من النفايات** اتبع تعليمات المعلم للتخلص من المواد المستعملة في التجربة.

### حلل واستنتج

1. **صنف** هل التفاعل طارد للحرارة أو ماص لها؟ كيف عرفت ذلك؟

2. **لاحظ واستنتج** صف المادة المتفاعلة ونواتج التفاعل الكيميائي. هل استُهلكت المادة المتفاعلة (شرائح البطاطس) كليًا؟ ما الدليل الذي يؤيد إجابتك؟

3. **احسب** حدد كتلة الماء وتغير درجة حرارته. استعمل المعادلة  $q = c \times m \times \Delta T$  لحساب كمية الحرارة [J] التي انتقلت إلى الماء من الشريحة المحترقة.

4. **احسب** حول كمية الحرارة من جول/ شريحة إلى سعر/ شريحة.

5. **احسب** حدد كتلة الحصة الواحدة بالجرام من المعلومات الموجودة على عبوة الشرائح. حدد عدد السُّعرات الغذائية في الحصة الواحدة. استعمل بياناتك لحساب عدد السُّعرات الغذائية الناتجة عن احتراق حصة واحدة.

6. **تحليل الخطأ** قارن عدد السُّعرات الذي حسبته لكل حصة بالقيمة المذكورة على العبوة. احسب نسبة الخطأ المئوية.

### إجراءات السلامة

**تحذير:** بعض الأشياء الساخنة قد لا تبدو ساخنة.

لا تسخن أو اني زجاجية مكسورة أو مكسورًا جزء منها أو متصدعة. اربط الشعر الطويل إلى الخلف. لا تأكل أي شيء يستعمل في المختبر.

### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. قس كتلة شريحة البطاطس وسجلها في جدول بيانات.
3. ضع شريحة البطاطس في صحن تبخير على القاعدة الفلزية لحامل الحلقة. ثبت الحلقة وشبكة التسخين بحيث تكونان على ارتفاع 10 cm فوق شريحة البطاطس.
4. قس كتلة كأس سعتها 250 ml فارغة وسجلها في جدول البيانات.
5. مستعملًا المخبار المدرج، قس 50 ml ماء وصبه في الكأس. قس كتلة الكأس والماء وسجلها في جدول البيانات.

6. قس وسجل درجة الحرارة الأولية للماء.

7. ضع الكأس على شبكة التسخين على الحامل الحلقي. ثم أشعل شريحة البطاطس أسفل الكأس.

8. حرك الماء في الكأس بلطف في أثناء احتراق الشريحة. قس أعلى درجة حرارة يصل إليها الماء وسجلها.

### الاستقصاء

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

الفكرة (النامة) تمتص التفاعلات الكيميائية عادة الحرارة أو تطلقها.

### 2-1 الطاقة

#### الفكرة الرئيسية

قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائماً.

#### المفردات

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

#### المفاهيم الرئيسية

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

### 2-2 الحرارة

#### الفكرة الرئيسية

التغير في المحتوى الحراري للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج ناقص المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة.

#### المفردات

- المسعر
- المحتوى الحراري

#### المفاهيم الرئيسية

- تعرف الكيمياء الحرارية الكون على أنه النظام مع المحيط.
- تسمى كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة في النظام في أثناء التفاعل أو العملية التي تتم تحت ضغط ثابت التغير في المحتوى الحراري  $(\Delta H)$ .
- عندما يكون  $\Delta H$  موجباً، يكون التفاعل ماصاً للحرارة أما عندما يكون  $\Delta H$  سالباً، فيكون التفاعل طارداً للحرارة.

### 2-3 المعادلات الكيميائية الحرارية

#### الفكرة الرئيسية

تعبّر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصة في التفاعلات الكيميائية.

#### المفردات

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

#### المفاهيم الرئيسية

- تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الطبيعية للمواد المتفاعلة والنواتج، كما تبين التغير في المحتوى الحراري.
- حرارة التبخّر المولارية  $\Delta H_{\text{vap}}$ ، هي كمية الطاقة اللازمة لتبخّر مول واحد من السائل.
- حرارة الانصهار المولارية  $\Delta H_{\text{fus}}$ ، هي كمية الحرارة اللازمة لصهر مول واحد من المادة الصلبة.

### 2-4 حساب التغير في المحتوى الحراري

#### الفكرة الرئيسية

يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات باستعمال قانون هس.

#### المفردات

- قانون هس
- حرارة التكوين القياسية

#### المفاهيم الرئيسية

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

## 2-1

## إتقان المفاهيم

44. قارن بين درجة الحرارة والحرارة.
45. كيف تتغير طاقة الوضع الكيميائية لنظام خلال تفاعل ماص للحرارة؟
46. صف تطبيقات عملية تبين فيها كيف تتغير طاقة الوضع إلى طاقة حركية؟
47. السيارات كيف تتحول الطاقة في الجازولين؟ وما الطاقة الناتجة عن احتراقه في محرك السيارة؟
48. التغذية قارن بين السُّعر الغذائي والسُّعر. ما العلاقة بين السُّعر الغذائي والكيلو سعر؟
49. ما الكمية التي تقاس بوحدة  $J/g \cdot ^\circ C$ ؟
50. صف ما يمكن أن يحدث في الشكل 16-2 عندما يكون الهواء فوق سطح البحيرة أبرد من الماء.



الشكل 16-2

51. الحرارة النوعية للإيثانول هي  $2.44 J/g \cdot ^\circ C$ . ماذا يعني ذلك؟
52. اشرح كيف تحدد كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة شيء ما؟

## إتقان حل المسائل

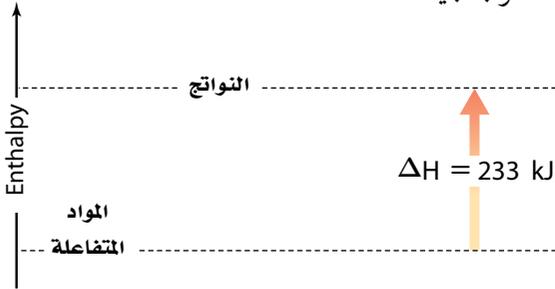
53. التغذية يحتوي أحد أصناف الطعام على  $124 kcal$ . كم cal يوجد في هذا الصنف من الطعام؟

54. كم جولاً  $J$  من الطاقة يتم امتصاصه في عملية يمتص خلالها  $0.5720 Kcal$  من الطاقة؟
55. الموصلات يستعمل الإيثانول بوصفه مادة مضافة إلى البنزين. ينتج عن احتراق  $1 mol$  من الإيثانول  $1367 kJ$  من الطاقة. ما مقدار هذه الطاقة بـ  $Cal$ ؟
56. لتبخير  $2.00 g$  من الأمونيا يلزم  $656 Cal$  من الطاقة. كم  $kJ$  تلزم لتبخير الكتلة نفسها من الأمونيا؟
57. احتراق  $1 mol$  من الإيثانول يطلق  $326.7 kcal$  من الطاقة. ما مقدار هذه الكمية بـ  $kg$ ؟
58. التعتدين برغي كتلته  $25 g$  مصنوع من سبيكة امتصت  $250 J$  من الحرارة فتغيرت درجة حرارتها من  $25^\circ C$  إلى  $78^\circ C$ . ما الحرارة النوعية للسبيكة؟

## 2-2

## إتقان المفاهيم

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



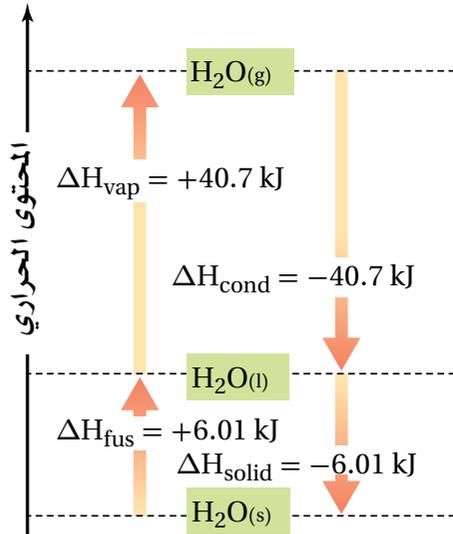
الشكل 17-2

60. هل التفاعل المبين في الشكل 17-2 ماص أم طارد للحرارة؟ كيف عرفت ذلك؟
61. أعط مثالين على أنظمة كيميائية وعرف مفهوم الكون في هذين المثالين.
62. متى تكون كمية الحرارة ( $q$ ) الناتجة أو الممتصة في تفاعل كيميائي مساوية للتغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$ ؟

## مراجعة الفصل 2

### إتقان حل المسائل

72. استعن بالمعلومات الواردة في الشكل 18-2 لحساب كمية الحرارة اللازمة لتبخّر 4.33 mol من الماء عند درجة حرارة 100°C.



الشكل 18-2

73. **الشواء** ما كتلة البروبان  $C_3H_8$  التي يجب حرقها في مشواة لكي تطلق 4560 kJ من الحرارة؟ إذا علمت أن  $\Delta H_{comb}$  للبروبان تساوي  $-2219 \text{ kJ/mol}$ .

74. **التدفئة باستعمال الفحم** ما كمية الحرارة التي تنطلق عند احتراق 5.0 Kg من الفحم إذا كانت نسبة كتلة الكربون فيه 96.2% والمواد الأخرى التي يحتويها الفحم لا تتفاعل؟

$\Delta H_{comb}$  للكربون يساوي  $-394 \text{ kJ/mol}$ .

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

76. إذا أطلقت عينة من الأمونيا 5.66 kJ من الحرارة عندما تصلبت عند درجة انصهارها. فما كتلة العينة؟

63. إذا كانت قيمة التغير في المحتوى الحراري لتفاعل  $\Delta H$  سالبة. فبم يوحى لك ذلك عن الطاقة الكامنة الكيميائية للنظام قبل التفاعل وبعده؟

64. ما إشارة  $\Delta H$  لتفاعل طارد للحرارة؟ ولتفاعل ماص للحرارة؟

### إتقان حل المسائل

65. كم جولاً (J) من الحرارة تفقدها 3580 Kg من الجرانيت عندما تبرد درجة حرارتها من 41.2°C إلى -12.9°C؟ الحرارة النوعية للجرانيت هي  $0.803 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$ .

66. **حوض السباحة** ملئ حوض سباحة  $20 \text{ m} \times 12.5 \text{ m}$  بالماء إلى عمق 3.75 m. إذا كانت درجة حرارة ماء الحوض الابتدائية 18.4°C، ما كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارته إلى 29.0°C؟ كثافة الماء هي  $1.000 \text{ g/ml}$ .

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

68. **إعداد الطعام** وضع 10.2 g من زيت الكانولا في مقلاة، ولزم 3.34 kJ لرفع درجة حرارته من 25°C إلى 196.4°C. ما الحرارة النوعية لزيت الكانولا؟

69. **السبائك** إذا وضعت سبيكة كتلتها 58.8 g في 125 g من الماء البارد في مسعر، فنقصت درجة حرارة السبيكة بمقدار 106.1°C، بينما ارتفعت درجة حرارة الماء 10.5°C، فما الحرارة النوعية للسبيكة؟

## 2-3

### إتقان المفاهيم

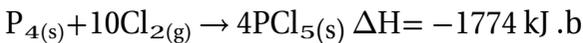
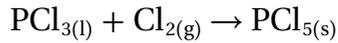
70. حرارة الانصهار المولارية للميثانول هي  $3.22 \text{ kJ/mol}$ . ماذا يعني ذلك؟

71. اكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق الميثان.

## التفكير الناقد

84. طبّق يعد ثالث كلوريد الفوسفور مادة أولية في تحضير

مركبات الفوسفور العضوية. بين كيف يمكن استعمال  
المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b لتحديد التغير  
في المحتوى الحراري للتفاعل:



85. توقع أي المركبين: غاز الميثان  $\text{CH}_4$ ، وبخار الميثانال

$\text{CH}_2\text{O}$ ، له حرارة احتراق أكبر؟ وضح إجابتك.  
(ملاحظة: اكتب وقارن المعادلتين الكيميائيتين الموزونتين  
لتفاعلي الاحتراق لكل منهما).

## مسألة تحدّ

86. حللت عينة من الغاز الطبيعي فوجد أنها تتكون من

88.4% ميثان  $\text{CH}_4$  و 11.6% إيثان  $\text{C}_2\text{H}_6$ . فإذا كانت

حرارة الاحتراق القياسية للميثان هي  $-891 \text{ kJ/mol}$ ،

وينتج عن احتراقه غاز ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$

وماء سائل  $\text{H}_2\text{O}$ . اكتب معادلة احتراق غاز الإيثان

مكوناً ثاني أكسيد الكربون والماء، ثم احسب حرارة

الاحتراق القياسية للإيثان مستعملاً حرارة التكوين

القياسية. استعمل النتيجة وحرارة الاحتراق القياسية

للميثان من الجدول 3-2، في حساب الطاقة المنطلقة عن

احتراق 1 kg من الغاز الطبيعي.

## مراجعة تراكمية

87. ما هو التركيز المولاري لمحلول تم تحضيره بإذابة 25.0 g

من ثيوسيانات الصوديوم ( $\text{NaSCN}$ ) في كمية كافية من

الماء لعمل 500 ml من المحلول؟

88. عدد ثلاث خصائص جامعة للمحاليل.

## 2-4

## إتقان المفاهيم

77. بم تصف حرارة التكوين القياسية لمركب معين؟

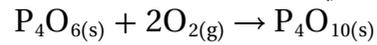
78. كيف تتغير  $\Delta H$  في معادلة كيميائية حرارية إذا تضاعفت

كميات المواد جميعها ثلاث مرات وعكست المعادلة؟

## إتقان حل المسائل

79. استعمل حرارة التكوين القياسية لحساب  $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$

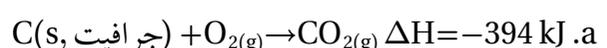
للتفاعل الآتي:



80. استعمل قانون هس والمعادلتين الكيميائيتين الحراريتين

الآتيتين لإيجاد المعادلة الكيميائية الحرارية للتفاعل

(جرافيت)  $\text{C}(\text{s}) \rightarrow \text{C}(\text{s}, \text{الماس})$ . ما مقدار  $\Delta H$  للتفاعل؟



## مراجعة عامة

81. إذا أردت أن تحفظ الشاي ساخناً فإنك تضعه في ترمس.

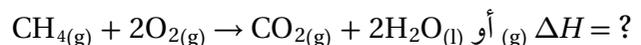
وضّح لماذا قد تغسل الترمس بالماء الساخن قبل حفظ

الشاي الساخن به؟

82. فرّق بين حرارة تكوين  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  و  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ . لماذا من

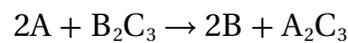
الضروري تحديد الحالة الفيزيائية للماء في المعادلة

الكيميائية الحرارية الآتية:



83. استعمل قانون هس والتغيرات في المحتوى الحراري

للتفاعلين الشاملين الآتين لحساب  $\Delta H$  للتفاعل:



## التقويم الإضافي

## الكتابة في الكيمياء

**89. الوقود البديل** ابحث من خلال المصادر وشبكة الإنترنت حول كيف يمكن إنتاج الهيدروجين وشحنه واستعماله وقودًا للسيارات. لخص فوائد وعوائق استعمال الهيدروجين وقودًا بديلاً في محركات الاحتراق الداخلي.

## أسئلة المستندات

**زيت الطبخ** قامت مجموعة بحث جامعية بحرق أربعة أنواع من زيوت الطبخ في مسعر لتحديد ما إذا كان هناك علاقة بين حرارة الاحتراق وعدد الروابط الثنائية في جزيء الزيت. تحتوي زيوت الطبخ على سلاسل طويلة من ذرات الكربون التي ترتبط بروابط مفردة أو ثنائية. السلسلة التي لا تحتوي على روابط ثنائية تسمى المشبعة. والزيوت التي تحتوي على رابطة ثنائية أو أكثر تسمى غير مشبعة. حرارة الاحتراق للزيوت الأربعة موجودة في الجدول 2-6. حسب الباحثون نسبة انحراف النتائج فوجدوا أنها 0.6%، واستنتجوا أنه لا يمكن تحري أي علاقة بين التشبع وحرارة الاحتراق بالطريقة المختبرية المستعملة.

الجدول 2-6 نتائج حرق الزيوت	
$\Delta H_{\text{comb}}$ kJ/g	نوع الزيت
40.81	زيت الصويا
41.45	زيت الكانولا
39.31	زيت الزيتون
40.98	زيت الزيتون البكر الممتاز

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

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

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

# اختبار مقنن

## أسئلة الاختيار من متعدد

1. الحرارة النوعية للإيثانول تساوي  $2.44 \text{ J/}^\circ\text{C}$ . ما الطاقة (KJ) اللازمة لتسخين 50 g من الإيثانول من درجة حرارة  $20.0^\circ\text{C}$  إلى  $68.0^\circ\text{C}$ ؟

- a. 10.7 KJ
- b. 8.30 KJ
- c. 2.44 KJ
- d. 5.86 KJ

2. إذا سُخِّت رقائق ألومنيوم كتلتها 3.00 g في فرن، فارتفعت درجة حرارتها من  $20.0^\circ\text{C}$  إلى  $662.0^\circ\text{C}$ ، وامتصت 1728 J من الحرارة، فما الحرارة النوعية للألومنيوم؟

- a.  $0.131 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$
- b.  $0.870 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$
- c.  $0.897 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$
- d.  $2.61 \text{ J/g}\cdot^\circ\text{C}$
- e. 5.86 kJ

3. يسمى التغير في المحتوى الحراري الذي يرافق تكون مول واحد من المركب في الظروف القياسية من عناصره في حالاتها القياسية:

- a. حرارة الاحتراق
- b. حرارة التبخر المولارية
- c. حرارة الانصهار المولارية
- d. حرارة التكوين القياسية
- e. قانون هس

4. عدد تأكسد العنصر Q يساوي +2، وعدد تأكسد العنصر M يساوي -3. ما الصيغة الصحيحة للمركب الناتج عن Q و M؟

- a.  $\text{Q}_2\text{M}_3$
- b.  $\text{M}_2\text{Q}_3$
- c.  $\text{Q}_3\text{M}_2$
- d.  $\text{M}_3\text{Q}_2$

5. ادرس العبارات التالية:

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

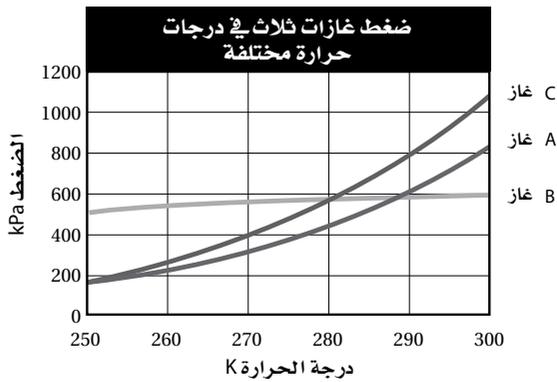
العبارة الثانية: حرارة التبخر المولارية هي كمية الطاقة اللازمة لصهر مول واحد من المادة.

العبارة الثالثة: الحرارة التي يفقدها أو يكتسبها النظام خلال تفاعل أو عملية تتم عند ضغط ثابت تسمى التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$ .

أي العبارات أعلاه صحيحة:

- a. الأولى والثانية
- b. الأولى والثالثة
- c. الثانية والثالثة
- d. الأولى والثانية والثالثة

استعمل الرسم البياني أدناه للإجابة عن السؤال التالي.



6. ما الضغط المتوقع للغاز B عند 310 K؟

- a. 500 kPa
- b. 600 kPa
- c. 700 kPa
- d. 900 kPa

### أسئلة الإجابات المفتوحة

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

11. اشرح كيف يساعد التعرّيق على تبريد جسمك؟

7. وضعت كمية من الماء درجة حرارته  $25.60^{\circ}\text{C}$  في مسعر، ثم سخنت قطعة من الحديد كتلتها 50.0 حتى أصبحت درجة حرارتها  $115.0^{\circ}\text{C}$ ، ووضعت في الماء الموجود بالمسعر، وبعد التبادل الحراري بين الماء وقطعة الحديد أصبحت درجة الحرارة النهائية لمحتويات المسعر  $29.30^{\circ}\text{C}$ ، وكانت كمية الحرارة التي امتصها الماء 1940 J. ما كتلة الماء؟

a. 50.0 g

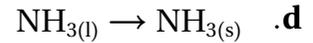
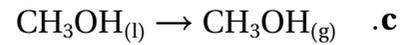
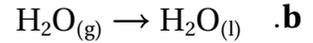
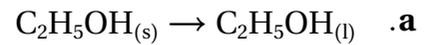
b. 125 g

c. 3589609 g

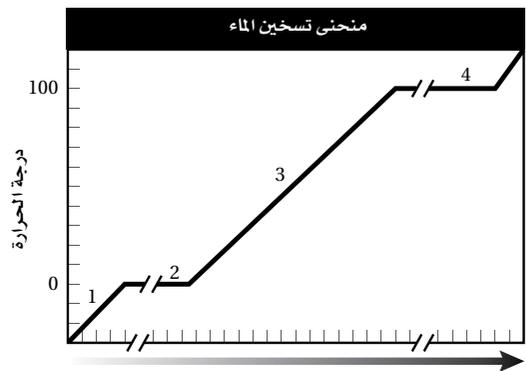
d. 143.56 g

### أسئلة الإجابات القصيرة

8. اكتب إشارة  $\Delta H$  لكل من تغيرات الحالة الفيزيائية الآتية:



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

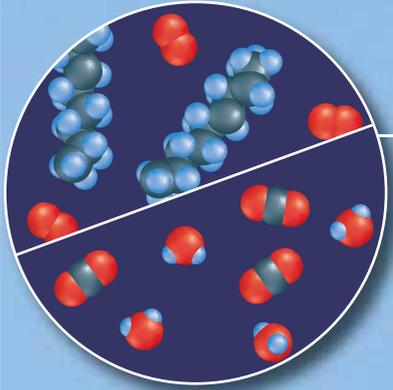


# سرعة التفاعلات الكيميائية

## Reaction Rates

# 3

السرعة



متفاعلات ونواتج الاحتراق



مكبس وأسطوانة



محرك



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

### 1-3 نموذج لسرعة التفاعلات الكيميائية

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

### 2-3 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

**الفكرة الرئيسية** تؤثر عوامل كثيرة في سرعة التفاعلات الكيميائية، منها: طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ودرجة الحرارة، ومساحة السطح، والمحفزات.

### 3-3 قوانين سرعة التفاعل

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

### حقائق كيميائية

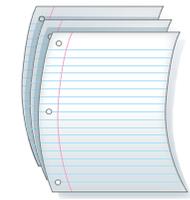
- مازالت معظم السيارات حتى اليوم تستعمل نظام الاحتراق الداخلي الذي اخترعه العالم ألفونس بيير دي روشاز عام 1862م.
- تتحد مكونات الجازولين مع الأكسجين في عملية الاحتراق التام داخل أسطوانة محرك السيارة لتنتج ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وطاقة كافية لتحريك السيارة.

## نشاطات تمهيدية

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

### المطويات

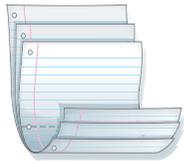
منظمات الأفكار



#### خطوة 1 ضع ثلاث

أوراق بعضها فوق  
بعض، بحيث تبعد حافة  
كل منها عن الأخرى 2

cm تقريباً من أعلى. حافظ على بقاء الحواف  
عن اليمين واليسار متطابقة.



#### خطوة 2 اطو الحواف

السفلية للورق إلى أعلى  
لتكوين ستة أجزاء  
متساوية، ثم اضغط على  
الحواف لتثبيتها في أماكنها.

#### خطوة 3 ثبّت الطيات، كما في الشكل،

واكتب عنواناً لكل جزء على  
النحو الآتي: وجود عامل  
محفز، درجة الحرارة، مساحة  
السطح، التركيز، طبيعة المواد  
المتفاعلة، العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل.

وجود عامل محفز	
درجة الحرارة	
مساحة السطح	
التركيز	
طبيعة المواد المتفاعلة	
العوامل المؤثرة في	
سرعة التفاعل	

#### المطويات استعمال هذه المطوية في القسم 2-3.

من هذا الفصل. قم بتعريف كل عامل في أثناء قراءتك  
للفصل، وكتب ملخصاً حول تأثيره في سرعة التفاعل،  
ثم أعط أمثلة عليها.

## تجربة استهلاكية

### كيف يمكن زيادة سرعة التفاعل؟

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



### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. اعمل جدولاً لتسجيل المشاهدات والملاحظات قبل وبعد التجربة.
3. اسكب 10 ml تقريباً من فوق أكسيد الهيدروجين في دورق زجاجي. ثم سجّل ملاحظتك الأولية في جدول الملاحظات والمشاهدات.
4. أضف 0.1 g من خميرة الخبز إلى فوق أكسيد الهيدروجين، حرك بلطف مستعملاً عود تنظيف الأسنان، ولاحظ المخلوط مرة أخرى، وسجل ملاحظتك في جدول الملاحظات.

### تحليل النتائج

1. حدد المواد الناتجة عن تحلل فوق أكسيد الهيدروجين.
2. فسر لماذا ظهرت الفقاعات في الخطوة رقم 4، ولم تظهر في الخطوة رقم 3؟
3. **استقصاء** ماذا يحدث إذا قمت بإضافة كمية أكبر أو أقل من الخميرة؟ وماذا يحدث لو لم يتم مزج المخلوط؟ صمم تجربة لاختبار أحد هذه المتغيرات.

## الأهداف

• **تحسب** متوسط سرعة التفاعل الكيميائي من بيانات التجربة.

• **تربط** بين سرعة التفاعل الكيميائي والتصادمات بين جسيمات المواد المتفاعلة.

## مراجعة المفردات

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

## المفردات الجديدة

سرعة التفاعل الكيميائي  
نظرية التصادم  
المعقد المنشط  
طاقة التنشيط

## نموذج لسرعة التفاعلات الكيميائية

### A Model for Reaction Rates

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

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

### التعبير عن سرعة التفاعل Expressing Reaction Rates

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

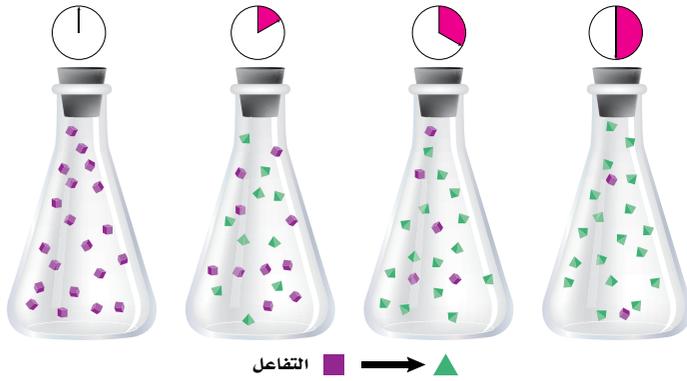
فكر في كيفية التعبير عن سرعة أو متوسط سرعة الأشياء المتحركة. فمثلاً، يبين عداد السرعة في الشكل 3-1 أن سيارة السباق تتحرك بسرعة مقدارها 100 Km/h، بينما يمكن التعبير عن سرعة العداء في مضمار السباق بوحدة m/s. وعمومًا يعرف متوسط السرعة لحدث ما أو عملية محددة بالتغير الكمي خلال زمن محدد. ولاشتقاق العلاقة الرياضية نستعمل الرمز دلتا ( $\Delta$ ) قبل الكمية (quantity) لتشير إلى التغير في هذه الكمية كما في المعادلة الآتية:

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

$$\frac{\Delta \text{ quantity}}{\Delta t} = \text{متوسط السرعة}$$

**الشكل 3-1** يبين عداد السرعة في سيارة السباق السرعة بوحدة Km/h أو ميل لكل ساعة (M/h)، وكلاهما يعني التغير في المسافة في وحدة الزمن. وقد تقاس سرعة العداء بوحدة m/s.



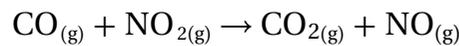


**الشكل 2-3** تتحول المواد المتفاعلة مع مرور الزمن إلى مواد ناتجة. ويمكن التعبير عن سرعة التفاعل الكيميائي بالتغير في عدد مولات المواد المتفاعلة أو الناتجة خلال فترة محددة. **احسب** سرعة التغير لكل فترة.

يبين الشكل 2-3 عملية تحوّل المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة مع مرور الزمن. لاحظ أن كمية المواد المتفاعلة تقل بينما تزداد المواد الناتجة. فإذا علمت متوسط التغير في كميات النواتج أو المتفاعلات مع مرور الزمن أمكنك حساب متوسط سرعة التفاعل. وفي الغالب يحتاج الكيميائيون إلى معرفة التغير في التركيز المولاري  $M$  لمادة متفاعلة أو ناتجة خلال التفاعل. ولذلك جاء تعريف **سرعة التفاعل الكيميائي** ليعبر عن التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن، ويعبر عنها بوحدة  $\text{mol/l}\cdot\text{s}$ . وتشير الأقواس التي تكون حول الصيغة الجزيئية للمواد إلى التركيز المولاري. فمثلاً  $[\text{NO}_2]$  تمثل التركيز المولاري لـ  $\text{NO}_2$ .

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

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



من خلال التفاعل السابق تكون قيمة سرعة تكوّن المواد الناتجة موجبة. ويمكن التعبير عن حساب سرعة تكون  $\text{NO}$  كما يلي:

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

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

$$\frac{0.010M - 0.000M}{2.00 \text{ s} - 0.00 \text{ s}} = \text{متوسط سرعة التفاعل}$$

$$\frac{0.010 \text{ M}}{2.00 \text{ s}} = 0.0050 \text{ mol/l}\cdot\text{s}$$

لاحظ كيفية اشتقاق الوحدة:

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

## المفردات

### المضردات الأكاديمية

#### التركيز Concentration

الاستعمال العلمي: كمية المذاب في كمية محددة من المذيب أو المحلول. ونقول مثلاً: إن تركيز المحلول هو  $6 \text{ mol/l}$ .

الاستعمال الشائع: تركيز الانتباه على هدف أو غرض واحد. فنقول مثلاً: اقتصر تركيز الجمهور على الأداء فقط.

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

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

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

#### معادلة متوسط سرعة التفاعل

$$\frac{\Delta[\text{المواد المتفاعلة}]}{\Delta t} = - \text{متوسط سرعة التفاعل}$$

[المواد المتفاعلة Δ] تمثل التغير في تركيز المواد المتفاعلة.  
Δt تمثل التغير في الزمن

### مثال 1-3

**حساب متوسط سرعة التفاعل** إذا علمت أن تركيز كلوريد البيوتان  $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$  في بداية تفاعله مع الماء يساوي 0.22 M ثم أصبح 0.100 M بعد مرور 4.00 ثوانٍ على التفاعل. احسب متوسط سرعة التفاعل خلال هذه الفترة بوحدة mol / l.s.

#### 1 تحليل المسألة

لقد أعطيت التركيز والزمن الابتدائيين والنهائيين لـ  $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ ، لذا يمكنك حساب متوسط سرعة التفاعل الكيميائي باستعمال التغير في تركيز كلوريد البيوتان خلال أربع ثوانٍ.

#### المعطيات

$$t_1 = 0.00 \text{ s}$$

$$t_2 = 4.00 \text{ s}$$

$$[\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}]_{t_1} = 0.220 \text{ mol / l}$$

$$[\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}]_{t_2} = 0.100 \text{ mol / l}$$

#### 2 حساب المطلوب

اكتب معادلة متوسط سرعة التفاعل

عوض عن الزمن والتركيز الابتدائيين والنهائيين

احسب الناتج بوحدة mol / l.s

$$\frac{[\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}]_{t_2} - [\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}]_{t_1}}{t_2 - t_1} = \text{متوسط سرعة التفاعل}$$

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

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

$$= - \frac{-0.120 \text{ mol/l}}{4.00 \text{ s}} = 0.0300 \text{ mol/l}\cdot\text{s} = \text{متوسط سرعة التفاعل}$$

#### 3 تقويم الإجابة

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

استعمل البيانات الموجودة في الجدول أدناه لحساب متوسط سرعة التفاعل :

بيانات التجربة للتفاعل $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$			
[HCl]	[Cl <sub>2</sub> ]	[H <sub>2</sub> ]	الزمن s
0.000	0.050	0.030	0.00
	0.040	0.020	4.00

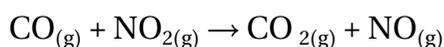
1. احسب متوسط سرعة التفاعل معبراً عنه بعدد مولات H<sub>2</sub> المستهلكة لكل لتر في كل ثانية.
2. احسب متوسط سرعة التفاعل معبراً عنه بعدد مولات Cl<sub>2</sub> المستهلكة لكل لتر في كل ثانية.
3. تحدّد إذا علمت أن متوسط سرعة التفاعل لحمض الهيدروكلوريك HCl الناتج هو 0.050 mol / 1.s، فما تركيز HCl الذي يتكون بعد مرور 4.00 s؟

### نظرية التصادم Collision Theory

في التفاعل الكيميائي؛ يجب أن تصادم جزيئات المواد المتفاعلة لتكوين النواتج. يمثل الشكل 3-3 التفاعل بين جزيئات A<sub>2</sub> و B<sub>2</sub> لتكوين مركب AB. ويجب أن تصادم جزيئات المواد المتفاعلة معاً لتكوين جزيئات AB. لذا يوضح هذا الشكل **نظرية التصادم** التي تنص على حتمية اصطدام الذرات والأيونات والجزيئات بعضها ببعض لكي يتم التفاعل.

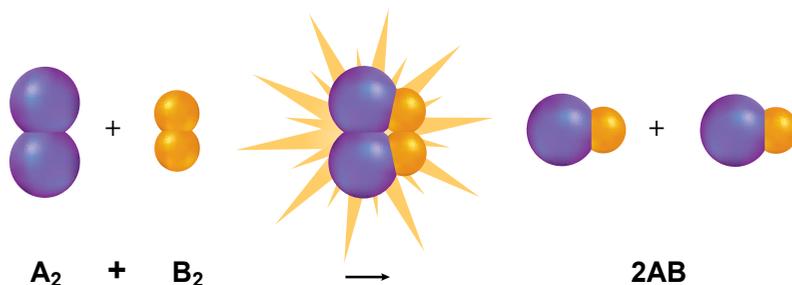
✓ **ماذا قرأت؟ توقع** لماذا يجب حدوث اصطدامات بين الجسيمات لحدوث التفاعل.

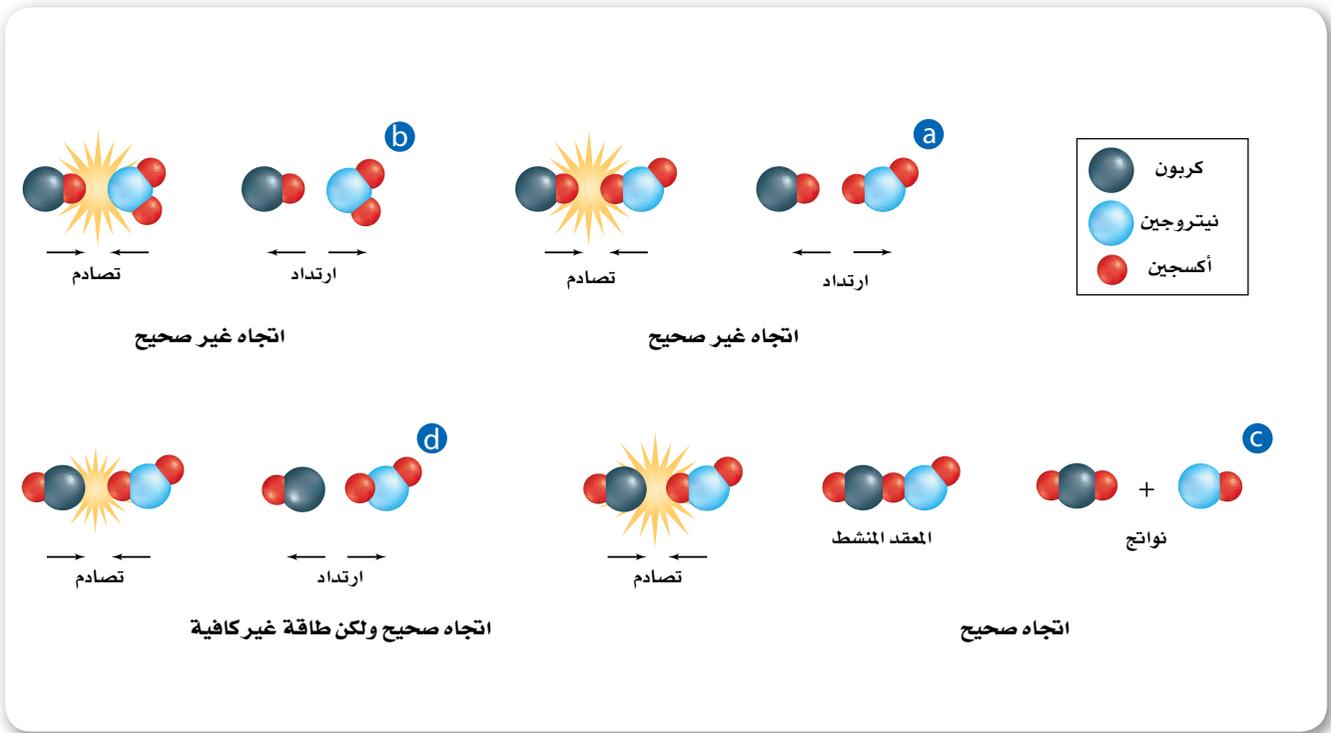
لاحظ تفاعل غاز أول أكسيد الكربون CO مع غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO<sub>2</sub> الذي يحدث عند درجة حرارة أعلى من 500 K والموضح بالمعادلة:



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

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



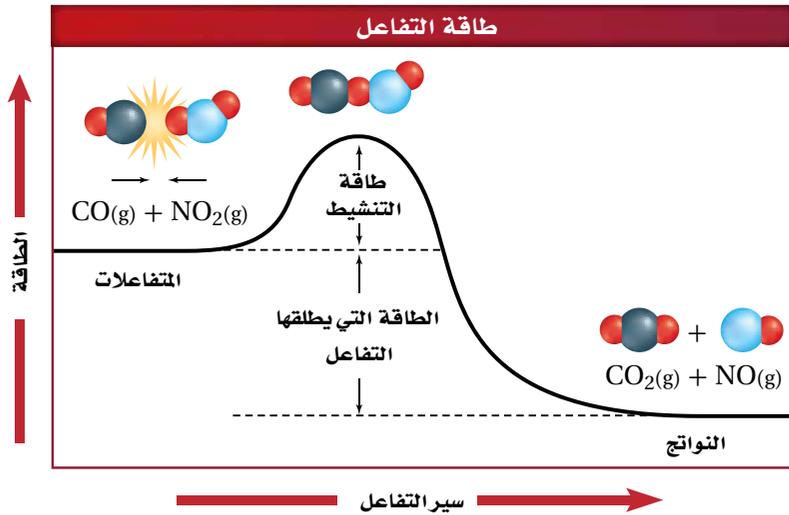


**اتجاه التصادم وتكوين المعقد المنشط** لماذا تفشل معظم الاصطدامات في تكوين نواتج؟ ما العوامل الأخرى التي يجب أخذها بعين الاعتبار؟

يوضح الشكلان 3-4a، 3-4b الإجابة المحتملة عن هذا السؤال، فلكي يؤدي الاصطدام إلى حدوث تفاعل يجب أن ترتبط ذرة الكربون من جزيء CO مع ذرة أكسجين من جزيء NO<sub>2</sub> في لحظة الاصطدام، وهذه هي الطريقة الوحيدة لتتكون رابطة مؤقتة. أما الاصطدامات الموضحة في الشكلين 3-4a، 3-4b فلا تؤدي إلى حدوث تفاعل؛ لأن الجزيئات تتصادم بشكل غير مناسب؛ حيث لا تلامس ذرة الكربون ذرة الأكسجين في لحظة التصادم، فترتد الجزيئات دون تكوين روابط.

ولكن عندما يكون اتجاه الجزيئات مناسباً في أثناء التصادم، كما في الشكل 3-4c، يحدث التفاعل، وتنتقل ذرة أكسجين من جزيء NO<sub>2</sub> إلى جزيء CO. وعندما يحدث ذلك تتكون جسيمات عمرها قصير تسمى **المعقد المنشط** Activated Complex، ويسمى في بعض الأحيان الحالة الانتقالية، وهو حالة غير مستقرة من تجمع الذرات، يحدث خلاله تكسير الروابط وتكوين روابط جديدة. ونتيجة لذلك قد يؤدي المعقد المنشط إلى تكوين المواد الناتجة، أو يتكسر لتكوين المواد المتفاعلة مرة أخرى.

**طاقة التنشيط وسرعة التفاعل** لا يؤدي التصادم في الشكل 3-4d إلى تفاعل لعدم توافر طاقة كافية لحدوث التفاعل، لذلك لا يحدث تفاعل بين جزيئات CO و NO<sub>2</sub> ما لم تتصادم بقوة كافية. ويسمى الحد الأدنى من الطاقة لدى الجزيئات المتفاعلة واللازم لتكوين المعقد المنشط وإحداث التفاعل **طاقة التنشيط** E<sub>a</sub>.



**الشكل 3-5** عندما يحدث تفاعل طارد للحرارة تصطدم الجزيئات التي لها طاقة كافية فتكون المعقد المنشط وتطلق طاقة، وتكوّن نواتج ذات محتوى طاقة أقل من المواد المتفاعلة.

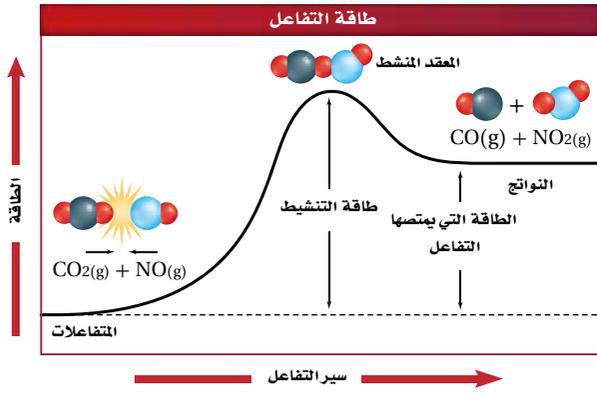
**اختبر الرسم البياني** ✓  
فسر كيف يمكنك أن تعرف من خلال الرسم ما إذا كان التفاعل طارداً للحرارة.

يلخص الجدول 3-1 الظروف الواجب توافرها لحدوث التفاعل. فعندما تكون قيمة  $E_a$  عالية فهذا يعني أن عدداً قليلاً من الاصطدامات له طاقة كافية لتكوين المعقد المنشط، ومن ثم تكون سرعة التفاعل بطيئة. أما إذا كانت قيمة  $E_a$  منخفضة فهذا يعني أن هناك عدداً كبيراً من الاصطدامات التي لها طاقة كافية لحدوث التفاعل، لذا يكون التفاعل أسرع. فكّر في هذه العلاقة من خلال شخص يقوم بدفع عربة ثقيلة إلى قمة تل. فإذا كان التل مرتفعاً فسوف يحتاج الشخص إلى طاقة كبيرة لدفع العربة نحو القمة، كما أنه سيستغرق وقتاً طويلاً للوصول إلى قمة التل. أما إذا كان التل منخفضاً فسوف يحتاج إلى كمية أقل من الطاقة اللازمة لدفع العربة إلى قمة التل، إضافة إلى قدرته على إنجاز المهمة في وقت أسرع.

يبين الشكل 3-5 مخطط الطاقة لتفاعل أول أكسيد الكربون مع ثاني أكسيد النيتروجين. هل يختلف مخطط الطاقة هذا عما تعلمته سابقاً في فصل الطاقة والتغيرات الكيميائية؟ ولماذا؟ يبين هذا المخطط طاقة التنشيط للتفاعل الذي يعد حاجزاً أمام حدوث التفاعل. لذلك يجب أن تتغلب المواد المتفاعلة عليه لتكوّن مواد ناتجة. وفي هذه الحالة تتصادم جزيئات  $CO$  و  $NO_2$ ، مع وجود كمية كافية من الطاقة؛ لتتغلب على هذا الحاجز، وتكون طاقة النواتج أقل من طاقة المواد المتفاعلة. وتسمى التفاعلات التي تفقد طاقة التفاعلات الطاردة للحرارة.

### الجدول 3-1 ملخص نظرية التصادم

1. يجب أن تتصادم (ذرات أو أيونات أو جزيئات) المواد المتفاعلة.
2. يجب أن تتصادم المواد المتفاعلة في الاتجاه الصحيح.
3. يجب أن تتصادم المواد المتفاعلة بطاقة كافية لتكون المعقد المنشط.



**الشكل 3-6** تكون طاقة جزيئات المواد المتفاعلة في التفاعل العكسي الماص للحرارة أقل من طاقة النواتج. وحتى يحدث التفاعل يجب أن تمتص المواد المتفاعلة الطاقة لتغلب على طاقة التنشيط وتكون نواتج ذات طاقة عالية.

**اختبار الرسم البياني** قارن بين الشكل 3-5 والشكل 3-6 من حيث طاقة التنشيط، هل هي كانت كبيرة أو صغيرة؟

تعد عملية التحول بين المواد المتفاعلة والنواتج لبعض التفاعلات عمليات انعكاسية. ويبين الشكل 3-6 التفاعل العكسي الماص للطاقة بين  $\text{CO}_2$  و  $\text{NO}$  لإعادة إنتاج  $\text{CO}$  و  $\text{NO}_2$ . ويكون مستوى طاقة المتفاعلات في هذا التفاعل أدنى من مستوى طاقة النواتج. لذلك يجب التغلب على طاقة التنشيط لإعادة إنتاج  $\text{CO}$  و  $\text{NO}_2$ . وهذا يحتاج إلى طاقة عالية أكبر من طاقة التفاعل الأمامي. وإذا حدث هذا التفاعل العكسي وأنتج  $\text{CO}$  و  $\text{NO}_2$  فسيكون مستوى طاقتها أعلى.

## مختبر حل المشكلات

### تفسير البيانات

كيف تتغير سرعة التحلل خلال الزمن؟ يتحلل مركب خامس أكسيد نثائي النيتروجين  $\text{N}_2\text{O}_5$  في الهواء وفقاً للمعادلة الآتية:



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

### التحليل

يبين الجدول المقابل النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها عند قياس تركيز  $\text{N}_2\text{O}_5$  خلال فترة زمنية محددة، عند الضغط الجوي العادي، ودرجة حرارة  $45^\circ\text{C}$ .

### التفكير الناقد

1. احسب متوسط سرعة التفاعل خلال كل فترة زمنية: (0- 20 min)، (40 - 60 min)، (80- 100 min) عبّر عن سرعة التفاعل في كل فترة بإشارة موجبة، ووحدة  $\text{mol/l.s}$ .

[ $\text{N}_2\text{O}_5$ ]	الزمن (min)
0.01756	0
0.00933	20.0
0.00531	40.0
0.00295	60.0
0.00167	80.0
0.00094	100.0

- عبّر عن متوسط سرعة التفاعل خلال كل فترة زمنية بعدد مولات  $\text{NO}_2$  الناتجة لكل لتر لكل دقيقة ( $\text{mol/l.s}$ ) واستعمل المعادلة الكيميائية لتفسير العلاقة بين السرعات المحسوبة في هذا السؤال، وتلك المحسوبة في السؤال 1.
- فسّر البيانات والنتائج التي توصلت إليها، ثم استعملها في وصف كيفية تغير سرعة تحلل  $\text{N}_2\text{O}_5$  خلال الزمن.
- طبّق نظرية التصادم لتفسير سبب تغير سرعة التفاعل.

## التقويم 3-1

### الخلاصة

- يعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي بسرعة استهلاك المواد المتفاعلة أو سرعة تكوين النواتج.
- تُحسب سرعة التفاعل الكيميائي عمومًا، ويعبر عنها بوحدة mol / l.s.
- لا بد من تصادم الجسيمات لحدوث التفاعل.

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

## الأهداف

- تحديد العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل.
- تفسير دور العوامل المحفزة.

## مراجعة المفردات

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

## المفردات الجديدة

المحفزات  
المثبطات

## العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل

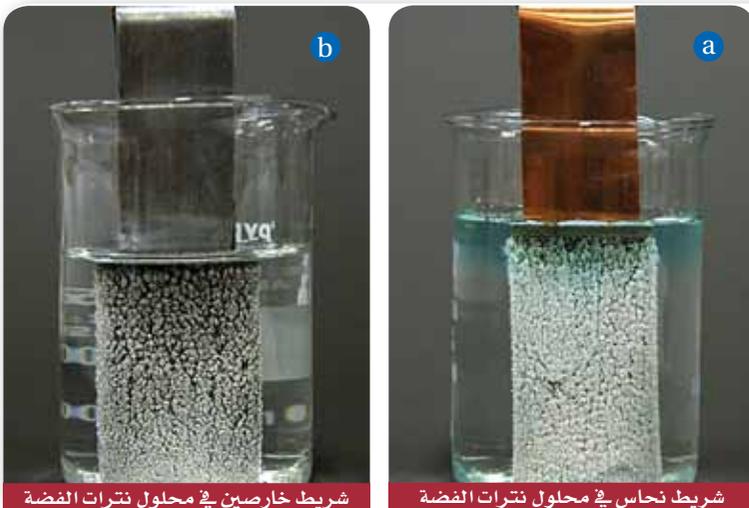
### Factors Affecting Reaction Rates

**الفكرة الرئيسية** تؤثر عوامل كثيرة في سرعة التفاعلات الكيميائية، منها: طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ودرجة الحرارة، ومساحة السطح، والمحفزات.

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

### طبيعة المواد المتفاعلة The Nature of Reactants

تتفاعل بعض المواد أسرع من غيرها. فمثلاً يتشابه فلزاً النحاس والخاصين (الزنك) في خواصهما الفيزيائية؛ بسبب قرب موقعيهما في الجدول الدوري، ومع ذلك فهما يتفاعلان بسرعات مختلفة عند وضع كل منهما في كأس تحتوي على محلول نترات الفضة بالتركيز نفسه. فعند وضع شريط من النحاس في محلول نترات الفضة تركيزه 0.05 M كما في الشكل 3-7a، يتفاعل النحاس مع نترات الفضة ليكوّن فلز الفضة ومحلول نترات النحاس II. وعند وضع شريط من الخاصين في محلول نترات الفضة تركيزه 0.05 M، كما في الشكل 3-7b، يتفاعل الخاصين مع محلول نترات الفضة ليكوّن فلز الفضة ومحلول نترات الخاصين. يمكنك ملاحظة التشابه في التفاعلين، ولكن عند مقارنة كمية الفضة المتكونة في كلتا الحالتين كما هو موضح في الشكل 3-7؛ إذ يظهر أن كمية الفضة المتكونة من تفاعل الخاصين مع نترات الفضة أكبر من الكمية الناتجة عن تفاعل النحاس مع الكمية نفسها من نترات الفضة. كما أن تفاعل الخاصين مع نترات الفضة يحدث أسرع؛ لأن الخاصين أنشط كيميائياً من النحاس.



شريط خاصين في محلول نترات الفضة

شريط نحاس في محلول نترات الفضة

**الشكل 3-7** الخاصين أنشط من النحاس، لذلك يتفاعل مع نترات الفضة أسرع من تفاعل النحاس.

**اكتب معادلة كيميائية** موازنة تمثل تفاعل الخاصين مع نترات الفضة.

**الشكل 3-8** تشير شدة إضاءة اللهب المغطى في الزجاج التي تحتوي تركيزاً أكبر من الأكسجين إلى زيادة سرعة التفاعل. لذا يفسر الازدياد في سرعة التفاعل إلى الزيادة في تركيز الأكسجين.



تحترق الشمعة بسرعة أكبر؛ لأن الوعاء يحتوي على أكسجين بتركيز 100% تقريباً.



يلتصق تركيز الأكسجين في الهواء حول الشمعة 20% تقريباً.

### المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.



**الشكل 3-9** توفر مساحة سطح سلك تنظيف الأواني المعدنية الكبيرة عدداً أكبر من الاصطدامات بين الأكسجين والفلز.

## التركيز Concentration

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

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

تأمل التفاعل الموضح في الشكل 3-8، حيث تحترق الشمعتان في الهواء. ولكن كيف يمكن مقارنة الشمعة في الصورة اليمنى بالشمعة في الصورة اليسرى التي وضعت داخل زجاجة تحتوي على 100% أكسجين تقريباً؟ وهذا يشكل خمسة أضعاف تركيز الأكسجين في الهواء الجوي؟ وبالاعتماد على نظرية التصادم، كلما زاد تركيز الأكسجين زاد عدد الاصطدامات بين جزيئات الشمع وجزيئات الأكسجين. ونتيجة لذلك تزداد سرعة التفاعل، وينتج لهب شديد الإضاءة.

## مساحة السطح Surface Area

إذا تأملت التفاعل في الشكل 3-9 فستلاحظ أن الدبوس الساخن يتوهج عند وجود الأكسجين، كما في الشكل 3-9a، بينما تشتعل كتلة سلك تنظيف الأواني المعدنية بشدة في الشكل 3-9b؛ حيث تعمل زيادة مساحة سطح التفاعل على زيادة سرعة التفاعل؛ بسبب زيادة عدد الاصطدامات بين الجسيمات المتفاعلة.

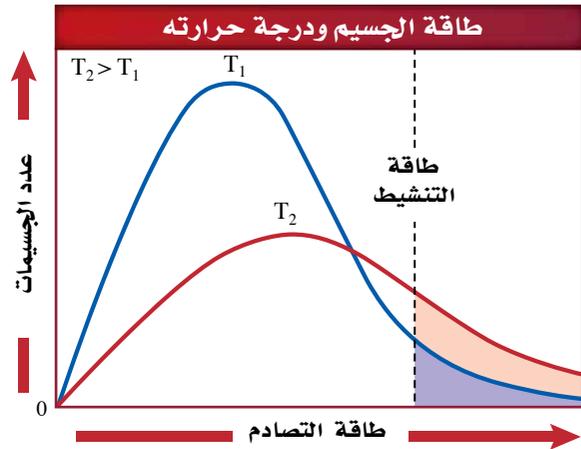
## درجة الحرارة Temperature

تؤدي الزيادة في درجة الحرارة إلى زيادة سرعة التفاعل الكيميائي. فأنت تعلم مثلاً أن التفاعلات التي تسبب تلف الأطعمة تكون أسرع كثيراً عند درجة حرارة الغرفة منها عند وضع الأطعمة في الثلاجة. يوضح الرسم البياني في الشكل 10-3 أن زيادة درجة الحرارة بمقدار 10 K تؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل تقريباً. فكيف يمكن لزيادة طفيفة في درجة الحرارة أن يكون لها هذا التأثير الكبير؟

إن زيادة درجة حرارة المادة يزيد من متوسط الطاقة الحركية للجسيمات التي تتكون منها المادة. ولهذا السبب تتصادم الجسيمات على نحو أكثر عند درجات الحرارة المرتفعة مما هو عليه الحال عند درجات الحرارة المنخفضة. ومع ذلك لا تفسر هذه الحقيقة وحدها الزيادة في سرعة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة. ولفهم أفضل للعلاقة بين تغير سرعة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة، تفحص الرسم البياني في الشكل 10-3، الذي يقارن بين أعداد الجسيمات التي لها الطاقة الكافية للتفاعل عند درجات الحرارة  $T_1$  و  $T_2$ ؛ حيث  $T_2$  أكبر من  $T_1$ . ويمثل الخط المتقطع طاقة التنشيط  $E_a$  للتفاعل. وتمثل المنطقة المظللة تحت كل منحنى عدد الاصطدامات التي لها طاقة مساوية أو أكبر من طاقة التنشيط. كيف يمكن المقارنة بين المناطق المظللة؟ عدد الاصطدامات العالية الطاقة عند درجة الحرارة العالية  $T_2$  أكبر كثيراً من عدد الاصطدامات عند درجة الحرارة المنخفضة  $T_1$ . لذلك كلما كانت درجة الحرارة أعلى كان عدد الاصطدامات التي ينتج عنها تفاعل أكبر.

اختبر الرسم البياني حدد السرعة النسبية للتفاعل عند درجة حرارة 325 K. ✓

الشكل 10-3 يؤدي الارتفاع في درجة الحرارة إلى زيادة عدد الاصطدامات وزيادة سرعة التفاعل. كما تؤدي الزيادة في درجة الحرارة إلى زيادة الطاقة الحركية للجسيمات. إضافة إلى ذلك فإن الكثير من الاصطدامات كافية للتغلب على طاقة التنشيط، لذا تؤدي إلى التفاعل.



## دراسة العلاقة بين سرعة التفاعل

### ودرجة الحرارة

ما تأثير درجة الحرارة في التفاعل الكيميائي عموماً؟

### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. جزي قرصاً من الأقراص الفوّارة إلى أربع قطع متساوية.
3. استعمال الميزان لقياس كتلة قطعة واحدة منها. ضع 50 ml من الماء عند درجة حرارة الغرفة (20°C تقريباً) في كأس زجاجية سعتها 250 ml. استعمال مقياس حرارة غير زئبقي لقياس درجة حرارة الماء.
4. ضع قطعة القرص الفوّار في الماء، وسجل الوقت لحظة ملاستها للماء، ولحظة ذوبانها تماماً، باستعمال ساعة وقف أو ساعة يد بها عقرب ثوان.
5. كرر الخطوتين 3 و 4، ولكن في هذه المرة سخّن الماء تدريجياً على سخّان كهربائي حتى تصل درجة حرارته إلى

50°C، وحافظ على درجة حرارة الماء عند هذه الدرجة طوال وقت التفاعل.

### التحليل

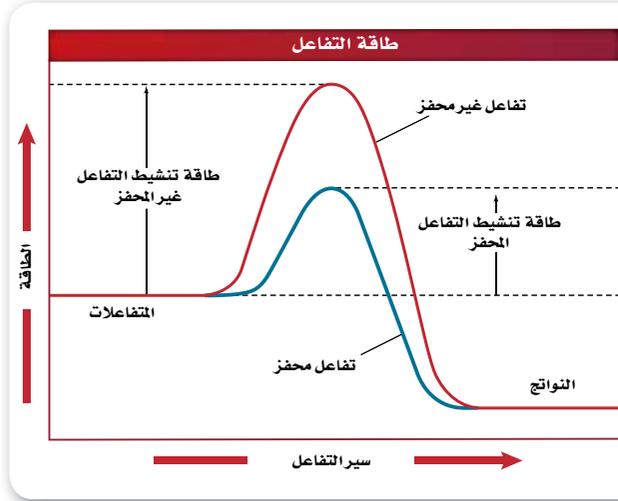
1. حدد الكتلة الابتدائية، والكتلة النهائية، والزمن الابتدائي  $t_1$  والزمن النهائي  $t_2$  لكل محاولة.
2. احسب سرعة التفاعل من خلال إيجاد كتلة المادة المتفاعلة المستهلكة لكل محاولة في الثانية الواحدة.
3. صف العلاقة بين سرعة التفاعل ودرجة الحرارة لهذا التفاعل.
4. توقع سرعة التفاعل لو تم إجراؤه عند درجة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

## المحفّزات والمثبّطات Catalysts and Inhibitors

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

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

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



**الشكل 3-11** يبين الشكل أن طاقة تنشيط التفاعل المحفز أقل من طاقة تنشيط التفاعل غير المحفز، لذا ينتج التفاعل المحفز النواتج بسرعة أكبر من التفاعل غير المحفز.



يبين الرسم البياني في الشكل 3-11 مخطط الطاقة لتفاعل كيميائي طارد للطاقة. ويمثل الخط الأحمر مسار التفاعل دون وجود أي محفز، في حين يمثل الخط الأزرق سير التفاعل مع وجود المحفز. لاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل المحفز أقل كثيراً من طاقة التنشيط في التفاعل غير المحفز. يمكنك اعتبار طاقة التنشيط في التفاعل عقبة يجب تخطيها، كما هو مبين في الشكل 3-12. ففي هذا السياق يحتاج الحصان والفارس مثلاً طاقة أقل كثيراً لاجتياز الحاجز المنخفض، مقارنة بالطاقة اللازمة للقفز فوق الحاجز المرتفع.

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

**الشكل 3-12** طاقة تنشيط أعلى يعني أنه يجب أن يكون للجسيمات طاقة أعلى لكي تتفاعل؛ فالحصان والفارس يحتاجان إلى القليل من الطاقة للقفز فوق حاجز منخفض، بينما هما بحاجة إلى مزيد من السرعة والطاقة لاجتياز الحاجز المرتفع.

## التقويم 3-2

### الخلاصة

12. **الفكرة الرئيسية** فسّر سبب تفاعل فلز الماغنسيوم مع حمض الهيدروكلوريك HCl أسرع من الحديد.
  13. **فسّر** كيف تفسر نظرية التصادم تأثير التركيز في سرعة التفاعل.
  14. **فسّر** الفرق بين المحفزات والمثبطات.
  15. **صف** تأثير طحن إحدى المواد الداخلة في التفاعل على شكل مسحوق بدلاً من وضعها قطعة واحدة - في سرعة التفاعل.
  16. **استنتج** إذا كانت زيادة درجة حرارة التفاعل بمقدار 10 K يؤدي إلى تضاعف سرعة التفاعل، فماذا تتوقع أن يكون أثر زيادة درجة الحرارة بمقدار 20 K؟
  17. **ابحث** في كيفية استعمال المحفزات في الصناعة، أو الزراعة، أو في معالجة التربة الملوثة، أو النفايات، أو الماء الملوث. اكتب تقريراً قصيراً يلخص النتائج التي حصلت عليها حول دور المحفزات في أحد هذه التطبيقات.
- تتضمن العوامل الرئيسية التي تؤثر في سرعة التفاعل طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ومساحة السطح، والحرارة، والمحفزات.
  - تؤدي زيادة درجة الحرارة عموماً إلى زيادة سرعة التفاعل؛ وذلك بزيادة عدد الاصطدامات التي تشكل المعقد المنشط.
  - تزيد المحفزات من سرعة التفاعل الكيميائي بتقليل طاقة التنشيط.

## الأهداف

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

## مراجعة المفردات

**المتفاعلات:** المواد التي يبدأ بها التفاعل الكيميائي.

## المفردات الجديدة

قانون سرعة التفاعل  
ثابت سرعة التفاعل  
رتبة التفاعل

## قوانين سرعة التفاعل Reaction Rate Laws

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

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

### كتابة قوانين سرعة التفاعلات Writing Reaction Rate Laws

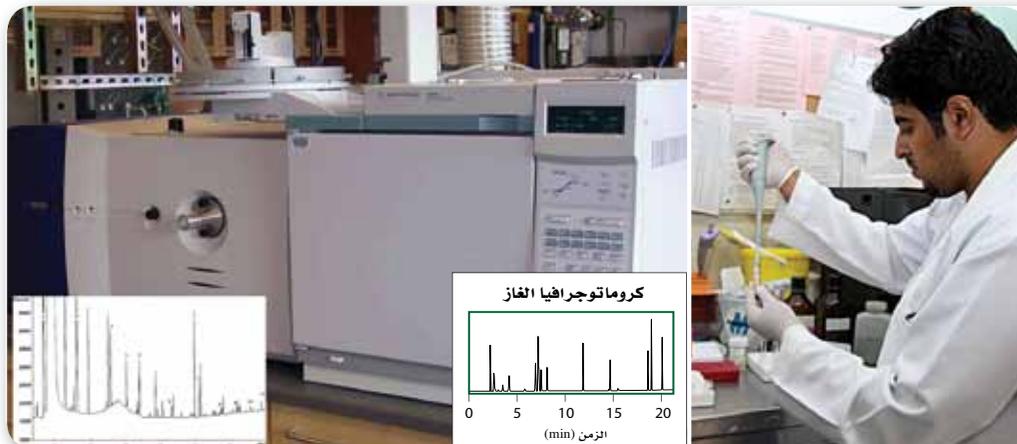
تعلمت سابقاً كيفية حساب متوسط السرعة للتفاعل الكيميائي. وكلمة (متوسط) مهمة؛ لأن معظم التفاعلات الكيميائية تتناقص سرعتها عند استهلاك المواد المتفاعلة، ويقل عدد الجسيمات المتوافرة للتصادم. لقد وضع الكيميائيون نتائج نظرية التصادم في معادلة سميت **قانون سرعة التفاعل**، وهو يعد عن العلاقة بين سرعة التفاعل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

$$R = k[A]$$

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

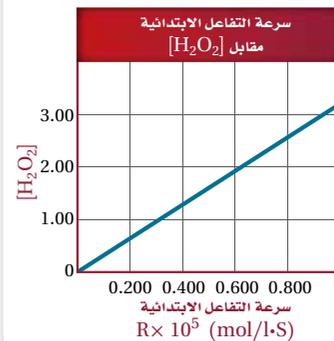
يعبر عن سرعة التفاعل بخطوة واحدة بحاصل ضرب كمية ثابتة في تركيز المادة المتفاعلة.

والرمز k قيمة عددية ثابتة تسمى **ثابت سرعة التفاعل**. وترتبط هذه القيمة العددية سرعة التفاعل بتركيز المواد المتفاعلة عند درجة حرارة معينة. وثابت السرعة قيمة محددة لكل تفاعل، وله وحدات قياس مختلفة مثل:  $L^2/mol^2 \cdot s$ ، أو  $L/mol \cdot s$ ، أو  $s^{-1}$ . ويجب تحديد قانون سرعة التفاعل تجريبياً، كما هو موضح في الشكل 3-13.



**الشكل 3-13** يتم سحب عينات من خليط التفاعل على فترات منتظمة لتحديد سرعة التفاعل في أثناء حدوثه، ثم تحقن هذه العينات فوراً في جهاز الكروماتوجرافيا، الذي يقوم بتعرّف مكوناتها، ثم فصل بعضها عن بعض.

**الشكل 14-3** يبين الرسم البياني العلاقة المباشرة بين تركيز  $H_2O_2$  وسرعة التحلل.



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

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

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

تذكر أنه يتم تحديد سرعة التفاعل من البيانات التجريبية. ولأن رتبة التفاعل تعتمد على سرعة التفاعل فإنه يترتب على ذلك أن رتبة التفاعل تحدد تجريبياً أيضاً. وأخيراً، ولأن ثابت السرعة  $K$  يصف سرعة التفاعل، فإنه يجب تحديده تجريبياً أيضاً. ويبين الشكل 14-3 كيف تتغير سرعة التفاعل الابتدائية لتحلل  $H_2O_2$  مع التغير في تركيز  $H_2O_2$ .

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

**قوانين سرعة التفاعل لرتب أخرى** الرتبة الكلية للتفاعل الكيميائي هي ناتج جمع رتب المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي. ومن المعلوم أن الكثير من التفاعلات - وبخاصة تلك التي تحتوي على أكثر من مادة متفاعلة - ليست من الرتبة الأولى. لتفحص الشكل العام لتفاعل كيميائي مكون من مادتين متفاعلتين، كما هو مبين في المعادلة الآتية، حيث ترمز  $a$  و  $b$  في هذه المعادلة الكيميائية للمعاملات. نواتج  $aA + bB \rightarrow$  يكون الشكل العام لسرعة مثل هذا التفاعل كما يأتي:

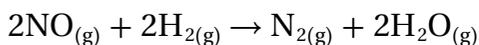
#### القانون العام لسرعة التفاعل

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

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

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

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



يحدث هذا التفاعل في أكثر من خطوة، لذا فإن قانون سرعة التفاعل له يكون:  $R = k [H_2] [NO_2]^2$  ويُحدّد قانون السرعة من البيانات التجريبية التي تشير إلى أن السرعة تعتمد على تركيز المواد المتفاعلة على النحو الآتي: إذا تضاعف [NO] مرتين فإن السرعة تتضاعف أربع مرات؛ وإذا تضاعف [H<sub>2</sub>] مرة واحدة فإن السرعة تتضاعف مرة واحدة.

يوصف التفاعل بأنه من الرتبة الثانية في NO، ومن الرتبة الأولى في H<sub>2</sub>، وبذلك يكون التفاعل من الرتبة الثالثة. فالرتبة الكلية للتفاعل هي مجموع الرتب لكل مادة متفاعلة (مجموع الأسس)، الذي هو (2 + 1)، أو 3.

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

### تحديد رتبة التفاعل Determining Reaction Order

تحدد رتبة التفاعل من خلال مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل بتغير تركيز المواد المتفاعلة. إن السرعة الابتدائية تقيس سرعة التفاعل في اللحظة التي يتم فيها إضافة المواد المتفاعلة ذات التراكيز المعروفة، وخلط بعضها ببعض. انظر إلى التفاعل العام التالي (نواتج  $aA + bB \rightarrow$ )، وافترض أنه أجري ثلاث مرات بتراكيز مختلفة لكل من A و B، وأن سرعة التفاعل الابتدائية كما هو مبين في الجدول 3-2. تذكر أن قانون سرعة التفاعل العام لهذا النوع من التفاعلات هو:  $R = k [A]^m [B]^n$  قارن بين التركيز وسرعة التفاعل في المحاولتين الأولى والثانية من خلال البيانات في الجدول 3-2، لتحديد m رتبة (أس) المادة [A] مع بقاء تركيز المادة B ثابتاً، لاحظ أن تركيز المادة A في المحاولة 2 هو ضعف التركيز في المحاولة 1. ولاحظ أيضاً أن سرعة التفاعل في المحاولة 2 قد تضاعفت مرتين، مما يعني أن تفاعل المادة A أحادي الرتبة. ولأن  $2^m = 2$ ، فلا بد إذن أن تكون قيمة m تساوي 1.

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

تدل المعلومات السابقة على أن التفاعل للمادة A أحادي الرتبة، بينما التفاعل للمادة B ثنائي الرتبة، وهذا يوصلنا إلى القانون العام الآتي لسرعة التفاعل.  $R = k [A]^1 [B]^2$ . لذا فإن التفاعل بشكل عام من الرتبة الثالثة (مجموع الأسس = 3 + 1 = 2).

بيانات السرعات الابتدائية للتفاعل نواتج $aA + bB \rightarrow$			الجدول 3-2
التركيز الابتدائي [B] (M)	التركيز الابتدائي [A] (M)	السرعة الابتدائية mol/l · s	المحاولة
0.100	0.100	$2.00 \times 10^{-3}$	1
0.100	0.200	$4.00 \times 10^{-3}$	2
0.200	0.200	$16.00 \times 10^{-3}$	3

18. اكتب معادلة قانون سرعة التفاعل  $aA \rightarrow bB$  إذا كان تفاعل المادة A من الرتبة الثالثة.
19. إذا علمت أن التفاعل  $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$  من الرتبة الأولى بالنسبة للأكسجين، والرتبة الكلية للتفاعل هي الرتبة الثالثة، فما القانون العام لسرعة التفاعل؟
20. في ضوء البيانات التجريبية الواردة في الجدول الآتي، حدد قانون سرعة التفاعل:  $aA + bB \rightarrow$  نواتج (ملاحظة: أي رقم مرفوع إلى القوة صفر يساوي 1. على سبيل المثال:  $(55.6)^0 = 1$  و  $(0.22)^0 = 1$ )

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

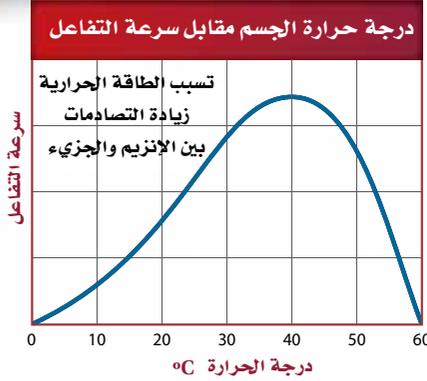
21. تحدّد إذا علمت أن قانون سرعة التفاعل:  $CH_3CHO_{(g)} \rightarrow CH_4_{(g)} + CO_{(g)}$  هو:  $R = k[CH_3CHO]^2$ . فاستعمل هذه المعلومات لتعبئة البيانات المفقودة في الجدول الآتي:

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

## التقويم 3-3

### الخلاصة

22. الفكرة الرئيسية: اشرح ماذا يمكن أن نعرف عن التفاعل من خلال قانون سرعة التفاعل الكيميائي؟
23. طبق اكتب معادلات قانون سرعة التفاعل التي تظهر الفرق بين التفاعل من الرتبة الأولى والتفاعل من الرتبة الثانية لمادة متفاعلة واحدة.
24. اشرح وظيفة ثابت سرعة التفاعل في معادلة قانون سرعة التفاعل.
25. اشرح متى يمكن أن يصبح ثابت سرعة التفاعل k ليس ثابتاً؟ وعلام تدل قيمة k في قانون سرعة التفاعل؟
26. اقترح تفسيراً لأهمية أن نعرف أن قيمة قانون سرعة التفاعل هو متوسط سرعة التفاعل.
27. اشرح كيفية ارتباط الأسس في معادلة قانون سرعة تفاعل كيميائي بالمعاملات في المعادلة الكيميائية التي تمثله.
28. حدد الرتبة الكلية لتفاعل المادتين A و B إذا علمت أن معادله سرعته:  $R = k[A]^2[B]^2$ .
29. صمم تجربة اشرح كيف يمكن تصميم تجربة لتحديد القانون العام لسرعة التفاعل باستعمال طريقة مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل: نواتج  $aA + bB \rightarrow$
- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعة التفاعل الكيميائي عند درجة حرارة وتركيز محددين للمواد المتفاعلة قانون سرعة التفاعل.
- يحدد قانون سرعة التفاعل تجريبياً باستخدام طريقة مقارنة السرعات الابتدائية.



**الشكل 1** تقترب درجة حرارة الجسم من  $37^{\circ}\text{C}$ . تؤدي الزيادة الكبيرة في الطاقة الحرارية إلى كسر التركيب البنائي للبروتينات مما يوقف قدرتها على العمل كما ينبغي.

## انخفاض درجة حرارة الجسم

### Hypothermia-Low body temperature

عندما تنخفض درجة حرارة الجسم تبدأ غدة تحت المهاد القيام بالعمليات التي من شأنها زيادة تحرير الطاقة الحرارية. فالتشعيرية أو الارتجاف عملية تنتج عن تقلصات سريعة للعضلات نتيجة التفاعلات الكيميائية التي تطلق الطاقة الحرارية. كما يبدأ الجسم أيضاً إجراءات للحفاظ على الطاقة الحرارية للجسم، ومن ذلك الحد من تدفق الدم إلى الجلد.

## ارتفاع درجة حرارة الجسم

### Hyperthermia-High body temperature

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

الكتابة في **الكيمياء** بحث صمم كتيباً للمرضى حول العلاج الطبي لانخفاض درجة حرارة الجسم أو ارتفاعها. ثم صف المدى الطويل لتأثير هذه الأمراض، وكيف يمكن منعها؟

## سرعة التفاعل ودرجة حرارة الجسم

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

## درجة حرارة الجسم الطبيعية Normal body temperature

درجة حرارة الجسم الطبيعية  $37^{\circ}\text{C}$  تقريباً، ولكنها قد تختلف باختلاف العمر، أو الجنس، أو الوقت، أو مستوى النشاط الذي يقوم به الشخص؛ فترتفع درجة حرارة جسمك عندما تقوم بأنشطة شاقة، أو عندما تكون درجة حرارة الهواء المحيط بك مرتفعة. ويمكن أن تنخفض درجة حرارة جسمك عند أخذ حمام بارد، أو ارتداء ملابس خفيفة في طقس بارد.

## التفاعلات الكيميائية تسخن الجسم

### Chemical reactions heat the body

يتم هضم الطعام داخل كل خلية من خلايا الجسم؛ لإنتاج الطاقة التي تُستعمل أو تُخزن على شكل جزيئات كبيرة تدعى أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP). وعند الحاجة إلى الطاقة يتحول ATP إلى أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) ومجموعة الفوسفات ( $\text{P}_i$ )، وتحرر طاقة.



تتطلب مثل هذه التفاعلات إنزيمات خاصة لكي تنظم سرعتها. والإنزيمات بروتينات محفزة تكون أكثر كفاءة ضمن درجة حرارة جسم الإنسان الطبيعية. لا يمكن أن تحدث مثل هذه التفاعلات بسرعة تلي احتياجات الجسم دون مساعدة الإنزيمات ودرجة حرارة قريبة من  $37^{\circ}\text{C}$ . أما خارج نطاق هذه الحرارة، فتصبح سرعة التفاعل أبطأ، كما هو مبين في الشكل 1.

## تنظيم درجة حرارة الجسم Regulating body temperature

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

# مختبر الكيمياء

## تأثير التركيز في سرعة التفاعل

**الخلفية:** تصف نظرية التصادم كيف يؤثر التغير في تركيز إحدى المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل الكيميائي؟

**سؤال:** كيف يؤثر تركيز المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل؟

### المواد والأدوات اللازمة

ماء مقطر	ماصة مدرجة سعتها 10 ml	مائة ماصة
شريط ماغنسيوم	حامل أنابيب اختبار	ورق صنفرة
مقص	مسطرة بلاستيكية	ساعة إيقاف
ملاقط		

حمض الهيدروكلوريك تركيزه 6 M

أنابيب اختبار قطرها 25 mm وطولها 150 mm مرقمة من 1 إلى 4  
ساق تحريك زجاجية

**إجراءات السلامة** 

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

### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. استعمل الماصة المدرجة البلاستيكية لسحب 10 ml من حمض الهيدروكلوريك HCl بتركيز 6 M، ثم ضعها في أنبوب الاختبار رقم 1.

3. اسحب 5 ml من حمض HCl الذي تركيزه 6 M، باستعمال الماصة من أنبوب الاختبار رقم 1، ثم ضعها في أنبوب الاختبار رقم 2، وأضف إليها 5 ml من الماء المقطر، ثم حرك المزيج بساق التحريك، ليصبح تركيز المحلول HCl 3.0 M.

4. اسحب 5 ml من محلول حمض HCl الذي تركيزه 3.0 M من أنبوب الاختبار رقم 2، وضعها في أنبوب الاختبار رقم 3. أضف إليها 5 ml من الماء المقطر، وحركها بساق التحريك، ليصبح تركيز المحلول HCl 1.5 M.

5. اسحب 5 ml من محلول حمض HCl الذي تركيزه 1.5 M من أنبوب الاختبار رقم 3، وضعها في أنبوب الاختبار رقم 4.



وأضف إليها 5 ml من الماء المقطر، وحرك المزيج، ليصبح تركيز المحلول HCl 0.75 M.

6. اسحب 5 ml من حمض HCl الذي تركيزه 0.75 M من أنبوب الاختبار رقم 4 ثم عادها بالماء، وتخلص منها في المغسلة.

7. ضع شريطاً من الماغنسيوم طوله 1 cm باستعمال الملقط في الأنبوب رقم 1. سجل في جدول البيانات الزمن المستغرق بالثانية، حتى تتوقف الفقاعات عن الظهور.

8. كرر الخطوة رقم 7 مع أنابيب الاختبار الثلاثة المتبقية. وسجل الزمن اللازم لتوقف الفقاعات عن الظهور.

9. **التنظيف والتخلص من النفايات** أفرغ المحاليل الحمضية في وعاء التخلص من الأحماض، واغسل أنابيب الاختبار وأدوات المختبر جيداً باستعمال الماء، وتخلص من المواد الأخرى حسب توجيهات المعلم. ثم أعد الأدوات المختبرية جميعها إلى مكانها المناسب.

### حل واستنتاج

1. **الرسم البياني** ارسم منحنى بياني يمثل تركيز الحمض (على محور السينات)، وزمن التفاعل (على محور الصادات).

2. **استنتاج** العلاقة بين تركيز الحمض وسرعة التفاعل الكيميائي، بالاعتماد على الرسم البياني؟

3. **ضع فرضية** بالاعتماد على: نظرية التصادم، وسرعة التفاعل، وتركيز المواد المتفاعلة؛ لتفسير النتائج التي حصلت عليها.

4. **تحليل الخطأ** قارن نتائج التجربة التي حصلت عليها بالنتائج التي حصل عليها الطلبة الآخرون في المختبر، وفسر الاختلافات.

### الإستقصاء

**صمم تجربة** اعتماداً على مشاهداتك والنتائج التي حصلت عليها، هل يؤثر التغير في درجة الحرارة في سرعة التفاعل؟ صمم تجربة لاختبار فرضيتك.

الفكرة (النامة) لكل تفاعل كيميائي سرعة محددة يمكن زيادتها أو إبطاؤها بتغيير ظروف التفاعل.

### 3-1 نموذج لسرعة التفاعلات الكيميائية

#### الفكرة الرئيسية

نظرية التصادم هي المفتاح

#### المفاهيم الرئيسية

- يعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي بسرعة استهلاك المواد المتفاعلة أو سرعة تكوّن المواد الناتجة.

$$\text{متوسط سرعة التفاعل} = \frac{\text{التغير في كمية المادة المتفاعلة أو الناتجة}}{\text{التغير في سرعة الزمن } \Delta t}$$

- تحسب سرعة التفاعل عموماً ويعبر عنها بوحدة mol/l.s.
- لا بد من تصادم الجسيمات لحدوث التفاعل.

لفهم الاختلاف في سرعة التفاعلات.

#### المضردات

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

### 3-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

#### الفكرة الرئيسية

تؤثر عوامل كثيرة في

#### المفاهيم الرئيسية

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

سرعة التفاعلات الكيميائية، ومنها: طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ودرجة الحرارة، ومساحة السطح، والمحفزات.

#### المضردات

- المحفزات
- المثبطات

### 3-3 قوانين سرعة التفاعل

#### الفكرة الرئيسية

قانون سرعة التفاعل

#### المفاهيم الرئيسية

- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعة التفاعل الكيميائي عند درجة حرارة وتركيز محددين للمواد المتفاعلة قانون سرعة التفاعل.

$$R = k [A]$$

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

- يحدد قانون سرعة التفاعل تجريبياً باستخدام طريقة مقارنة السرعات الابتدائية.

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

#### المضردات

- قانون سرعة التفاعل
- ثابت سرعة التفاعل
- رتبة التفاعل

## 3-1

## إتقان المفاهيم

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

31. اشرح المقصود بمتوسط سرعة التفاعل.

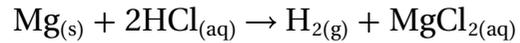
32. كيف يمكن أن تعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي  $A \rightarrow B$  بالاعتماد على تركيز المادة المتفاعلة A؟ وكيف يمكن مقارنة سرعة التفاعل بالاعتماد على المادة الناتجة B؟

33. ما دور المعقد المنشط في التفاعل الكيميائي؟

34. افترض أن جزيئين قد يتفاعلا إذا تصادما، فتحت أي ظرف لا يمكن أن يتفاعلا؟

## إتقان المسائل

35. يتفاعل المغنسيوم مع حمض الهيدروكلوريك حسب المعادلة:



إذا كانت كتلة Mg تساوي 60 g لحظة بدء التفاعل، وبقي منها 4.5 g، بعد مضي 3.00 min فما متوسط سرعة التفاعل بدلالة عدد مولات Mg المستهلكة/ دقيقة؟

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

## 3-2

## إتقان المفاهيم

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

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

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

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

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

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

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

## إتقان المسائل

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

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

## مراجعة عامة

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

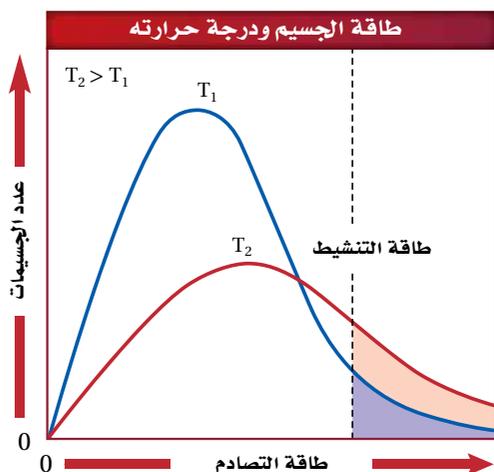
52. يتناقص تركيز المادة المتفاعلة A من 0.400 mol/l إلى 0.384 mol/l خلال 4.00 min. احسب متوسط سرعة التفاعل خلال هذه الفترة بوحدة mol/l.min.

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

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

## التفكير الناقد

55. ميّز بين المناطق المظللة في الشكل 15-3 عند درجتي الحرارة  $T_1$  و  $T_2$  بالاعتماد على عدد الاصطدامات التي تحدث في وحدة الزمن والتي لها طاقة أكبر من أو تساوي طاقة التنشيط.



الشكل 15-3

## 3-3

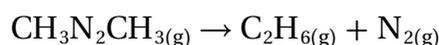
## إتقان المفاهيم

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

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

## إتقان المسائل

48. تم الحصول على البيانات التجريبية المدرجة في الجدول 3-4 من تحلل مركب الأزوميثان  $CH_3N_2CH_3$  عند درجة حرارة محددة حسب المعادلة:



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

## جدول 3-3 تحلل مادة الأيزوميثان

رقم التجربة	[ $CH_3N_2CH_3$ ] الابتدائي	السرعة الابتدائية للتفاعل
1	0.012 M	$2.5 \times 10^{-6} \text{ mol/l}\cdot\text{s}$
2	0.024 M	$5.0 \times 10^{-6} \text{ mol/l}\cdot\text{s}$

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

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

## مسألة تحدُّ

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

## مراجعة تراكمية

62. ما كتلة كلوريد الحديد III اللازمة لتحضير محلول مائي منه حجمه  $1.0 \text{ L}$  وتركيزه  $0.225 \text{ M}$ ؟

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

64. إذا كانت  $\Delta H$  لتفاعل ما سالبة. فمقارن طاقة المواد الناتجة بطاقة المواد المتفاعلة، وهل التفاعل ماص أم طارد للطاقة؟

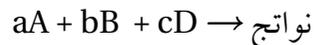
56. تأمل مخطط الطاقة لتفاعل ماص للطاقة، مكوّن من خطوة واحدة، ثم قارن ارتفاع طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي والتفاعل العكسي.

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

58. طبق نظرية التصادم لتفسير سببين لماذا تؤدي الزيادة في درجة حرارة التفاعل بمقدار  $10 \text{ K}$  غالبًا إلى مضاعفة سرعة التفاعل.

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

60. صمّم جدولاً لكتابة تراكيز المواد المتفاعلة في المعادلة التالية، مبدئيًا بـ  $0.100 \text{ M}$  لكل المتفاعلات، ثم حدّد قانون سرعة التفاعل باستعمال طريقة مقارنة السرعات الابتدائية:



## تقويم إضافي

## الكتابة في الكيمياء

**65. الأدوية تحيّل** انتشار مرض الأنفلونزا في بلد ما. ولحسن الحظ قام العلماء باكتشاف محفز جديد يزيد من سرعة إنتاج دواء فعال ضد هذا المرض. اكتب مقالا صحفياً يصف كيفية عمل هذا المحفز على أن يشمل المقال مخطط الطاقة في التفاعلات التي تحدث، وشرحاً مفصلاً لأهمية هذا الاكتشاف.

## أسئلة المستندات

**الكواشف الكيميائية** يستعمل الكاشف الكيميائي (الفينولفثالين) للكشف عن القواعد. تبين بيانات الجدول 3-5 انخفاض تركيز الفينولفثالين مع مرور الزمن عند إضافة محلول الفينولفثالين ذا التركيز  $0.0050\text{ M}$  إلى محلول مركز من مادة قاعدية تركيزها  $0.6\text{ M}$ .

الجدول 3-5 التفاعل بين الفينولفثالين وكمية فائضة من مادة قاعدية.

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

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

**66.** ما متوسط سرعة التفاعل في أول  $22.3\text{ s}$  معبراً عنه بوحدة  $\text{mol}/(\text{l}\cdot\text{s})$ ؟

**67.** ما متوسط سرعة تفاعل الفينولفثالين عندما ينخفض تركيزه من  $0.0050\text{ M}$  إلى  $0.00015\text{ M}$ ؟

## اختبار مقنن

### أسئلة الاختيار من متعدد

1. جميع العبارات التالية حول سرعة التفاعل الكيميائي صحيحة ما عدا:

- a. السرعة التي يحدث بها التفاعل.
- b. التغير في تراكيز المواد المتفاعلة خلال وحدة الزمن.
- c. التغير في تراكيز المواد الناتجة خلال وحدة الزمن.
- d. كمية المواد الناتجة المتكونة في كل فترة زمنية.

2. ادرس العبارات التالية:

العبرة الأول: من العوامل التي تؤثر في سرعة التفاعل طبيعة المادة المتفاعلة، والتركيز، ومساحة سطح التفاعل، ودرجة الحرارة، والمحفزات.

العبرة الثانية: تزيد المحفزات من سرعة التفاعلات بزيادة طاقة التنشيط.

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

أي العبارات السابقة صحيحة؟

- a. الأولى والثانية.
- b. الثانية والثالثة.
- c. الأولى والثالثة.
- d. الأولى والثانية والثالثة.

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

- a. 15 ml
- b. 9.0 ml
- c. 6.0 ml
- d. 2.4 ml

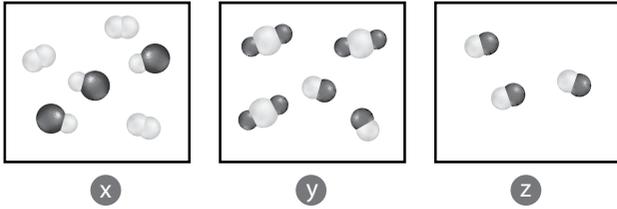
4. أي الوحدات لا تستعمل للتعبير عن سرعة التفاعل؟

- a. M/min
- b. L/s
- c. mol/ml·h
- d. mol/l·min

5. أي أنواع القوى بين الجزيئية الآتية يعد الأقوى؟

- a. الرابطة الأيونية.
- b. قوى ثنائية القطب.
- c. قوى التشتت.
- d. الرابطة الهيدروجينية.

استعمل الأشكال أدناه للإجابة عن السؤالين 6 و 7



6. أي العينات تحتوي على جزيئات غاز الأكسجين؟

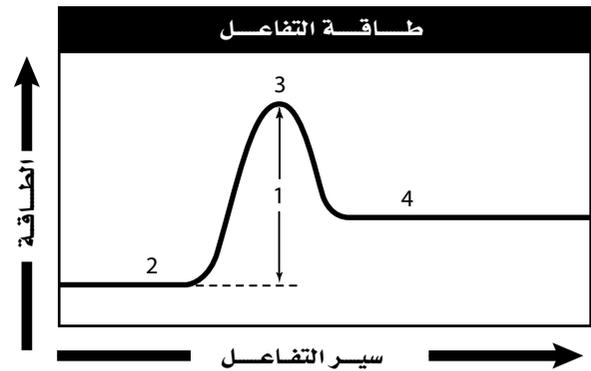
- a. x
- b. y
- c. z
- d. كل من x و y

7. أي العينات تحتوي على جزيئات فلوريد الماغنسيوم؟

- a. x
- b. y
- c. z
- d. كل من x و y

### أسئلة الإجابات القصيرة

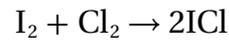
8. افترض أن قانون السرعة العام هو:  $R = [A][B]^3$ .  
ما رتبة التفاعل بالنسبة لكل من المادة A والمادة B؟  
وما رتبة التفاعل الكلية؟



9. يبين الشكل أعلاه منحنى طاقة تفاعل. إلام يشير كل رقم من الأرقام المبينة على الرسم؟
10. المعادلة  $R = k[A]$  تصف سرعة تفاعل من الرتبة الأولى. إذا تضاعف تركيز المادة المتفاعلة A ماذا يطرأ على سرعة التفاعل؟

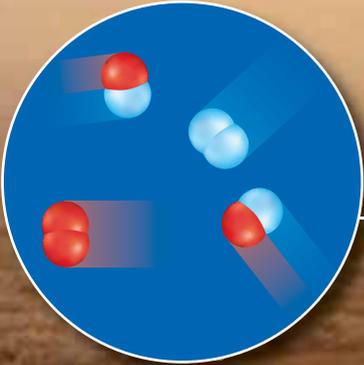
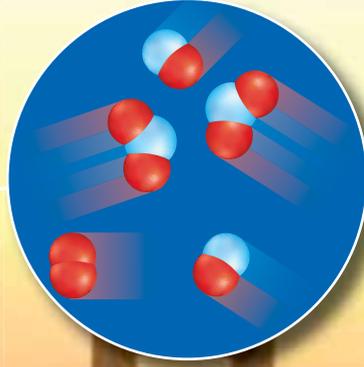
### أسئلة الإجابات المفتوحة

11. يتفاعل اليود والكلور في الحالة الغازية:



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

من مكونات الضباب الدخانى:  $\text{NO}_2$   
 $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$



من الغازات العادمة التي تخرج من المحرك:  $\text{NO}$   
 $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}$

**الفكرة العامة** يصل الكثير من التفاعلات والعمليات إلى حالة من اللاتزان الكيمياءى؛ حيث تتكون كل من المواد المتفاعلة والناجئة بسرعات متساوية.

## 1-4 حالة اللاتزان الالناميكى

**الفكرة الرئيسية** يوصف اللاتزان الكيمياءى بتعبير ثابت اللاتزان، الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناجئة.

## 2-4 العوامل المؤثرة في اللاتزان الكيمياءى

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

## 3-4 استعمال ثوابت اللاتزان

**الفكرة الرئيسية** يمكن استعمال تعبير ثابت اللاتزان في حساب تراكيز المواد في التفاعل وذوبانيتها.

## حقائق كيمياءية

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

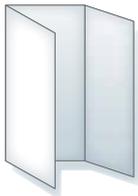
## نشاطات تمهيدية

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

### المطويات

منظمات الأفكار

**خطوة 1** اطو ورقة إلى  
ثلاثة أقسام أفقيًا.



**خطوة 2** افتح الورقة  
ثم اطو الجزء العلوي إلى  
أسفل 2 cm.



**خطوة 3** افتح الورقة،  
ثم ارسم خطوطًا على  
حدود الطيات وعبّر عن  
الأعمدة: التغير في  
التركيز، التغير في  
الحجم والضغط، التغير  
في درجة الحرارة.

التغير في التركيز	التغير في الحجم والضغط	التغير في درجة الحرارة

**المطويات** استعمل هذه المطوية في القسم 2-4،  
ولخص ما تعلمته عن تأثير التغيرات في اتزان النظام،  
مستعملًا المعادلات.

## تجربة استهلاكية

ما التساوي في الاتزان؟

الاتزان هو نقطة توازن تلغي عندها التغيرات المتعارضة بعضها  
بعضًا.



### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. قم بقياس 20 ml من الماء في مخبار مدرج وأفرغها في كأس  
زجاجية مدرجة سعتها 100 ml. ثم املاً المخبار المدرج  
بالماء إلى 20 ml، وأضف نقطتين من ملون الطعام إلى الماء  
في كل من الكأس والمخبار المدرج.
3. أحضر أنبوبين زجاجيين مفتوحين الطرفين لهما القطر نفسه.
4. بمساعدة زميلك، اغمر أحد الأنبوب في الماء الملون في  
الكأس والآخر في الماء الملون في المخبار المدرج، وعند  
ارتفاع الماء الملون في الأنبوب يغلق كل منكما الطرف  
العلوي للأنبوب بسبابته، وينقل محتوياته إلى وعاء آخر.
5. كرر عملية النقل 25 مرة. سجل ملاحظاتك.

### تحليل النتائج

1. صف ملاحظاتك خلال عملية النقل.
  2. فسر هل تختلف النتيجة النهائية إذا تابعت عملية النقل فترة  
أطول؟
- استقصاء** هل يمكن توضيح الاتزان إذا استعملت أنابيب  
زجاجية بأقطار مختلفة؟ فسر ذلك.

الكيمياء  
ببر المواقع الإلكترونية  
لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى  
الموقع:

[www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

## الأهداف

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

## مراجعة المفردات

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

## المفردات الجديدة

- التفاعل العكسي
- الاتزان الكيميائي
- قانون الاتزان الكيميائي
- ثابت الاتزان
- الاتزان المتجانس
- الاتزان غير المتجانس

## حالة الاتزان الديناميكي

### A State of Dynamic Balance

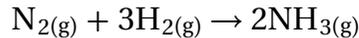
**الفكرة الرئيسية** يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان، الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والنواتج.

**الربط مع الحياة** لعلك شاهدت شد الحبل بين فريقين. قد يبدو أن أيًا من الفريقين لا يسحب الآخر؛ لأن الحبل بينها لا يتحرك. وفي الحقيقة أن كلا الفريقين يسحب الآخر، ولكن القوة المبذولة من كلا الفريقين متساوية ومتعاكسة، لذلك يكونان في حالة اتزان.

### ما الاتزان؟ What is Equilibrium?

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

تأمل تفاعل تحضير غاز الأمونيا من غاز النيتروجين وغاز الهيدروجين:



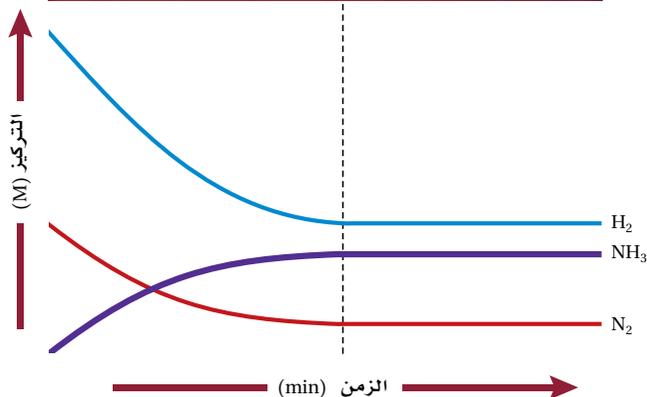
للأمونيا أهمية كبيرة في الزراعة؛ حيث تستعمل سدادًا ومادة إضافية في أطعمة الحيوانات. وفي الصناعة تمثل الأمونيا مادة خامًا في صناعة الكثير من المنتجات، ومنها النايلون، كما يظهر في الشكل 4-1.

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



**الشكل 4-1** تفاعل الأمونيا مع نهايتي جزيء مكون من 6 ذرات كربون، لتكون 1، 6 - ثنائي أمينوهكسان. تمثل هذه إحدى خطوات تكوين بوليمر النايلون. وتُظهر الصورة لف ألياف النايلون على ملفات؛ والتي تستعمل في صناعة الإطارات.

### تراكيز المتفاعلات والنواتج مقابل الزمن



**الشكل 4-2** يتناقص تركيز المواد المتفاعلة  $H_2$ ،  $N_2$  في البداية، في حين يزداد تركيز الناتج  $NH_3$ . قبل أن تستهلك المتفاعلات تمامًا، تصبح تراكيز جميع المواد ثابتة.

### اختبار الرسم البياني

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

### المفردات

#### المفردات الأكاديمية

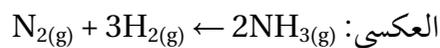
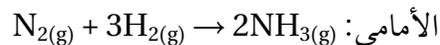
#### تحويل Convert

هو التغير من شكل أو وظيفة إلى أخرى. حولت الغرفة الزائدة في منزلنا إلى مكتب.

ماذا يحدث عندما يوضع 1 mol من النيتروجين مع 3 mol من الهيدروجين في وعاء مغلق للتفاعل عند درجة حرارة 723 K؟ سوف يتفاعل النيتروجين والأكسجين تلقائيًا. يوضح الشكل 4-2 سير التفاعل. لاحظ أن تركيز الأمونيا  $NH_3$  الناتجة يساوي صفرًا في البداية، ويزداد مع الوقت، وأن المتفاعلات  $H_2$  و  $N_2$  تستهلك في أثناء التفاعل، لذلك يقل تركيزها تدريجيًا. وبعد مرور فترة من الزمن لا تتغير تراكيز  $NH_3$  و  $N_2$  و  $H_2$  أي تصبح جميع التراكيز ثابتة - كما هو موضح في الخطوط الأفقية في الجانب الأيمن من الرسم البياني. لاحظ أن تراكيز  $H_2$  و  $N_2$  لا تساوي صفرًا، وهذا يعني أنه لم يتم تحويل كامل المتفاعلات إلى نواتج.

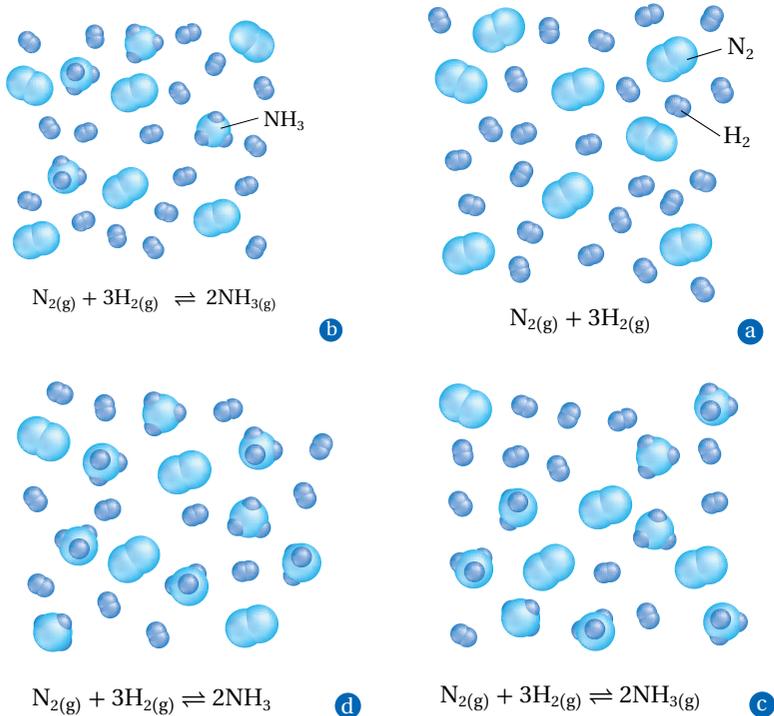
**اختبار الرسم البياني** صف ميل منحنى كل من الهيدروجين والنيتروجين والأمونيا في الطرف الأيسر من الرسم البياني. كيف يختلف ميل كل منحنى في الطرف الأيسر عن ميله في الطرف الأيمن من الرسم؟

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



يدمج الكيميائيون المعادلتين في معادلة واحدة يستعمل فيها السهم الثنائي ليشير إلى اتجاهي التفاعلين الحادتين.  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

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



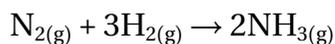
**الشكل 3-4** توضح الرسومات من a إلى d سير التفاعل لتكوين الأمونيا من الهيدروجين والنيتروجين.

**استنتج** ادرس الأشكال وأجب عن الأسئلة الآتية:

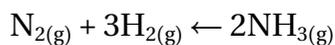
a : كيف تعلم أن التفاعل لم يبدأ بعد؟

b : ما الدليل الذي يشير إلى بداية التفاعل العكسي؟ قارن الشكلين c و d، كيف تعلم أن النظام وصل إلى حالة الاتزان؟

كيف يؤثر التفاعل العكسي في إنتاج الأمونيا؟ يوضح الشكل **3a-4** بدء تفاعل مزيج من الهيدروجين والنيتروجين بسرعة أولية محددة. ولا توجد أي كمية ناتجة من الأمونيا، وهذا يعني أن ما يحدث هو التفاعل الأمامي فقط.



يقل تركيز كل من الهيدروجين والنيتروجين في أثناء اتحادهما لتكوين الأمونيا، كما هو موضح في الشكل **3b-4**. وتذكر مما درست سابقاً أن سرعة التفاعل الكيميائي تعتمد على تراكيز المتفاعلات؛ إذ يسبب نقص تراكيز المتفاعلات إبطاء سرعة التفاعل الأمامي. وفي هذا التفاعل، بمجرد أن تنتج الأمونيا، يحدث التفاعل العكسي ببطء ثم تزداد سرعته مع زيادة تركيزها.

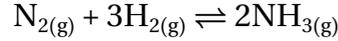


وفي أثناء سير التفاعل تستمر سرعة التفاعل الأمامي في النقصان، وتستمر سرعة التفاعل العكسي في الزيادة حتى تتساوى السرعتان. عند هذه النقطة تتكون الأمونيا بالسرعة نفسها التي تتحلل بها، لذلك تبقى تراكيز  $\text{N}_2$  و  $\text{H}_2$  و  $\text{NH}_3$  ثابتة كما هو موضح في الشكلين **3c-4**، **3d-4**، ويكون النظام عندها قد وصل إلى حالة الاتزان.

ولذا يعرف **الاتزان الكيميائي** بأنه الحالة التي يوازن فيها التفاعل الأمامي والعكسي أحدهما الآخر؛ لأنهما يحدثان بالسرعة نفسها.

سرعة التفاعل الأمامي = سرعة التفاعل العكسي

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



عند الاتزان تكون تراكيز المواد المتفاعلة والناجمة ثابتة، كما يظهر في الشكلين ، 4-3c لكن هذا لا يعني أن كميات أو تراكيز المتفاعلات و النواتج متساوية؛ فهذه الحالة نادرة الحدوث.

✓ **ماذا قرأت؟** فسر معنى السهم المزدوج في المعادلات الكيميائية.

### الربط الفيزياء الطبيعة الديناميكية للاتزان

يمثل كل من الدفع أو السحب المؤثر في جسم ما قوة؛ فأنت تبذل قوة عندما تدفع الباب أو تسحب مقعدك من مكانه. إذا أثرت قوتان أو أكثر في جسم وفي الاتجاه نفسه، فإن محصلة هذه القوى تساوي مجموعها. أما إذا كانت القوى المؤثرة في الجسم متعاكسة في الاتجاه فإن القوة المحصلة تساوي الفرق بينها ويكون اتجاه القوة المحصلة في اتجاه القوة الكبرى. لهذا في لعبة شد الحبل عندما يسحب الفريقان الحبل بقوى متساوية تكون محصلة القوى صفر، فلا يتحرك الحبل، ويوصف النظام بأنه في حالة اتزان. وبالمثل، في الشكل 4-4a فالأشخاص الذين يلعبون لعبة التوازن (السيسو) يمثلون نظامًا متزنًا؛ إذ تسمى القوى المتماثلة والمتعاكسة على لعبة التوازن (السيسو) بالقوى المتوازنة، أما إذا كانت واحدة من هذه القوى أكبر من الأخرى فإن القوة المحصلة تكون أكبر من صفر وتسمى القوى غير المتوازنة. وتسبب القوى غير المتوازنة تسارع الجسم، كما يحدث في الشكل 4-4b.

#### الشكل 4-4

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

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

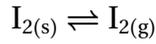
وضح كيف تشبه لعبة التوازن (السيسو) الاتزان الكيميائي؟





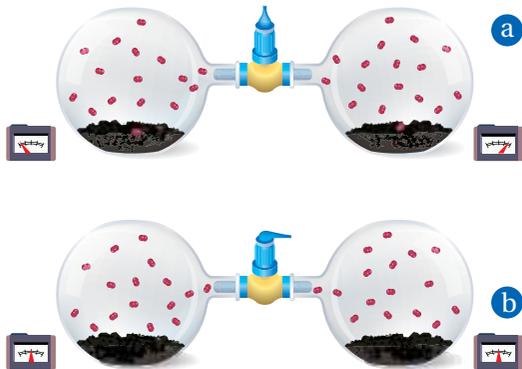
**الشكل 4-5** افترض أن عددًا معينًا من الأشخاص محصورون في مبنين متصلين بممر يسمح للناس بالعبور ذهابًا وإيابًا بينهما. إن عدد الأشخاص في كل مبنى يبقى ثابتًا إذا كان عدد الأشخاص الذين يعبرون الممر مساويًا لعدد الأشخاص الذين يعبرون في الاتجاه المعاكس. **حدد** هل يكون الأشخاص أنفسهم موجودين دومًا في المبنى نفسه؟ كيف تطبق إجابتك على الاتزان الكيميائي؟

يمكن تشبيه ما ورد في الشكل 4-5 بالطبيعة الديناميكية للاتزان الكيميائي عند وضع كميات متساوية من بلورات اليود في دورقين متصلين كما هو موضح في الشكل 6a - 4. يحتوي الدورق في الجهة اليسرى على جزيئات يود من النظير غير المشع I-127، ويحتوي الدورق في الجهة اليمنى على جزيئات يود من النظير المشع I-131. تبين عدادات الإشعاع الفرق في مستويات الإشعاع في كل دورق. إذ يمثل كل دورق نظامًا مغلقًا، ومن ثم لا يمكن لأي من المتفاعلات أو النواتج أن تدخل أو تخرج من الدورق. فعند درجة حرارة 298 K وضغط 1 atm يحصل الاتزان في كلا الدورقين.



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

عندما يتم فتح المحبس في الأنبوب الذي يصل الدورقين كما هو موضح في الشكل 6b-4 ينتقل بخار اليود بين الدورقين. وبعد فترة من الزمن، تشير قراءات عدادات الإشعاع إلى وجود عدد من جزيئات اليود المشع I-131 في الدورق في الجهة اليسرى، كما في الدورق في الجهة اليمنى في الحالتين الصلبة والغازية. توحي الأدلة بأن جزيئات اليود تتغير بشكل مستمر من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية حسب التفاعل الأمامي. وأن جزيئات اليود الغازية تتغير إلى الحالة الصلبة وفقًا للتفاعل العكسي. وتشير قراءات عدادات الإشعاع إلى أن الاتزان قد تحقق في الحجم الكلي في الدورقين.



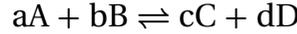
**في الشكل 4-6 a.** تفصل جزيئات اليود المشع في الدورق الأيمن عن جزيئات اليود غير المشع في الدورق الأيسر. لاحظ قراءات عدادات الإشعاع.

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

## تعابير الاتزان Equilibrium Expressions

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

**قانون الاتزان الكيميائي** قدّم وطوّر الكيميائيان النرويجيان كاتو ماكسمليان جولدبرغ Guldberg وبيتر ويج Waage في عام 1864م **قانون الاتزان الكيميائي** الذي ينص على أنه عند درجة حرارة معينة يمكن للتفاعل الكيميائي أن يصل إلى حالة تصبح فيها نسب تراكيز المتفاعلات والنواتج ثابتة. وتكون معادلة التفاعل العامة للتفاعل الذي في حالة اتزان كما يلي:



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

### تعبير ثابت الاتزان

تمثل [A] و [B] التراكيز المولارية للمتفاعلات

[C] و [D] التراكيز المولارية للنواتج

تمثل الأسس a و b و c و d معاملات المعادلة الموزونة

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

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

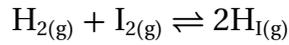
**ثابت الاتزان**  $K_{eq}$  هو القيمة العددية لنسبة تراكيز النواتج إلى تراكيز المتفاعلات، ويُرفع كل تركيز إلى أس مساو للمعامل الخاص به في المعادلة الموزونة. وتكون قيمة  $K_{eq}$  ثابتة عند درجة حرارة معينة فقط.

كيف يمكن تفسير قيمة ثابت الاتزان؟ تعلم أن قيمة الكسر الذي بسطه أكبر من مقامه تكون أكبر من 1. وتكون قيمة الكسر الذي بسطه أقل من مقامه أقل من 1. على سبيل المثال، قارن بين الكسرين  $\frac{5}{1}$  و  $\frac{1}{5}$ . فالخمس أكبر من الخمس. ولأن تراكيز النواتج توجد في بسط معادلة ثابت الاتزان؛ فإن التفاعل يكون محتويًا على نواتج أكثر من المتفاعلات إذا كانت القيمة العددية للثابت  $K_{eq}$  كبيرة، وبالمثل تكون المواد المتفاعلة أكثر من النواتج عندما تكون القيمة العددية للثابت  $K_{eq}$  صغيرة.

$K_{eq} > 1$ ، تراكيز المواد الناتجة أكبر من تراكيز المواد المتفاعلة عند الاتزان.

$K_{eq} < 1$ ، تراكيز المواد المتفاعلة أكبر من تراكيز المواد الناتجة عند الاتزان.

**تعبير الاتزان المتجانس** ينتج غاز يوديد الهيدروجين عن تفاعل الاتزان لغاز الهيدروجين مع اليود. لليود ومركباته استعمالات مهمة في الطب، كما هو موضح في الشكل 4-7. كيف يمكنك كتابة تعبير ثابت الاتزان لهذا التفاعل؟



هذا تفاعل **اتزان متجانس**، وهذا يعني أن المتفاعلات والنواتج موجودة في الحالة الفيزيائية نفسها؛ فكل المواد المشاركة في هذا التفاعل في الحالة الغازية. أولاً ضع تراكيز النواتج في البسط وتراكيز المتفاعلات في المقام.

$$\frac{[\text{HI}]}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

يصبح هذا التعبير مساوياً لثابت الاتزان  $K_{\text{eq}}$ ، عندما نضيف المعاملات بوصفها أسساً من المعادلة الكيميائية الموزونة

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

ثابت الاتزان لهذا التفاعل يساوي 49.7 عند درجة حرارة 731 K. لاحظ أن 49.7 ليست لها وحدة. من المعتاد حذف الوحدات عند كتابة تعابير ثابت الاتزان.



**الشكل 4-7** بسبب خواص اليود المضادة للجراثيم، يستعمل محلول اليود ومركباته مطهرات خارجية. كما تدخل بعض مركبات يوديد البوتاسيوم KI في الأدوية التي تعالج تضخم الغدة الدرقية.

تعبير ثابت الاتزان للتفاعلات المتجانسة تنتج ملايين الأطنان من الأمونيا  $NH_3$  لاستعمالها في صناعة المتفجرات والأسمدة والألياف الصناعية. ويمكن أن تستعمل الأمونيا منظفًا منزليًا؛ فهي مفيدة جدًا في تنظيف الزجاج. وتصنع الأمونيا من عناصرها الهيدروجين والنتروجين باستعمال طريقة هابر. اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل الآتي:  $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$

### 1 تحليل المسألة

توفر معادلة التفاعل المعلومات المطلوبة لكتابة تعبير ثابت الاتزان. وهذا الاتزان متجانس؛ لأن المتفاعلات والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها.

#### المطلوب

$$K_{eq} = ?$$

#### المعطيات

$$1 = N_2 \text{ معامل}, [A] = [N_2]$$

$$3 = H_2 \text{ معامل}, [B] = [H_2]$$

$$2 = NH_3 \text{ معامل}, [C] = [NH_3]$$

### 2 حساب المطلوب

$$A = N_2, B = H_2, C = NH_3 \text{ عوض}$$

$$\text{عوض } a = 1, b = 3, c = 2$$

$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^c}{[N_2]^a[H_2]^b}$$

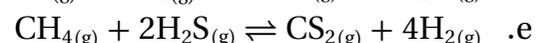
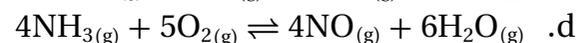
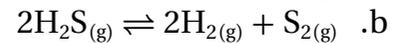
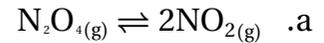
$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

### 3 تقويم الإجابة

تركييزات النواتج في البسط وتركييزات المتفاعلات في المقام. ترفع التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها.

### مسائل تدريبية

1. اكتب تعبير ثابت الاتزان للمعادلات الآتية:

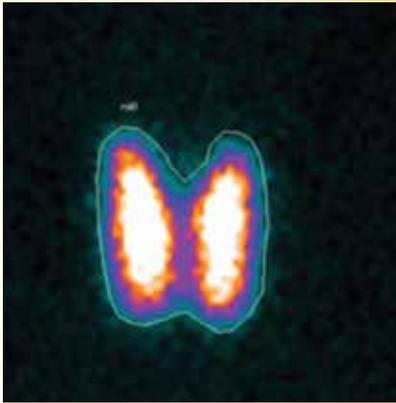


2. تحدّد اكتب المعادلة الكيميائية التي تمثل تعبير ثابت الاتزان الآتي:

$$K_{eq} = \frac{[CO]^2[O_2]}{[CO_2]^2}$$

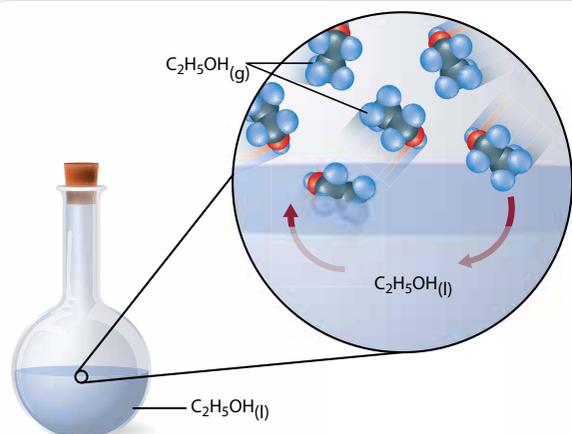
### الكيمياء في واقع الحياة

#### صحة الغدة الدرقية



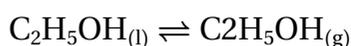
**الطب النووي** تمتص الغدة الدرقية نظير اليود المشع I-131، الذي يستعمل في الطب لتشخيص وعلاج أمراض الغدة الدرقية. فعندما يتناوله المريض تعمل إشعاعات اليود على إعطاء صورة للغدة تكشف عن أي قصور.

تُظهر الصورة أعلاه الغدة الدرقية لمريض يعاني من مرض تضخم الغدة، وهو مرض يمكن علاجه، وسببه فرط نشاط الغدة الدرقية.



**الشكل 4-8** عند الاتزان، تكون سرعة تبخر الإيثانول  $C_2H_5OH$  مساوية لسرعة التكثف. يسمى هذا الاتزان المكون بين حالتين فيزيائيتين للمادة الاتزان غير المتجانس. تعتمد قيمة  $K_{eq}$  على  $[C_2H_5OH(g)]$  فقط.

**تعبير الاتزان غير المتجانس** لقد تعلمت كتابة تعابير ثابت الاتزان  $K_{eq}$  للاتزان المتجانس؛ إذ تكون المتفاعلات والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها. أما عندما توجد المتفاعلات والنواتج في أكثر من حالة فيزيائية واحدة فيسمى **الاتزان غير المتجانس**. فمثلاً إذا وضعت كمية من الإيثانول في دورق مغلق، فإنه بعد فترة من الزمن يحدث اتزان غاز - سائل، كما هو موضح في الشكل 4-8



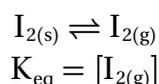
لكتابة تعبير ثابت الاتزان لهذه العملية، يجب أن تكتب نسبة بين تركيز المادة الناتجة إلى تركيز المادة المتفاعلة. وفي درجة حرارة معينة، تكون قيمة النسبة ثابتة،  $K$ .

$$K = \frac{[C_2H_5OH]}{[C_2H_5OH]}$$

لاحظ أن مقام المعادلة يمثل الإيثانول السائل؛ وهو مادة نقية، لذلك فإن تركيزه هو كثافته معبر عنها بوحدة  $mol/l$ . تذكر أن الكثافة ثابتة عند درجة حرارة ثابتة، لذلك مهما كانت كمية الإيثانول  $C_2H_5OH$  صغيرة أو كبيرة فإن تركيزه يبقى ثابتاً. لذلك فإن القيمة الموجودة في مقام المعادلة ثابتة، ويمكن دمجها مع  $K$  لتعطي  $K_{eq}$ .

$$K[C_2H_5OH] = [C_2H_5OH] = K_{eq}$$

ويمكن كتابة تعبير ثابت الاتزان لهذا التغيير في الحالة الفيزيائية للإيثانول على النحو الآتي:  $K_{eq} = [C_2H_5OH(g)]$  المواد الصلبة مواد نقية بتركيز ثابتة، لذلك يمكن تبسيط الاتزان الذي يحتوي مواد صلبة بالطريقة نفسها. تذكر تجربة تسامي جزيئات اليود في الشكل 4-6.



يعتمد ثابت الاتزان  $K_{eq}$  على تركيز غاز اليود في النظام فقط.

### مهمن في الكيمياء

**كاتب علمي** لنقل المعلومات العلمية للقارئ غير العلمي، يجب أن يكون عند الكاتب خلفية علمية واسعة وقدرة على الكتابة بشكل مفهوم وواضح ودقيق. يجعل الكاتب العلمي المواضيع المعقدة مثل الاتزان الكيميائي في متناول قراء ليس لديهم أي معلومات عن الموضوع.



**الشكل 4-9** تمتص كربونات الصوديوم الهيدروجينية (صودا الخبز) الروائح وتتعش الهواء داخل الثلاجة. وهي أيضًا من المكونات الرئيسية في بعض معاجين الأسنان.

**تعبير ثابت الاتزان غير المتجانس** تستعمل صودا الخبز (كربونات الصوديوم الهيدروجينية) في الخبز، ومضادًا للحموضة، وفي التنظيف، كما أنها توضع في أوعية مفتوحة في الثلاجات لإبقاء الجو منعشًا، كما هو موضح في الشكل 4-9. اكتب تعبير ثابت الاتزان لتحلل صودا الخبز.



### 1 تحليل المسألة

هذا الاتزان غير المتجانس يحتوي على غازات ومواد صلبة، يتم إزالة المواد الصلبة من تعبير ثابت الاتزان.

#### المعطيات

$$1 = [\text{Na}_2\text{CO}_3] = [\text{C}]$$

$$1 = [\text{CO}_2] = [\text{D}]$$

$$1 = [\text{H}_2\text{O}] = [\text{E}]$$

$$2 = [\text{NaHCO}_3] = [\text{A}]$$

#### المطلوب

تعبير ثابت الاتزان = ؟

### 2 حساب المطلوب

كون نسبة تراكيز النواتج إلى تراكيز المتفاعلات.

ضع التعبير العام لثابت الاتزان

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

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{Na}_2\text{CO}_3]^c[\text{CO}_2]^d[\text{H}_2\text{O}]^e}{[\text{NaHCO}_3]^a}$$

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{Na}_2\text{CO}_3]^1[\text{CO}_2]^1[\text{H}_2\text{O}]^1}{[\text{NaHCO}_3]^2}$$

$$K_{\text{eq}} = [\text{CO}_2][\text{H}_2\text{O}]$$

$$D = \text{CO}_2 \quad A = \text{NaHCO}_3 \quad \text{عوض}$$

$$C = \text{Na}_2\text{CO}_3 \quad E = \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{عوض} \quad a = 2, c = 1, d = 1, e = 1$$

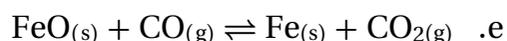
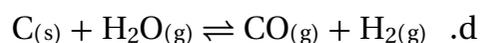
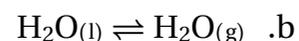
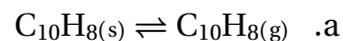
قم بإزالة المواد الصلبة

### 3 تقويم الإجابة

يطبق تعبير ثابت الاتزان قوانين الاتزان الكيميائي بصورة صحيحة على المعادلة.

#### مسائل تدريبية

3. اكتب تعبير ثابت الاتزان غير المتجانس لكل مما يلي:

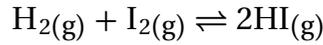


4. **تحدّ** يتفاعل الحديد الصلب مع غاز الكلور لتكوين كلوريد الحديد III  $\text{FeCl}_3$ .

اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل.

## ثوابت الاتزان Equilibrium Constants

تبقى قيمة  $K_{eq}$  ثابتة لتفاعل معين عند درجة حرارة معينة، بغض النظر عن التراكيز الابتدائية للنواتج والمتفاعلات. لفحص هذه النظرية تم تنفيذ ثلاث تجارب للتفاعل:



ويُلخص الجدول 1-4 نتائج تلك التجارب. في المحاولة الأولى، وضع 1.0000 mol من  $H_2$  و 2.0000 mol من  $I_2$  في وعاء حجمه 1.0000 L وليس هناك أي كمية من HI في بداية المحاولة 1. في بداية المحاولة 2 فقط HI كان موجوداً. أما في المحاولة 3 فكان لكل مادة من المواد الثلاث التركيز الابتدائي نفسه. وأجريت التفاعلات جميعها في درجة حرارة 731 K.

**تراكيز الاتزان** تم تحديد تركيز كل مادة تجريبياً عند الاتزان. لاحظ أن تراكيز الاتزان في التجارب الثلاث ليست متساوية. لكن عند التعويض بدل تراكيز الاتزان في معادلة ثابت الاتزان تم الحصول على قيمة  $K_{eq}$  نفسها في المحاولات الثلاث.

**قيمة  $K_{eq}$**  رغم أن نظام الاتزان له قيمة  $K_{eq}$  ثابتة عند درجة حرارة معينة، إلا أن له عددًا غير محدود من مواقع الاتزان، والتي تعتمد على التراكيز الابتدائية للمتفاعلات والنواتج.

تعني قيمة  $K_{eq}$  العالية في التفاعل  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$  أن النواتج موجودة بكميات أكبر من المتفاعلات عند الاتزان. لكن في كثير من التفاعلات تكون قيمة  $K_{eq}$  صغيرة.

فعلى سبيل المثال ثابت الاتزان  $K_{eq}$  للتفاعل  $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$  يساوي  $4.6 \times 10^{-31}$  عند درجة حرارة 298 K. تعني القيمة الصغيرة لـ  $K_{eq}$  أن كمية أكسيد النيتروجين NO الناتجة عملياً تكون شبه معدومة عند الاتزان.

**خواص الاتزان** لعلك لاحظت خواص معينة للتفاعلات الكيميائية التي تصل إلى حالة الاتزان. أولاً: يجب أن يتم التفاعل في نظام مغلق، أي لا يخرج من النظام أو يدخله أي من النواتج أو المتفاعلات. ثانياً: يجب أن تبقى درجة الحرارة ثابتة.

ثالثاً: توجد النواتج والمتفاعلات معاً، وهي في حركة ديناميكية ثابتة، وهذا يعني أن الاتزان ديناميكي، وليس ساكناً.

**ماذا قرأت؟** فسر لماذا يعد من المهم وجود المتفاعلات والنواتج معاً في الاتزان؟

بيانات تجريبية لتفاعل يوديد الهيدروجين عند الاتزان							الجدول 1-4
$K_{eq}$	تراكيز الاتزان			التراكيز الابتدائية			
$K_{eq} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$	[HI]	[I <sub>2</sub> ]	[H <sub>2</sub> ]	[HI]	[I <sub>2</sub> ]	[H <sub>2</sub> ]	تجربة
$49.70 = \frac{[1.8682]^2}{[0.06587][1.0659]}$	1.8682	1.0659	0.06587	0	2.0000	1.0000	1
$49.70 = \frac{[3.8950]^2}{[0.5525][0.5525]}$	3.8950	0.5525	0.5525	5.0000	0	0	2
$49.70 = \frac{[1.7515]^2}{[0.2485][0.2485]}$	1.7515	0.2485	0.2485	1.0000	1.0000	1.0000	3

قيمة ثابت الاتزان احسب قيمة  $K_{eq}$  لتعبير ثابت الاتزان  $K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$  إذا علمت أن تراكيز المواد في أحد مواضع الاتزان  $[NH_3] = 0.933 \text{ mol/l}$ ,  $[N_2] = 0.533 \text{ mol/l}$ ,  $[H_2] = 1.600 \text{ mol/l}$

### 1 تحليل المسألة

لقد أعطيت تعبير ثابت الاتزان وتراكيز المتفاعلات والنواتج، يجب حساب ثابت الاتزان.

#### المطلوب

$$K_{eq} = ?$$

$$[N_2] = 0.533 \text{ mol/l}$$

$$[H_2] = 1.600 \text{ mol/l}$$

#### المعطيات

$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

$$[NH_3] = 0.933 \text{ mol/l}$$

### 2 حساب المطلوب

$$K_{eq} = \frac{[0.933]^2}{[0.533][1.600]^3} = 0.399$$

$$\text{عوض } [NH_3] = 0.933 \text{ mol/l}$$

$$[N_2] = 0.533 \text{ mol/l}, [H_2] = 1.6 \text{ mol/l}$$

### 3 تقويم الإجابة

توجد القيمة الكبرى للتركيز في مقام المعادلة، وهي مرفوعة للأس (3)، لذا قيمة  $K_{eq}$  الناتجة أقل من 1 معقولة.

### مسائل تدريبية

5. احسب قيمة  $K_{eq}$  للاتزان  $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$  إذا علمت أن:

$$[N_2O_4] = 0.0185 \text{ mol/l}, [NO_2] = 0.0627 \text{ mol/l}$$

6. احسب قيمة  $K_{eq}$  للاتزان  $CO(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + H_2O(g)$ . إذا علمت أن:

$$[CO] = 0.0613 \text{ mol/l}, [H_2] = 0.1839 \text{ mol/l}, [CH_4] = 0.0387 \text{ mol/l}, [H_2O] = 0.0387 \text{ mol/l}$$

7. تحدّد يصل التفاعل  $COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$  إلى حالة الاتزان عند درجة حرارة 900 K، فإذا كان تركيز كل من CO و  $Cl_2$  هو 0.150 M عند الاتزان، فما تركيز  $COCl_2$ ؟ علماً أنّ ثابت الاتزان  $K_{eq}$  عند درجة الحرارة نفسها يساوي  $8.2 \times 10^{-2}$ .

## التقويم 4-1

### الخلاصة

- يكون التفاعل في حالة اتزان إذا كانت سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي.
- تعبير ثابت الاتزان هو نسبة التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة، حيث ترفع هذه التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها في المعادلة الكيميائية الموزونة.
- تكون قيمة تعبير ثابت الاتزان  $K_{eq}$  ثابتة عند درجة حرارة معينة .

8. **الفكرة الرئيسية** فسر كيف ترتبط قيمة ثابت الاتزان مع كمية النواتج  $K_{eq}$ ؟

9. **قارن** بين الاتزان المتجانس والاتزان غير المتجانس.

10. **عدّد** ثلاث خواص يجب أن توجد في خليط تفاعل ليصل إلى حالة اتزان.

11. **احسب** قيمة  $K_{eq}$  عند درجة حرارة 400 K للتفاعل الآتي:



إذا علمت أن:

$$[PCl_5] = 0.135 \text{ mol/l}, [PCl_3] = 0.550 \text{ mol/l}, [Cl_2] = 0.550 \text{ mol/l}$$

12. **فسر البيانات** يوضح الجدول الآتي قيم ثابت الاتزان عند ثلاث درجات حرارة مختلفة. في أي منها يكون تركيز النواتج أكبر؟ فسر إجابتك.

ثابت الاتزان ودرجات الحرارة		
373 K	273 K	263 K
4.500	0.500	0.0250

## الأهداف

- تصف العوامل المتعددة التي تؤثر في الاتزان الكيميائي.
- تفسر كيف يطبق مبدأ لوتشاتلييه على أنظمة في حالة اتزان.

## مراجعة المفردات

**سرعة التفاعل:** التغير في تركيز متفاعل أو ناتج في وحدة الزمن. ويحسب عادةً بوحدة مول لكل لتر في الثانية.

## المفردات الجديدة

مبدأ لوتشاتلييه

## العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

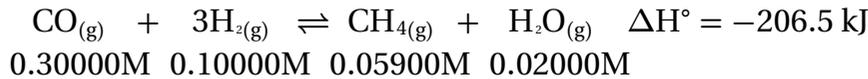
### Factors Affecting Chemical Equilibrium

**الفكرة الرئيسية** عندما تطرأ تغييرات على نظام متزن يزاح إلى موضع اتزان جديد.

**الربط مع الحياة** عندما يتساوى الطلب على منتج ما مع المعروض من هذا المنتج يبقى السعر ثابتاً. إذا زاد الطلب على المنتج فإن سعر المنتج سوف يزيد. ويصبح السعر ثابتاً مرة أخرى عندما يصل العرض والطلب إلى حالة اتزان. وهذا يشبه تصرف الأنظمة في حالة الاتزان.

### مبدأ لوتشاتلييه Le Châtelier's Principle

افترض أن غازي الهيدروجين وأول أكسيد الكربون من النواتج الجانبية لعملية صناعية. وأن الكيميائيين في الشركة يعتقدون أنه يمكن دمج الغازين لإنتاج وقود الميثان  $\text{CH}_4$ . فعند وضع كل من غاز أول أكسيد الكربون  $\text{CO}$  وغاز الهيدروجين  $\text{H}_2$  في وعاء مغلق عند درجة حراره  $1200\text{ K}$ ، يصل التفاعل الطارد للحرارة ( $\Delta H = -206.5\text{ kJ}$ ) إلى حالة الاتزان الاصلي



$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.05900)(0.02000)}{(0.30000)(0.10000)^3} = 3.933$$

ولأن تركيز الميثان  $0.0590\text{ mol/l}$  قليل جداً فإنه لا يمكن استعماله عملياً. فهل يمكن لعلماء الكيمياء التحكم في موضع الاتزان للحصول على كمية أكبر من الميثان؟ يشبه هذا عداءً ركض على آلة المشي، كما في الشكل 10-4، فإذا زاد العداء سرعة الآلة فإن عليه زيادة سرعته للعودة إلى حالة الاتزان.



**الشكل 10-4** يزيد العداء من سرعة آلة المشي تدريجياً. لذا، عليه عند كل زيادة أن يزيد سرعة ركضه ليحقق اتزانه على الآلة مرة أخرى. وبشكل مماثل يمكن لعالم الكيمياء تغيير ظروف التفاعل عند الاتزان لزيادة كمية النواتج.

أضف معلومات من هذا القسم إلى مطوبتك.

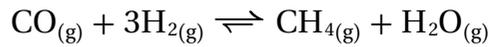
في عام 1888م اكتشف العالم الفرنسي هنري لويس لوتشاتلييه Le chatelier أن هناك طرائق للتحكم في الاتزان لجعل التفاعل أكثر إنتاجاً. وقد طرح ما يسمى الآن **مبدأ لوتشاتلييه**: إذا بُذل جهد على نظام في حالة اتزان فإن ذلك يؤدي إلى إزاحة النظام في اتجاهٍ يخفف أثر هذا الجهد. والجهد هو أي تغيير يؤثر في اتزان نظام معين.

## تطبيق مبدأ لوتشاتلييه Applying Le Châtelier's Principle

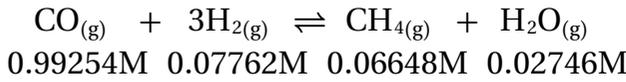
كيف يمكن للكيميائي الصناعي تطبيق مبدأ لوتشاتلييه لزيادة إنتاج الميثان؟ إنه يحتاج إلى تعديل أي من العوامل التي من شأنها أن تؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو النواتج في التفاعل.

**التغيير في التركيز** يؤثر تغيير تراكيز النواتج أو المتفاعلات في الاتزان؛ إذ تنص نظرية التصادم على أن الجسيمات يجب أن تصادم حتى تتفاعل، وأن عدد التصادمات بين جسيمات المواد المتفاعلة يعتمد على تركيزها. إذا من الممكن أن يغير الكيميائي الاتزان بتغيير التراكيز.

**إضافة مواد متفاعلة** إذا أُضيفت كمية من أول أكسيد الكربون إلى وعاء التفاعل وزادت تركيزه من 0.300M إلى 1.00M، فسيؤدي ذلك إلى زيادة عدد التصادمات الفعالة بين جزيئات غاز أول أكسيد الكربون CO وجزيئات غاز الهيدروجين H<sub>2</sub>، ويؤثر ذلك في اتزان التفاعل؛ إذ تزيد سرعة التفاعل الأمامي، كما هو موضح من السهم الأطول الذي يشير نحو اليمين في معادلة التفاعل.



مع الوقت، يبطئ التفاعل الأمامي مع انخفاض تركيز كل من CO و H<sub>2</sub>، وفي الوقت نفسه تزداد سرعة التفاعل العكسي، مع إنتاج المزيد من CH<sub>4</sub> و H<sub>2</sub>O، وفي النهاية يتحقق موضع اتزان جديد (موضع 2).



$$K_{eq} = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.06648)(0.02746)}{(0.99254)(0.07762)^3} = 3.933$$

لاحظ أن قيمة K<sub>eq</sub> لا تتغير، وأن موضع الاتزان الجديد حقق النتائج المرجوة، حيث زاد تركيز الميثان. تتلخص نتائج هذه التجربة في الجدول 2-4.

هل كان بإمكانك توقع هذه النتيجة باستعمال مبدأ لوتشاتلييه؟ نعم، يعتبر مبدأ لوتشاتلييه زيادة تركيز CO جهداً مبذولاً على الاتزان، فيستجيب نظام الاتزان لهذا الجهد باستهلاك CO بسرعة أكبر. وتسمى هذه الاستجابة، إزاحة نحو اليمين، وإنتاج المزيد من CH<sub>4</sub> و H<sub>2</sub>O. لذا تؤدي أي زيادة في تركيز أي من المتفاعلات إلى الإزاحة نحو اليمين وزيادة النواتج.

عند الاتزان للتفاعل $\text{CO}_{(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_{4(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}$					الجدول 2-4
K <sub>eq</sub>	[H <sub>2</sub> O] <sub>eq</sub> (M)	[CH <sub>4</sub> ] <sub>eq</sub> (M)	[H <sub>2</sub> ] <sub>eq</sub> (M)	[CO] <sub>eq</sub> (M)	موضع الاتزان
3.933	0.02000	0.05900	0.10000	0.30000	1
3.933	0.02746	0.06648	0.07762	0.99254	2



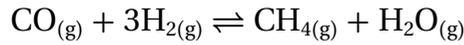
**الشكل 4-11** يعرف التاجر المواد الموجودة في متجره كل حين، ولذلك عندما يقل المخزون فإنه يعوّضه. فسر هذا التشبيه في ظل مبدأ لوتشاتلييه.

**إزالة النواتج** افترض أنه بدل زيادة أي من المتفاعلات قرر الكيميائي إزالة الماء  $H_2O$  الناتج عن التفاعل بإضافة مجفف - مادة تمتص الماء - إلى وعاء التفاعل. وفق مبدأ لوتشاتلييه ماذا يمكن أن يحدث للاتزان استجابة لنقصان تركيز الماء؟ سوف تتم إزاحة الاتزان نحو الاتجاه الذي يزيد من تركيز الماء مرة أخرى. هذا يعني إزاحة الاتزان نحو اليمين وتكوين المزيد من النواتج.

فكر كيف تبقى رفوف المتاجر مملوءة بالمنتجات، كما في الشكل 11-4. عندما يشتري الزبائن المواد فإن على أحد الموظفين تعويض تناقص المنتجات على الرفوف. وبشكل مشابه يعيد تفاعل الاتزان الماء الناقص؛ حيث يزيد إنتاج الماء. في أي نظام متزن تؤدي إزالة أي كمية من أي من النواتج إلى إزاحة الاتزان نحو الجهة اليمنى، وإنتاج المزيد من النواتج. **إضافة النواتج** يمكن أيضاً إزاحة موضع الاتزان نحو اليسار في اتجاه المتفاعلات؛ إذ يتوقع مبدأ لوتشاتلييه أنه إذا تمت إضافة أحد النواتج إلى تفاعل في حالة اتزان فإن ذلك يؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو اليسار، ومن ثم تخفيف الجهد بتحويل النواتج إلى متفاعلات. كما أنه إذا تم إزالة أحد المتفاعلات فسوف يحدث إزاحة مشابهة نحو الجهة اليسرى. لتتوقع أثر جهد ما على الاتزان باستعمال مبدأ لوتشاتلييه، إرجع إلى معادلة التفاعل، و يلخص الشكل 12-4 تأثير تغيير التراكيز في الاتزان.

✓ **ماذا قرأت؟ صف اتجاه الاتزان عند إزالة مادة متفاعلة.**

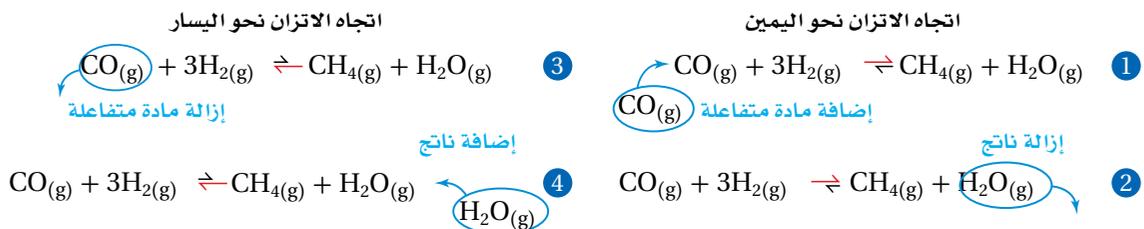
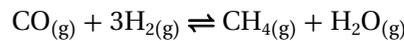
**التغيير في الحجم والضغط** انظر إلى تفاعل تكوين الميثان الموضح بالمعادلة الكيميائية:

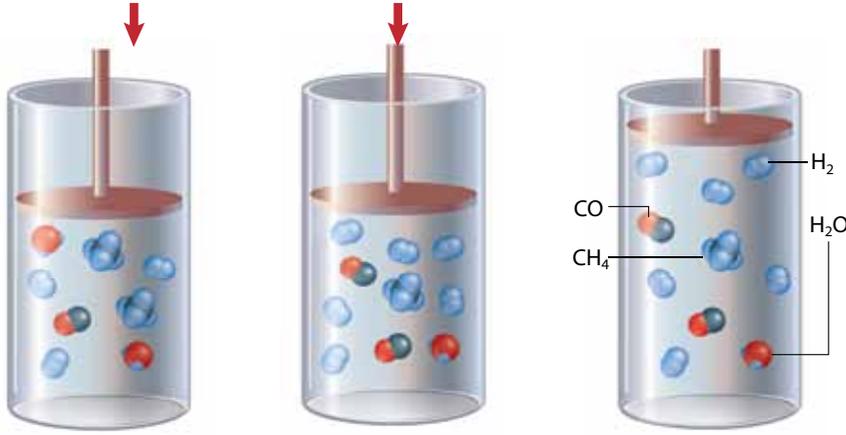


هل يمكن دفع التفاعل لتكوين المزيد من الميثان عن طريق تغيير حجم وعاء التفاعل؟ افترض أن حجم الوعاء يمكن تغييره عن طريق مكبس، كما هو موضح في الشكل 13-4، إذا تم تحريك المكبس إلى أسفل يقل حجم الوعاء. حيث إن تقليل الحجم عند درجة حرارة ثابتة يزيد الضغط. إذن يمثل هذا الضغط الزائد جهداً مبدولاً على التفاعل المتزن. كيف يستجيب الاتزان لهذا التغيير في الضغط؟ وكيف يخفف من هذا التغيير؟

**الشكل 4-12** تعمل إضافة أو إزالة إحدى النواتج أو إحدى المتفاعلات على إزاحة الاتزان نحو الاتجاه الذي يخفف الجهد. لاحظ الأسهم غير المتساوية التي تدل على اتجاه الإزاحة.

**صف** كيف يتم إزاحة الاتزان إذا تمت إضافة كمية من  $H_2$  أو تمت إزالة كمية من  $CH_4$ .





يتكون المزيد من جزيئات النواتج نتيجة ضغط المكبس إلى أسفل يقلل التفاعل بين  $H_2$  و  $CO$  في حالة اتزان حجم الوعاء ويزيد الضغط. يخفف من الجهد على النظام.

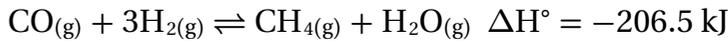
**الشكل 4-13** في التفاعل بين  $H_2$  و  $CO$  عند درجة حرارة ثابتة. فإن تغيير حجم الوعاء يغير تراكيز الغازات المتفاعلة والنواتج، كما تؤدي زيادة الضغط إلى إزاحة الاتزان نحو اليمين، ومن ثم زيادة كمية النواتج. **قارن** بين جزيئات الناتج في الصورة اليمنى وعددها في الجهة اليسرى.

يعتمد الضغط المبدول بواسطة الغاز المثالي على عدد جسيمات الغاز التي تصادم مع جدران الوعاء. كلما زاد عدد جسيمات الغاز في الوعاء ازداد الضغط. كما أنه إذا زاد عدد جسيمات الغاز في درجة حرارة ثابتة زاد ضغط الغاز، وإذا قل عدد جسيمات الغاز قل الضغط. كيف تطبق العلاقة بين عدد جسيمات الغاز والضغط على تفاعل تكوين غاز الميثان؟

**عدد مولات المتفاعلات مقابل عدد مولات النواتج** قارن بين عدد مولات المتفاعلات الغازية في المعادلة بعدد مولات النواتج الغازية. يتم استهلاك أربعة مولات من المتفاعلات الغازية لتكوين مولين من النواتج الغازية؛ حيث يقل العدد الكلي لمولين. إذا طبقت مبدأ لوتشاتيليه أمكنك ملاحظة أن الاتزان يخفف الجهد الواقع عليه من زيادة الضغط في الاتجاه نحو اليمين. يوضح الشكل 4-13 أن هذه الإزاحة تقلل عدد المولات الكلي للغاز، لذا يقل الضغط داخل وعاء التفاعل. رغم أن الإزاحة نحو اليمين لا تقلل الضغط إلى قيمته الأصلية، إلا أنها تعطي التأثير المطلوب، وهو تكوّن المزيد من الميثان.

يؤدي تغيير حجم (وضغط) نظام في حالة اتزان إلى إزاحة الاتزان فقط في حالة كان عدد مولات المتفاعلات الغازية تختلف عن عدد مولات النواتج الغازية. أما إذا تساوت أعداد مولات الغازات على طرفي المعادلة فإن تغيير الحجم والضغط لا يؤثران في الاتزان.

**تغيير درجة الحرارة** أي تغيير في درجات الحرارة يغير موضع وثابت الاتزان. تذكر أن معظم التفاعلات الكيميائية إما أنها ماصة للحرارة أو طاردة لها. فمثلاً يحظى تفاعل تكوين الميثان بـ  $\Delta H^\circ$  سالبة، وهذا يعني أن التفاعل الأمامي طارد للحرارة والتفاعل العكسي ماص للحرارة.



في هذه الحالة يمكن اعتبار الحرارة ناتجاً في التفاعل الأمامي ومتفاعلاً في التفاعل العكسي.

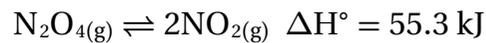




**الشكل 4-14** يزاح الاتزان في اتجاه التفاعل الماص للحرارة نحو اليمين، والذي من شأنه أن يزيد من إنتاج  $\text{NO}_2$  (بني غامق اللون)، بينما يصبح لون مزيج التفاعل أخف عند وضعه في حمام الماء البارد؛ لأن الاتزان يزاح في اتجاه التفاعل الطارد للحرارة نحو اليسار؛ إذ يزداد تحول  $\text{NO}_2$  إلى  $\text{N}_2\text{O}_4$  الذي لا لون له.

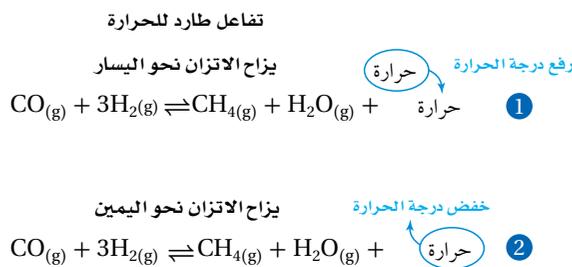
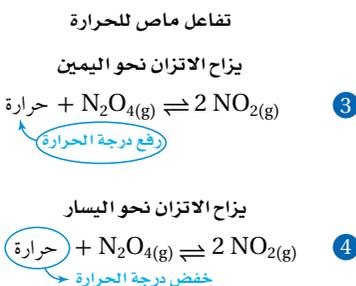
**الحرارة وموضع الاتزان** إذا أضيفت كمية من الحرارة إلى نظام متزن فإن الاتزان - وفقاً لمبدأ لو تشاتالييه - يتجه نحو الاتجاه الذي تستهلك فيه الحرارة. لذا يزاح الاتزان نحو اليسار، ويقلل من تركيز الميثان  $\text{CH}_4$ . أما خفض درجة الحرارة فيؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو اليمين؛ لأن التفاعل الطردى ينتج طاقة ويقلل من الجهد، لذا تنتج كمية أكبر من الميثان.

**درجة الحرارة و  $K_{eq}$**  ينتج عن أي تغيير في درجة الحرارة تغيير في  $K_{eq}$ ، وكلما زادت قيمة  $K_{eq}$  كان الناتج في خليط الاتزان أكبر. ولذلك فإنه في تفاعل إنتاج الميثان تزداد  $K_{eq}$  عندما تنخفض درجة الحرارة، وتنخفض قيمة  $K_{eq}$  عند ارتفاع درجة الحرارة. التحول بين رابع أكسيد ثنائي النيتروجين  $\text{N}_2\text{O}_4$  وثنائي أكسيد النيتروجين  $\text{NO}_2$  يستجيب للتغيرات في درجة الحرارة بشكل ملحوظ. ويمكن وصف هذا الاتزان الماص للحرارة في المعادلة الآتية:



$\text{N}_2\text{O}_4$  غاز لا لون له، و  $\text{NO}_2$  غاز لونه بني. يوضح الشكل 14-4 لون مزيج الاتزان، عندما يبرد في حمام ماء بارد يصبح لونه أخف مقارنة بلونه عندما يسخن المزيج في حمام ماء ساخن. عند إزالة الحرارة بالتبريد يزاح الاتزان نحو اليسار، وينتج المزيد من غاز لا لون له  $\text{N}_2\text{O}_4$ . أما عند إضافة الحرارة فيزاح الاتزان نحو اليمين وينتج المزيد من غاز  $\text{NO}_2$  ذي اللون البني. يوضح الشكل 15-4 تأثير التسخين والتبريد في التفاعلات التي درستها.

**العوامل الحفازة والاتزان** تختلف كمية النواتج المتكونة في التفاعل عند تغير التركيز أو الحجم أو الحرارة. هل يمكن للعامل المحفز أن يؤثر هو الآخر في تركيز النواتج؟ يعمل العامل المحفز على زيادة سرعة التفاعل بالتساوي في كلا الاتجاهين، ولهذا يصل التفاعل مع وجود العامل المحفز أسرع إلى حالة الاتزان، دون تغير كمية النواتج المتكونة.



**الشكل 4-15** عند رفع درجة حرارة التفاعل الطارد للحرارة بين  $\text{H}_2$  و  $\text{CO}$ ، يزاح الاتزان نحو اليسار (معادلة 1)، وتخفيض درجة الحرارة ينتج إزاحة الاتزان نحو اليمين (معادلة 2)، والعكس صحيح للتفاعل الماص للحرارة بين  $\text{NO}$  و  $\text{N}_2\text{O}_4$  (المعادلتين 3 و4).

## التغير في موضع الاتزان

كيف يعمل الاتزان على تعديل وضعه عند حدوث تغير في حالة الاتزان؟

6. ضع أنبوب الاختبار في حمام ماء بارد، ورش عليه بعض ملح المائدة، وسجل لون المحلول في أنبوب الاختبار.
7. ضع أنبوب الاختبار في حمام ماء ساخن، واستعمل الثرمومتر غير الزئبقي لقياس درجة الحرارة التي يجب أن تكون  $70^{\circ}\text{C}$  على الأقل، وسجل لون المحلول.

### الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. ضع حوالي 2 ml من محلول كلوريد الكوبلت  $\text{CoCl}_2 \text{ II}$  تركيزه 0.1M في أنبوب اختبار. سجل لون المحلول.
3. أضف حوالي 3 ml من حمض الهيدروكلوريك  $\text{HCl}$  المركز إلى أنبوب الاختبار، سجل لون المحلول. تحذير:  $\text{HCl}$  يحرق الجلد والملابس.
4. أضف كمية كافية من الماء إلى أنبوب الاختبار حتى يتغير لون المحلول. سجل اللون الناتج.
5. أضف قرابة 2 ml من محلول كلوريد الكوبلت  $\text{II}$  0.1M إلى أنبوب اختبار آخر. وأضف  $\text{HCl}$  المركز تدريجيًا (نقطة واحدة كل مرة) بحذر، إلى أن يتحول لون المحلول إلى البنفسجي. إذا أصبح لون المحلول أزرق فأضف الماء حتى يتحول إلى اللون الأرجواني.

### التحليل

1. فسر استعمل معادلة التفاعل أدناه لتفسير ملاحظتك حول اللون في الخطوات من 2-4.
- $$\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+} + 4\text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{CoCl}_4^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$$
- أزرق                      أرجواني
2. صف كيف يزاح الاتزان عند إضافة طاقة أو إزالتها؟
  3. استنتج من ملاحظتك حول اللون في الخطوات (6 و 7) ما إذا كان التفاعل ماصًا للحرارة أم طاردًا للحرارة؟

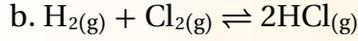
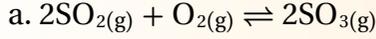
## التقويم 4-2

### الخلاصة

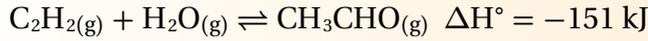
- مبدأ لوتشاتلييه يصف كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغيير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة إلى تغيير في التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان ولكن  $K_{eq}$  يبقى ثابتاً. والتغير في درجة الحرارة يغير الاثنين معاً: موضع الاتزان وقيمة  $K_{eq}$ .

**13. الفقرة الرئيسية** فسر كيف يستجيب النظام في حالة الاتزان إلى الجهد؟ واذكر العوامل التي تؤثر في نظام متزن.

**14. فسر** كيف يؤثر تقليل حجم وعاء التفاعل في كل نظام اتزان مما يأتي؟



**15. قرر** ما إذا كان رفع درجة الحرارة أو خفضها ينتج المزيد من  $\text{CH}_3\text{CHO}$  في معادلة الاتزان الآتية:



**16. وضح** يظهر الجدول تراكيز مادتين A و B في خليطي تفاعل، يتفاعلان حسب المعادلة  $2A \rightleftharpoons B$  و  $K_{eq} = 200$ . هل المزيجان عند موضعي اتزان مختلفين؟

التركيز mol/l		
[B]	[A]	تفاعل
0.0200	0.0100	1
0.400	0.0500	2

**17. صمم** خريطة مفاهيمية توضح طرائق تطبيق مبدأ لوتشاتلييه لزيادة النواتج في نظام اتزان وزيادة المتفاعلات في النظام نفسه.

## الأهداف

- تحديد تراكيز الاتزان للمتفاعلات والنواتج.
- تحسب ذوبانية مركب من ثابت حاصل الذوبانية.
- تفسر تأثير الأيون المشترك.

## مراجعة المفردات

**الذوبانية:** الكمية القصوى من المذاب التي تذوب في كمية من المذيب عند درجة حرارة وضغط محددين.

## المفردات الجديدة

ثابت حاصل الذوبانية  
الأيون المشترك  
تأثير الأيون المشترك

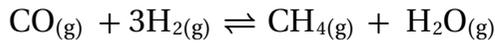
## استعمال ثوابت الاتزان Using Equilibrium Constants

**الفكرة الرئيسية** يمكن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حساب تراكيز المواد وذوبانيتها.

**الربط مع الحياة** لعلك جلست يوماً في المقعد الخلفي للسيارة الممتلئ بعدد من أصدقائك؟ أنت تدرك أن هناك حدًا لعدد الأشخاص الذين يستطيعون الجلوس في المقعد. تواجه المركبات الأيونية الحالة نفسها عند ذوبانها في المحلول.

### حساب التراكيز عند الاتزان Calculating Equilibrium Concentrations

كيف يمكن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حساب تركيز ناتج ما إذا كانت قيمة ثابت الاتزان  $K_{eq}$  لتفاعل تكون غاز الميثان  $CH_4$  من تفاعل غاز الهيدروجين  $H_2$  مع غاز أول أكسيد الكربون  $CO$  تساوي 3.933 عند درجة حرارة 1200 K؟ يمكنك حساب تركيز الميثان  $CH_4$  إذا كانت تراكيز  $H_2O$  و  $CO$  و  $H_2$  معروفة.



$$0.850 \text{ M} \quad 1.333 \text{ M} \quad ? \text{ M} \quad 0.286 \text{ M}$$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3}$$

للحصول على  $[CH_4]$  اضرب طرفي المعادلة في  $[CO][H_2]^3$  واقسم الطرفين على  $[H_2O]$

$$[CH_4] = K_{eq} \times \frac{[CO][H_2]^3}{[H_2O]}$$

عوض التراكيز المعروفة وقيمة 3.933  $K_{eq}$

$$[CH_4] = 3.933 \times \frac{(0.850)(1.333)^3}{(0.286)} = 27.7 \text{ mol/l}$$

هل هذه الكمية الناتجة 27.7 mol/l عملية بحيث يمكن تحويل المتبقي من  $CO$  و  $H_2$  إلى ميثان؟ هذا يعتمد على تكلفة الميثان. يوضح الشكل 4-16 عبارة تنقل الغاز الطبيعي إلى الموانئ حول العالم.



**الشكل 4-16** تحمل ناقلات النفط كميات كبيرة من الغاز الطبيعي حول العالم لسد الاحتياجات الصناعية والمنزلية. يستعمل الغاز الطبيعي (الميثان) للتدفئة والطبخ.

**حساب تراكيز الاتزان** يتفكك كبريتيد الهيدروجين الذي يتميز برائحة كريهة تشبه رائحة البيض الفاسد عند 1405 K إلى هيدروجين وجزيء كبريت حسب المعادلة الآتية:  $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}_2(\text{g})$

ما تركيز غاز الهيدروجين عند الاتزان إذا كان ثابت الاتزان يساوي  $2.27 \times 10^{-3}$  وتركيز  $[\text{H}_2\text{S}] = 0.184 \text{ mol/l}$  و  $[\text{S}_2] = 0.0540 \text{ mol/l}$ ؟

### 1 تحليل المسألة

لقد أعطيت قيمة ثابت الاتزان  $K_{\text{eq}}$  وتركيزي مادتين من ثلاثة، لذا تستطيع حل معادلة الاتزان وحساب  $[\text{H}_2]$ . ولأن قيمة  $K_{\text{eq}}$  أقل من واحد؛ فإن هناك تفاعلات أكثر من النواتج في خليط الاتزان. لذا تستطيع أن تتوقع أن يكون  $[\text{H}_2]$  أقل من  $0.184 \text{ mol/l}$ ، وهو تركيز المتفاعل  $\text{H}_2\text{S}$ .

#### المعطيات

$$K_{\text{eq}} = 2.27 \times 10^{-3}$$

$$[\text{S}_2] = 0.0540 \text{ mol/l}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] = 0.184 \text{ mol/l}$$

#### المطلوب

$$[\text{H}_2] = ? \text{ mol/l}$$

### 2 حساب المطلوب

ضع تعبير ثابت الاتزان

حل المسألة لإيجاد  $[\text{H}_2]$

اضرب الطرفين في  $[\text{H}_2\text{S}]^2$  ثم اقسهما على  $[\text{S}_2]$

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{H}_2]^2[\text{S}_2]}{[\text{H}_2\text{S}]^2}$$

$$[\text{H}_2]^2 = K_{\text{eq}} \times \frac{[\text{H}_2\text{S}]^2}{[\text{S}_2]}$$

$$[\text{H}_2] = \sqrt{K_{\text{eq}} \times \frac{[\text{H}_2\text{S}]^2}{[\text{S}_2]}}$$

$$[\text{H}_2] = \sqrt{(2.27 \times 10^{-3}) \times \frac{(0.184)^2}{(0.0540)}}$$

$$[\text{H}_2] = 0.0377 \text{ mol/l}$$

أوجد الجذر التربيعي

عوض  $[\text{H}_2\text{S}] = 0.184 \text{ mol/l}$  و  $K_{\text{eq}} = 2.27 \times 10^{-3}$

$[\text{S}_2] = 0.0540 \text{ mol/l}$

اضرب واقسم

تركيز الاتزان لـ  $\text{H}_2$  هو  $0.0377 \text{ mol/l}$

### 3 تقويم الإجابة

الإجابة صحيحة، وكما هو متوقع تركيز  $\text{H}_2$  عند الاتزان أقل من  $0.184 \text{ mol/l}$

#### مسائل تدريبية

18. ينتج الميثانول عن تفاعل أول أكسيد الكربون مع الهيدروجين:  $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ ، فإذا كان  $K_{\text{eq}} = 10.5$  عند درجة حرارة محددة، فاحسب التراكيز الآتية:

a.  $[\text{CO}]$  في خليط اتزان يحتوي على  $\text{H}_2$   $0.933 \text{ mol/l}$  و  $\text{CH}_3\text{OH}$   $1.32 \text{ mol/l}$

b.  $[\text{H}_2]$  في خليط اتزان يحتوي على  $\text{CO}$   $1.09 \text{ mol/l}$  و  $\text{CH}_3\text{OH}$   $0.325 \text{ mol/l}$

c.  $[\text{CH}_3\text{OH}]$  في خليط اتزان يحتوي على  $\text{H}_2$   $0.0661 \text{ mol/l}$  و  $\text{CO}$   $3.85 \text{ mol/l}$

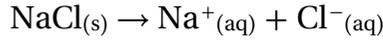
19. تحدّد في التفاعل العام  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$  إذا سُمح لـ  $1.0 \text{ mol/l}$  من A بالتفاعل مع  $1.0 \text{ mol/l}$  من B في دورق حجمه  $1 \text{ L}$  إلى أن يصل إلى حالة اتزان. فإذا كان تركيز A عند الاتزان  $0.450 \text{ mol/l}$ ، فما تراكيز المواد الأخرى عند الاتزان؟ وما قيمة  $K_{\text{eq}}$ ؟



**الشكل 4-17** المياه في البحيرات الكبيرة المالحة أكثر ملوحة من مياه البحر. ويزيد التركيز العالي للملح من كثافة الماء بشكل كافٍ يسمح للناس بالطفو على سطحها.

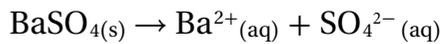
## ثابت حاصل الذوبانية The Solubility Product Constant

بعض المركبات الأيونية - ومنها كلوريد الصوديوم - يذوب بسرعة في الماء وبعضها الآخر - ومنها كبريتات الباريوم  $BaSO_4$  - يذوب قليلاً في الماء. عند الذوبان تتفكك جميع المركبات الأيونية إلى أيونات.

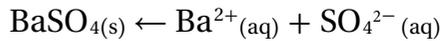


**الربط مع علم الأرض** بسبب الذوبانية العالية لكلوريد الصوديوم  $NaCl$ ، تحتوي المحيطات وبعض البحيرات على كميات كبيرة من الملح. يوضح الشكل 4-17 كمية كبيرة من ملح الطعام نتجت عن جفاف مياه إحدى البحيرات. في بعض الأحيان تكون الذوبانية المنخفضة مهمة أيضاً؛ فرغم أن أيونات الباريوم مادة سامة للإنسان إلا أنه يجب أن يشرب المرضى كبريتات الباريوم قبل التعرض للأشعة السينية لأخذ صور للجهاز الهضمي. هل يمكن أن يشرب المريض  $BaSO_4$  بشكل آمن؟

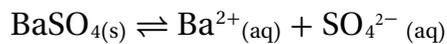
تتفكك كبريتات الباريوم في الماء وفقاً للمعادلة الآتية:



وحيث تتكون الأيونات الناتجة يبدأ التفاعل العكسي.



ومع الوقت يصل التفاعل إلى حالة الاتزان



تكون سرعة الذوبان للمركبات القليلة الذوبان - ومنها  $BaSO_4$  - متساوية عندما تكون تراكيز الأيونات صغيرة إلى أقصى حد. ومع ذلك يكون المحلول عند الاتزان محلولاً مشبعاً.

**كتابة تعبير ثابت حاصل الذوبانية** يسمى تعبير ثابت الاتزان للمركبات القليلة الذوبان "ثابت حاصل الذوبانية"، وهو ناتج ضرب تراكيز الأيونات الذائبة كل منها مرفوع لأس يساوي معاملها في المعادلة الكيميائية. إن تركيز المادة النقية يعبر عن



#### الشكل 4-18 هناك احتمال

أفضل للتشخيص عند التعرض للأشعة السينية في منطقة المعدة عند شرب المريض خليطاً كثيفاً يحتوي على كبريتات الباريوم، وهي مادة سامة. ولكن لأن ذوبانيتها قليلة فكمية قليلة منها يمكن أن تذوب في جسم المريض دون أي ضرر.

كثافتها بوحدة mol/l، ويكون ثابتاً عند درجة حرارة محددة. ولذلك يتم حذف المواد الصلبة والسوائل النقية في الاتزان غير المتجانس من تعابير ثوابت الاتزان. والآن تستطيع كتابة تعبير ثابت حاصل الذوبانية لكبريتات الباريوم الذائبة في الماء، إذا كان  $K_{sp}$  لهذه العملية  $1.1 \times 10^{-10}$  عند درجة حرارة 298 K.

$$K_{sp} = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}] = 1.1 \times 10^{-10}$$

يدل مقدار قيمة  $K_{sp}$  الصغير لـ  $BaSO_4$  على أن النواتج لا تزداد تراكيزها عند الاتزان؛ إذ تركز أيونات الباريوم عند الاتزان  $1.0 \times 10^{-5} M$ ، مما يمكن المريض من تناول محلول كبريتات الباريوم بأمان، انظر الشكل 4-18. وعلى سبيل المثال أيضاً، ثابت حاصل الذوبانية لمضاد الحموضة هيدروكسيد الماغنيسيوم  $Mg(OH)_2$ :



$$K_{sp} = [Mg^{2+}][OH^{-}]^2$$

تعتمد قيمة  $K_{sp}$  فقط على تراكيز الأيونات في المحلول المشبع. إلا أن بعض المواد الصلبة غير الذائبة مهما بلغ قلة كميتها يجب أن تكون موجودة في خليط الاتزان. يعرض الجدول 3-4 ثوابت حاصل الذوبانية لنواتج بعض المركبات الأيونية. لاحظ أن جميعها أرقام صغيرة. لذا تقاس ثوابت حاصل الذوبانية للنواتج وتسجل للمركبات القليلة الذوبان فقط.

**استعمال ثابت حاصل الذوبانية** تم تحديد ثابت حاصل الذوبانية للنواتج الموجودة في الجدول 3-4 عن طريق إجراء تجارب. وتعد قيم  $K_{sp}$  مهمة؛ لأنه يمكن استعمالها في تحديد ذوبانية المركبات القليلة الذوبان. تذكر أن ذوبانية مركب ما في الماء تعني كمية المادة التي تتفكك في حجم معين من الماء عند درجة حرارة معينة.

افترض أنك تريد حساب ذوبانية يوديد الفضة  $AgI$  بوحدة mol/l عند 298 K، إذا عرفت أن معادلة الاتزان وصيغة ثابت حاصل الذوبانية هما:



$$K_{sp} = [Ag^{+}][I^{-}] = 8.5 \times 10^{-17} \quad 298 K$$

يمكن الإشارة إلى ذوبانية يوديد الفضة  $AgI$  بـ  $s$ ، وهي عدد مولات  $AgI$  التي تذوب في 1L من المحلول. وبالنظر إلى معادلة الاتزان نجد أنه لكل مول من  $AgI$  يذوب عدد مساو من المولات من أيونات  $Ag^{+}$  التي تتكون في المحلول. لذا  $[Ag^{+}]$  يساوي  $s$ . وكل أيون  $Ag^{+}$  له أيون مصاحب  $I^{-}$ ، لذا  $[I^{-}]$  يساوي  $s$ .

عند التعويض بـ  $s$  بدلاً من  $[Ag^{+}]$  و  $[I^{-}]$ ، تصبح صيغة  $K_{sp}$  كالآتي:

$$[Ag^{+}][I^{-}] = (s)(s) = s^2 = 8.5 \times 10^{-17}$$

$$s = \sqrt{8.5 \times 10^{-17}} = 9.2 \times 10^{-9} \text{ mol/l}$$

ذوبانية  $AgI$  هي  $9.2 \times 10^{-9} \text{ mol/l}$  عند 298 K.

K <sub>sp</sub>	المركب	K <sub>sp</sub>	المركب	K <sub>sp</sub>	المركب
الهيدروكسيدات		الهلالات		الكربونات	
$4.6 \times 10^{-33}$	Al(OH) <sub>3</sub>	$3.5 \times 10^{-11}$	CaF <sub>2</sub>	$2.6 \times 10^{-9}$	BaCO <sub>3</sub>
$5.0 \times 10^{-6}$	Ca(OH) <sub>2</sub>	$6.6 \times 10^{-6}$	PbBr <sub>2</sub>	$3.4 \times 10^{-9}$	CaCO <sub>3</sub>
$2.2 \times 10^{-20}$	Cu(OH) <sub>2</sub>	$1.7 \times 10^{-5}$	PbCl <sub>2</sub>	$2.5 \times 10^{-10}$	CuCO <sub>3</sub>
$4.9 \times 10^{-17}$	Fe(OH) <sub>3</sub>	$3.3 \times 10^{-8}$	PbF <sub>2</sub>	$7.4 \times 10^{-14}$	PbCO <sub>3</sub>
$2.8 \times 10^{-39}$	Fe(OH) <sub>3</sub>	$9.8 \times 10^{-9}$	PbI <sub>2</sub>	$6.8 \times 10^{-6}$	MgCO <sub>3</sub>
$5.6 \times 10^{-12}$	Mg(OH) <sub>2</sub>	$1.8 \times 10^{-10}$	AgCl	$8.5 \times 10^{-12}$	Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
$3 \times 10^{-17}$	Zn(OH) <sub>2</sub>	$5.4 \times 10^{-13}$	AgBr	$1.5 \times 10^{-10}$	ZnCO <sub>3</sub>
الكبريتات		$8.5 \times 10^{-17}$	AgI	$3.6 \times 10^{-17}$	Hg <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
$1.1 \times 10^{-10}$	BaSO <sub>4</sub>	الفوسفات		الكرومات	
$4.9 \times 10^{-5}$	CaSO <sub>4</sub>	$9.8 \times 10^{-21}$	AlPO <sub>4</sub>	$1.2 \times 10^{-10}$	BaCrO <sub>4</sub>
$2.5 \times 10^{-8}$	PbSO <sub>4</sub>	$2.1 \times 10^{-33}$	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$2.3 \times 10^{-13}$	PbCrO <sub>4</sub>
$1.2 \times 10^{-5}$	Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$1.0 \times 10^{-24}$	Mg <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1.1 \times 10^{-12}$	Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>

## مثال 4-5

حساب الذوبانية المولارية استعمال قيمة K<sub>sp</sub> في الجدول 3-4 لحساب ذوبانية كربونات النحاس CuCO<sub>3</sub> II بوحدة mol/l عند 298 K.

## 1 تحليل المسألة

لقد أعطيت ثابت حاصل الذوبانية لـ CuCO<sub>3</sub>. تمثل تراكيز أيون النحاس وأيون الكربونات علاقة واحد - إلى واحد مع الذوبانية المولارية لـ CuCO<sub>3</sub>. استعمال s لتمثيل الذوبانية لـ CuCO<sub>3</sub>، ثم استعمال صيغة ثابت حاصل الذوبانية لإيجاد الذوبانية. ولأن K<sub>sp</sub> في صورة 10<sup>-10</sup>، لذا يمكنك توقع أن تكون الذوبانية المولارية تساوي الجذر التربيعي لـ K<sub>sp</sub> أو حوالي 10<sup>-5</sup>.

## المعطيات

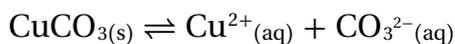
$$K_{sp} = \text{CuCO}_3 = 2.5 \times 10^{-10}$$

## المطلوب

$$s = ? \text{ mol/l}$$

## 2 حساب المطلوب

ضع معادلة كيميائية لاتزان الذوبانية.



ضع صيغة ثابت حاصل الذوبانية.

$$K_{sp} = [\text{Cu}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = 2.5 \times 10^{-10}$$

اربط [Cu<sup>2+</sup>] و [CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>] بـ CuCO<sub>3</sub> بـ ذوبانية

$$s = [\text{Cu}^{2+}] = [\text{CO}_3^{2-}]$$

عوض s بدلاً من [Cu<sup>2+</sup>] و [CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>]

$$(s)(s) = s^2 = 2.5 \times 10^{-10}$$

حل لإيجاد s واحسب الإجابة

$$s = \sqrt{2.5 \times 10^{-10}} = 1.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

## 3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع، الذوبانية المولارية لـ CuCO<sub>3</sub> حوالي 10<sup>-5</sup> mol/l

20. استعمل البيانات في الجدول 3-4 لحساب الذوبانية المولارية mol/l للمركبات الأيونية الآتية عند درجة حرارة 298 K.
- a.  $PbCrO_4$  . b.  $AgCl$  . c.  $CaCO_3$
21. تحدد إذا علمت أن  $K_{sp}$  لكربونات الرصاص  $PbCO_3$  يساوي  $7.40 \times 10^{-14}$  عند 298 K، فما ذوبانية كربونات الرصاص g/l؟

## مثال 4-6

**حساب تركيز الأيون هيدروكسيد الماغنسيوم** مادة صلبة بيضاء يمكن الحصول عليها من مياه البحر واستعمالها في صنع الكثير من الأدوية الطبية. وخصوصاً في الأدوية التي تعمل على معادلة حموضة المعدة الزائدة. احسب تركيز أيون الهيدروكسيد في محلول هيدروكسيد الماغنسيوم المشبع  $Mg(OH)_2$  عند 298 K إذا علمت أن  $K_{sp} = 5.6 \times 10^{-12}$ .

## 1 تحليل المسألة

لقد أعطيت  $K_{sp}$  لـ  $Mg(OH)_2$ ، عدد مولات أيونات  $Mg^{2+}$  في المحلول تساوي عدد مولات  $Mg(OH)_2$  الذائبة. ولكن عدد مولات أيونات  $OH^-$  في المحلول تساوي ضعفي عدد مولات  $Mg(OH)_2$  الذائبة. يمكنك استعمال هذه العلاقات لكتابة صيغة ثابت حاصل الذوبانية في صورة متغير واحد. ولأن صيغة ثابت حاصل الذوبانية معادلة تكعيبية، يمكنك توقع أن  $[OH^-]$  تساوي تقريباً الجذر التكعيبي لـ  $10^{-12}$  أو حوالي  $10^{-4}$ .

## المعطيات

$$K_{sp} = 5.6 \times 10^{-12}$$

## المطلوب

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

## 2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كيميائية موزونة للاتزان



$$K_{sp} = [Mg^{2+}][OH^-]^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

ضع تعبير  $K_{sp}$

لتكن  $x = [Mg^{2+}]$  ولأن هناك أيونين  $OH^-$  لكل أيون  $Mg^{2+}$  فإن  $2x = [OH^-]$

$$(x)(2x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

عوض عن  $[OH^-] = 2x = [Mg^{2+}]$

$$(x)(4)(x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

ربع الحدود

$$4x^3 = 5.6 \times 10^{-12}$$

اجمع الحدود

$$x^3 = \frac{5.6 \times 10^{-12}}{4} = 1.4 \times 10^{-12}$$

اقسم

$$x = [Mg^{2+}] = \sqrt[3]{1.4 \times 10^{-12}} = 1.1 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$$

استعمل الآلة الحاسبة لإيجاد الجذر التكعيبي

اضرب  $[Mg^{2+}]$  في 2 للحصول على  $[OH^-]$

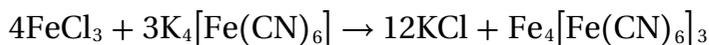
$$[OH^-] = 2[Mg^{2+}] = 2(1.1 \times 10^{-4} \text{ mol/l}) = 2.2 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$$

## 3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع  $[OH^-]$  حوالي  $10^{-4} \text{ mol/l}$

22. استعمل قيم  $K_{sp}$  الموجودة في الجدول 3-4 لحساب:
- a.  $[Ag^+]$  في محلول  $AgBr$  عند الاتزان. b.  $[F^-]$  في محلول مشبع من  $CaF_2$  . c.  $[Ag^+]$  في محلول من  $Ag_2CrO_4$  عند الاتزان.
23. احسب ذوبانية  $Ag_3PO_4$ .
24. تحدد ذوبانية كلوريد الفضة  $AgCl$  في الماء عند درجة حرارة 298 K. احسب  $K_{sp}$  لـ  $AgCl$ .

**توقع الرواسب** إذا تم خلط أحجام متساوية من محاليل مائية تركيز كل منها 0.10M من كلوريد الحديد III  $FeCl_3$  مثلاً، وسداسي سيانو حديد II البوتاسيوم  $K_4 [Fe(CN)_6]$  يتكون راسب، كما هو مبين في الشكل 19-4. ربما يحدث تفاعل الإحلال المزدوج الآتي:



يمكنك أن تستعمل  $K_{sp}$  لتتوقع ما إذا سيتكوّن راسب عند خلط أي محلولين أيونيين. في التفاعل السابق، يمكن أن يتكون راسب في حال أن الناتج  $KCl$  أو  $Fe_4 [Fe(CN)_6]_3$  له ذوبانية قليلة. تعرف أن  $KCl$  مركب ذائب، لذا لا يمكنه أن يترسب. ولكن  $K_{sp}$  لـ  $Fe_4 [Fe(CN)_6]_3$  يكون رقماً صغيراً جداً وهو  $3.3 \times 10^{-41}$ ، وهو ما قد يجعل  $Fe_4 [Fe(CN)_6]_3$  يترسب إذا كانت تراكيز أيوناته كبيرة بشكل كافٍ. ماذا نعني بكبيرة بشكل كافٍ؟ من الممكن أن يحدث اتزان ما بين الراسب الصلب  $Fe_4 [Fe(CN)_6]_3$  وأيوناته في المحلول، كما هو مبين في المعادلة:



فعند خلط محاليل  $FeCl_3$  و  $Fe_4 [Fe(CN)_6]_3$ ، وإذا كانت تراكيز أيونات  $Fe^{3+}$  و  $Fe(CN)_6^{4-}$  أكبر من تراكيزها الناتجة في المحلول المشبع لـ  $Fe_4 [Fe(CN)_6]_3$  فسيزاح في هذه الحالة الاتزان نحو اليسار، وسوف يترسب  $Fe_4 [Fe(CN)_6]_3$ . ولتوقع تكوّن راسب عند خلط محلولين عليك أولاً أن تحسب تراكيز الأيونات.

**ماذا قرأت؟** وضع الظروف التي تتمكنك من توقع تكون راسب.

**حساب تراكيز الأيون** يوضح الجدول 4-4 تراكيز أيونات المتفاعلات والنواتج في المحاليل الأصلية  $0.10M FeCl_3$  و  $0.10M K_4 Fe(CN)_6$ ، وأيضاً في الخليط فور خلط المحلولين بحجوم متساوية. لاحظ أن  $[Cl^-]$  أكبر ثلاث مرات من  $[Fe^{3+}]$ ؛ لأن نسبة  $Cl^-$  إلى  $Fe^{3+}$  في  $FeCl_3$  هي 1:3. ولاحظ أيضاً أن  $[K^+]$  أكبر أربع مرات من  $[Fe(CN)_6^{4-}]$ ؛ لأن نسبة  $K^+$  إلى  $Fe(CN)_6^{4-}$  تساوي 1:4. لاحظ أن تركيز كل أيون في الخليط هو نصف تركيزه الأصلي؛ لأنه عند خلط حجمين متساويين من محلولين فإن عدد الأيونات نفسه سوف يذوب في ضعف الحجم الأصلي؛ لذلك يقل التركيز بمقدار النصف.

والآن بإمكانك استعمال البيانات الموجودة في الجدول لتحاول معرفة ما إذا كانت تراكيز  $Fe^{3+}$  و  $Fe(CN)_6^{4-}$  في محلول خليط من كليهما تفوق قيمة  $K_{sp}$  عند تعويضهما في تعبير ثابت ذوبانية الناتج.  $K_{sp} = [Fe^{3+}]^4 [Fe(CN)_6^{4-}]^3$ .

الجدول 4-4	تراكيز الأيونات
المحلول الأصلي mol/l	الخليط mol/l
$[Fe^{3+}] = 0.10$	$[Fe^{3+}] = 0.050$
$[Cl^-] = 0.30$	$[Cl^-] = 0.15$
$[K^+] = 0.40$	$[K^+] = 0.20$
$[Fe(CN)_6^{4-}] = 0.10$	$[Fe(CN)_6^{4-}] = 0.050$

**الشكل 19-4** ولأن ثابت الأيون الناتج  $Q_{sp}$  أكبر من  $K_{sp}$  يمكنك أن تتوقع أن  $Fe_4 [Fe(CN)_6]_3$  سيكون راسباً.



تذكر أنك لم تحدد ما إذا كان المحلول مشبعاً أم لا، لذا فإن ناتج عملية التعويض لا يكون بالضرورة ثابت حاصل الذوبانية الناتج، ولكنه يسمى الحاصل الأيوني  $Q_{sp}$ ، وهو قيمة مجرّبة نستطيع مقارنتها بـ  $K_{sp}$

$$Q_{sp} = [Fe^{3+}]^4 [Fe(CN)_6^{4-}]^3 = (0.050)^4 (0.050)^3 = 7.8 \times 10^{-10}$$

يمكنك الآن مقارنة  $Q_{sp}$  بـ  $K_{sp}$ . ومن هذه المقارنة يمكن أن نستنتج إحدى ثلاثة أمور:  $Q_{sp}$  أقل من  $K_{sp}$ ، أو مساوٍ لـ  $K_{sp}$ ، أو أكبر من  $K_{sp}$ .

1. إذا كان  $Q_{sp} < K_{sp}$  فإن المحلول غير مشبع، ولا يتكون راسب.

2. إذا كان  $Q_{sp} = K_{sp}$  فإن المحلول مشبع، ولا يحدث تغير.

3. إذا كان  $Q_{sp} > K_{sp}$ ، فسوف يتكون راسب، وتقل تراكيز الأيونات في المحلول حتى يصبح ناتج ضرب تراكيز الأيونات في تعبير  $K_{sp}$  يساوي القيمة العددية لـ  $K_{sp}$ . ويكون النظام في حالة اتزان، والمحلول مشبعاً.

في حالة الاتزان لـ  $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ ، يكون  $Q_{sp} = 7.8 \times 10^{-10}$  أكبر من  $K_{sp}$  الذي يساوي  $3.3 \times 10^{-41}$ ، فيتكون راسب أزرق غامق اللون، هو  $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ ، كما هو موضح في الشكل 19-4.

#### مثال 4-7

توقع تكون راسب توقع ما إذا كان سيتكون راسب  $PbCl_2$  عند إضافة 100 ml من 0.0100 M NaCl إلى 100 ml من 0.0200 M  $Pb(NO_3)_2$  علماً بأن  $k_{sp}$  للمركب يساوي  $1.7 \times 10^{-5}$ .

#### 1 تحليل المسألة

لقد أعطيت حجمين متساويين من محلولين تركيزاهما معلومان. تسمح لك التراكيز الأولية للمحاليل بحساب تراكيز أيونات  $Pb^{2+}$  و  $Cl^-$  في المحلول الناتج عن خلطهما.

#### المعطيات

100 ml من 0.0100 M NaCl

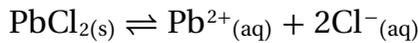
100 ml من 0.0200 M  $Pb(NO_3)_2$

$$K_{sp} = 1.7 \times 10^{-5}$$

#### المطلوب

$$Q_{sp} > K_{sp}?$$

#### 2 حساب المطلوب



$$Q_{sp} = [Pb^{2+}][Cl^-]^2$$

$$[Pb^{2+}] = \frac{0.0200M}{2} = 0.0100M$$

$$[Cl^-] = \frac{0.0100M}{2} = 0.00500M$$

$$Q_{sp} = (0.0100)(0.00500)^2 = 2.5 \times 10^{-7}$$

$$Q_{sp} (2.5 \times 10^{-7}) < K_{sp} (1.7 \times 10^{-5})$$

ضع معادلة ذوبان  $PbCl_2$

ضع صيغة  $Q_{sp}$

مزج المحاليل يخفف تركيزها إلى النصف.

اقسم  $[Pb^{2+}]$  على 2

اقسم  $[Cl^-]$  على 2

عوض عن  $[Pb^{2+}] = 0.0100M$ ،  $[Cl^-] = 0.00500M$

قارن  $Q_{sp}$  بـ  $K_{sp}$

لذا لا يتكون الراسب

#### 3 تقويم الإجابة

$Q_{sp}$  أقل من  $K_{sp}$ . الأيونات  $Cl^-$  و  $Pb^{2+}$  لا توجد بتراكيز عالية بقدر كافٍ في المحلول لتكون راسب.

25. استعمل قيم  $K_{sp}$  من الجدول 3-4 لتتوقع ما إذا سيتكون راسب عند خلط كميات متساوية من المحاليل الآتية:

a.  $0.10M Pb(NO_3)_2$  و  $0.030M NaF$

b.  $0.25M K_2SO_4$  و  $0.010M AgNO_3$

26. تحدّد هل يتكون راسب عند إضافة  $250 ml$  من  $0.20 M MgCl_2$  إلى  $750 ml$  من  $0.0025 M NaOH$  ؟

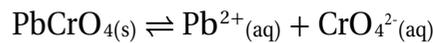
### تأثير الأيون المشترك The Common Ion Effect

ذوبانية كرومات الرصاص  $PbCrO_4$  في الماء تساوي  $4.8 \times 10^{-7} mol/l$  عند درجة الحرارة  $298 k$ . وهذا يعني أنك تستطيع تفكيك وإذابة  $4.8 \times 10^{-7} mol$  من  $PbCrO_4$  في  $1.00 L$  من الماء النقي.

ولكنك لا تستطيع إذابة  $4.8 \times 10^{-7} mol$  من  $PbCrO_4$  عند درجة الحرارة نفسها في  $1.00L$  من محلول كرومات البوتاسيوم  $K_2CrO_4$  الذي تركيزه  $0.10M$ .

لماذا يعد  $PbCrO_4$  أقل ذوبانية في المحلول المائي لـ  $K_2CrO_4$  من الماء النقي؟

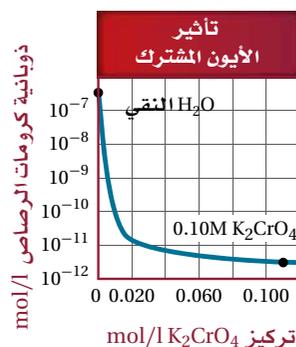
معادلة اتزان الذوبانية لـ  $PbCrO_4$ ، وتعبير ثابت حاصل الذوبانية:



$$K_{sp} = [Pb^{2+}][CrO_4^{2-}] = 2.3 \times 10^{-13}$$

تذكر أن  $K_{sp}$  ثابت عند أي درجة حرارة معطاة، لذا إذا ازداد تركيز  $Pb^{2+}$  أو تركيز  $CrO_4^{2-}$  في نظام متزن فإن تركيز الأيون الآخر سوف يقل؛ لأن ناتج ضرب تراكيز الأيونين يساوي دائماً  $K_{sp}$ . فمحلول  $K_2CrO_4$  يحتوي على أيونات  $CrO_4^{2-}$  قبل أن تتم إذابة  $PbCrO_4$ . وفي هذا المثال أيون  $CrO_4^{2-}$  يسمى أيوناً مشتركاً؛ لأنه جزء من المركبين  $K_2CrO_4$  و  $PbCrO_4$ .

يوضح الشكل 20-4 أثر الأيون المشترك  $CrO_4^{2-}$  في ذوبانية  $PbCrO_4$ . الأيون المشترك هو أيون مشترك بين اثنين أو أكثر من المركبات الأيونية. ويسمى انخفاض ذوبانية المادة بسبب وجود أيون مشترك تأثير الأيون المشترك.



$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O النقي} : [Pb^{2+}] &= 4.8 \times 10^{-7} \text{ mol/l} \\ [CrO_4^{2-}] &= 4.8 \times 10^{-7} \text{ mol/l} \\ 0.10M K_2CrO_4 : [Pb^{2+}] &= 2.3 \times 10^{-12} \text{ mol/l} \\ [CrO_4^{2-}] &= 1.00 \times 10^{-1} \text{ mol/l} \end{aligned}$$

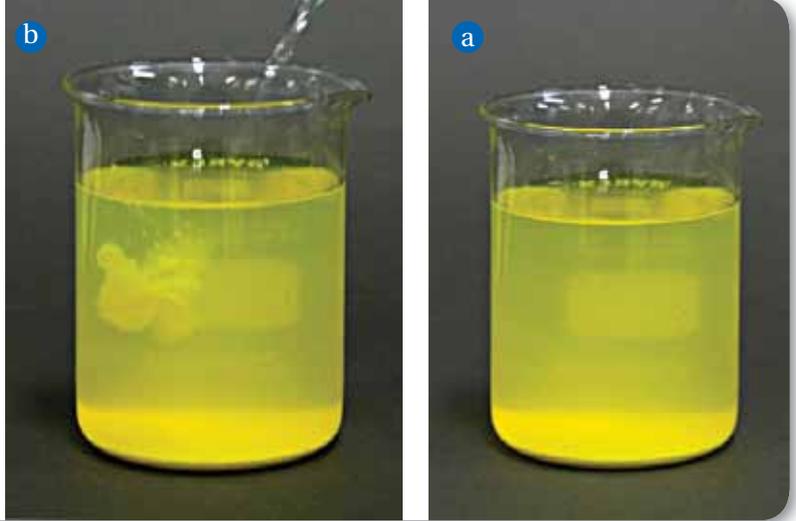
الشكل 20-4 تقل ذوبانية كرومات

الرصاص كلما زاد تركيز محلول كرومات البوتاسيوم الذائبة فيه. التغير ناتج عن وجود أيون  $CrO_4^{2-}$  في كل من كرومات الرصاص وكرومات البوتاسيوم.

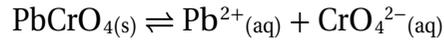
اختبار الرسم البياني؟ تحقق أن  $K_{sp}$

لا يتغير مع زيادة تركيز كرومات البوتاسيوم.

**الشكل 4-21** لرؤية أثر إضافة أيونات الكرومات في ذوبانية كرومات الرصاص. عند إضافة أيونات  $Pb^{2+}$  في صورة نترات الرصاص  $Pb(NO_3)_2$  فإنها تؤثر أيضاً في ذوبانية كرومات الرصاص. في الصورة **a**.  $PbCrO_4(s)$  في حالة اتزان مع أيوناته في المحلول. في الصورة **b**. يتأثر الاتزان عند إضافة  $Pb(NO_3)_2$ ، مما يؤدي إلى تكون المزيد من راسب  $PbCrO_4$ .



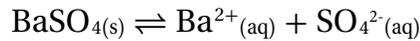
**تطبيق مبدأ لوتشاتيليه** يوضح الشكل **a 4-21** المحلول المشبع لكرومات الرصاص  $PbCrO_4$ . لاحظ المادة الصلبة الصفراء  $PbCrO_4$  في قاع الكأس؛ فهي في حالة اتزان مع المحلول، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



عندما يضاف محلول من  $Pb(NO_3)_2$  إلى محلول مشبع من  $PbCrO_4$  يترسب المزيد من  $PbCrO_4$  الصلب، كما هو موضح في الشكل **b 4-21**؛ وذلك لأن أيونات  $Pb^{2+}$  المشتركة بين المادتين  $PbCrO_4$  و  $Pb(NO_3)_2$  تقلل من ذوبانية  $PbCrO_4$ . هل يمكن تفسير ترسيب  $PbCrO_4$  وفقاً لمبدأ لوتشاتيليه؟

إن إضافة أيون  $Pb^{2+}$  إلى اتزان الذوبانية يزيد من جهد الاتزان. ولإزالة الجهد يزاح الاتزان نحو اليسار لتكوين المزيد من الراسب الصلب  $PbCrO_4$ .

يلعب تأثير الأيون المشترك أيضاً دوراً عند تناول  $BaSO_4$  من أجل أخذ أشعة سينية للجهاز الهضمي. إن الذوبانية المنخفضة لـ  $BaSO_4$  تساعد على التأكد من أن كمية أيون الباريوم السام الممتص من قبل الجهاز الهضمي للمريض قليلة لدرجة غير مؤذية. ولزيادة من الوقاية يتم إضافة كبريتات الصوديوم  $Na_2SO_4$ ، وهو مركب أيوني ذائب يوفر الأيون المشترك  $SO_4^{2-}$ .



حسب مبدأ لوتشاتيليه فإن أيون  $SO_4^{2-}$  الذي مصدره  $Na_2SO_4$  يعمل على إزاحة الاتزان نحو اليسار لإنتاج المزيد من  $BaSO_4$  الصلب، ويقلل عدد أيونات  $Ba^{2+}$  الضارة في المحلول.

## مختبر حل المشكلات

### تطبيق التفسيرات العلمية

فهي عملية عكسية تحدث عندما يوجد هيدروكسي الأباتيت في محلول مع أيونات الفلوريد؛ إذ يحدث تفاعل إحلال مزدوج يحل فيه أيون الفلوريد محل أيون الهيدروكسيد لتكوين فلوروأباتيت  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ ،  $K_{sp} = 1 \times 10^{-60}$ . يعيد الفلوروأباتيت بناء مينا الأسنان، ولذلك فإنه يحل جزئياً محل هيدروكسي الأباتيت، حيث الفلوروأباتيت أقل ذوبانية من هيدروكسيد الأباتيت فتقل عملية هدم المينا وإتلافها.

#### التفكير الناقد

1. اكتب معادلة ذوبان هيدروكسي الأباتيت وتعبير ثابت الاتزان له. كيف تختلف الظروف في الفم عن الظروف في الاتزان الفعلي؟
2. اكتب معادلة تصف تفاعل الإحلال المزدوج الذي يحدث بين هيدروكسي الأباتيت وفلوريد الصوديوم.
3. احسب ذوبانية هيدروكسي الأباتيت والفلوروأباتيت في الماء، ثم قارن ذوبانيتها.

كيف يمنع أيون الفلوريد تسوس الأسنان؟ إن أغلب الناس يستعملون معجون أسنان يحتوي على فلوريد الصوديوم، أو فلوريد القصدير II. استعمل معرفتك بدوائية المركبات الأيونية والتفاعلات العكسية لكشف دور أيون الفلوريد في حفظ الأسنان من التسوس.



#### التحليل

تتكون مينا الأسنان من 98% من هيدروكسي الأباتيت  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ . وعلى الرغم من أنه مادة غير ذائبة في الماء  $K_{sp} = 6.8 \times 10^{-37}$  إلا أن تحلل المينا ينتج عن ذوبان هيدروكسي الأباتيت، وخصوصاً عندما يحتوي اللعاب على أحماض. أما عملية بناء مينا الأسنان

## التقويم 4-3

### الخلاصة

27. الفكرة الرئيسية اكتب المعلومات التي تحتاج إليها لحساب تركيز ناتج في خليط التفاعل عند الاتزان.
  28. فسر كيف تستخدم ثابت حاصل الذوبانية في حساب ذوبانية مركب أيوني قليل الذوبان؟
  29. صف كيف يقلل وجود الأيون المشترك ذوبانية المركب الأيوني؟
  30. وضح الفرق بين  $K_{sp}$  و  $Q_{sp}$ . وهل يعد  $Q_{sp}$  ثابت اتزان؟
  31. احسب ذوبانية كربونات الماغنسيوم  $\text{MgCO}_3$  في الماء النقي إذا كان  $K_{sp}$  يساوي  $2.6 \times 10^{-9}$ ؟
  32. صمم تجربة اعتماداً على الذوبانية لتوضح أي الأيونين  $\text{Mg}^{2+}$  أو  $\text{Pb}^{2+}$  يوجد في محلول مائي؟
- التركيز عند الاتزان والذوبانية يمكن حسابها باستعمال تعبير ثابت الاتزان.
  - يصف  $K_{sp}$  الاتزان بين مركب أيوني قليل الذوبانية وأيوناته في محلول.
  - إذا كان الحاصل الأيوني  $Q_{sp}$  أكبر من  $K_{sp}$  عند خلط محلولين فسوف يتكون راسب.
  - وجود الأيون المشترك في محلول يقلل ذوبانية المادة المذابة.

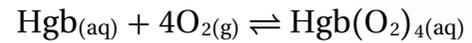


## ارتفاع الهيموجلوبين إلى مستوى التحدي

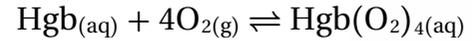
عندما يسافر الناس إلى أماكن جبلية يشعرون عادة بالتعب، ويصابون بدوار. والسبب في ذلك هو أن هواء الجبل يحتوي على القليل من جزيئات الأكسجين، كما هو موضح في الشكل 1. ومع مرور الوقت يقل الإعياء؛ لأن الجسم يتكيف مع هذا النقص في الأكسجين بإنتاج المزيد من البروتين الذي يسمى الهيموجلوبين.

## اتزان الهيموجلوبين-أكسجين Hemoglobin-oxygen equilibrium

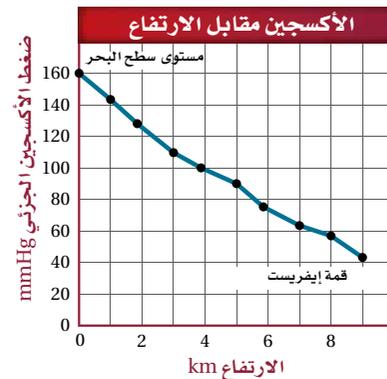
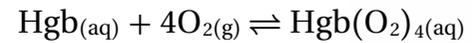
يرتبط الهيموجلوبين Hgb بجزيئات الأكسجين التي تدخل دورة الدم في جسمك منتجاً الهيموجلوبين المؤكسد  $Hgb(O_2)_4$ . ويمكن تمثيل اتزان Hgb و  $O_2$  في المعادلة الآتية:



**في الرئتين** عندما تنفس تتحرك جزيئات الأكسجين إلى دمك، ويستجيب الاتزان للجهد باستهلاك جزيئات الأكسجين بسرعة عالية. ويتم إزاحة الاتزان نحو اليمين، ويزداد تركيز  $Hgb(O_2)_4$  في الدم.



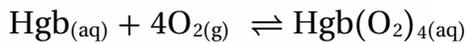
**في الأنسجة** عندما يصل  $Hgb(O_2)_4$  إلى أنسجة الجسم التي يكون فيها تركيز الأكسجين منخفضاً يزاح الاتزان نحو اليسار، ويتحرر الأكسجين ليسمح لحدوث عملية الأيض التي من شأنها توليد الطاقة.



الشكل 1 يكون الضغط الجزئي لـ  $O_2$  في القمة أكثر انخفاضاً. وكل نفس يستنشقه الإنسان يحتوي على جزيئات  $O_2$  قليلة.

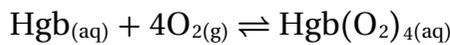
الشكل 2 على قمة إفرست، يمكن للمتسلق الصعود إلى مخيم II، ثم ينزل إلى المخيم الارضي، ثم يصعد إلى المخيم (III)؛ استعداداً للوصول إلى أعلى القمة.

**في الجبال In the mountains** يستجيب الاتزان لجهد هواء الجبال بإنتاج الأكسجين بسرعة عالية. ويتم إزاحة الاتزان إلى اليسار محزراً جزيئات الأكسجين في الرئة، تاركاً القليل من الهيموجلوبين المؤكسد في الدم



تركيز الهيموجلوبين المؤكسد المنخفض في الدم يعني أن جزيئات الأكسجين تحررت في أجزاء أخرى من الجسم. ولأن مقدار الطاقة الناتج قليل لذا تشعر بالإعياء.

**تكيفات الجسم The body adjusts** يستجيب جسمك لتركيز الأكسجين المنخفض عن طريق إنتاج المزيد من الهيموجلوبين. يُعرف جزء من هذه العملية بالتأقلم؛ إذ يعمل المزيد من الهيموجلوبين على إزاحة الاتزان نحو اليمين



يعني التركيز المتزايد لـ  $Hgb(O_2)_4(aq)$  أن المزيد من جزيئات الأكسجين تنطلق في أنسجة الجسم. يوضح الشكل 2 أين يمكن للمتسلقين أن يعودوا أجسامهم على الارتفاعات العالية قبل البدء في صعود القمة.

### الكتابة في الكيمياء ابحث عن أزمة الاختناق

عند النوم، كيف يمكن لحدوث الاختناق أن يؤثر في اتزان هيموجلوبين الجسم؟ للمزيد من المعلومات عن الهيموجلوبين ووظيفته في جسم الإنسان ارجع

إلى الموقع [www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

# مختبر الكيمياء

## المقارنة بين ثابتي حاصل الذوبانية



**الخلفية** من خلال ملاحظة تكون راسبين في نفس النظام يمكن استنتاج العلاقة بين ذوبانية مركبين أيونيين والقيم العددية لثوابت حاصل الذوبانية لهما  $K_{sp}$ .

**السؤال** كيف تستطيع استعمال مبدأ لوتشاتيليه لتقويم الذوبانية النسبية لراسبين؟

### المواد والأدوات اللازمة

محلول  $AgNO_3$  محلول  $NaCl$

محلول  $Na_2S$  طبق تفاعلات بلاستيكي ذو 24 فجوة

3 قطرات رقيقة الساق

### إجراءات السلامة

**تحذير:** نترات الفضة عالية السمية، وتختلف بقعاً على الجلد والملابس. كبريتيد الصوديوم مهيج للجلد، ويجب إبقاؤه بعيداً عن الأحماض.

### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. ضع 10 قطرات من محلول  $AgNO_3$  في الفجوة A1 من طبق التفاعلات. وضع 10 قطرات من المحلول نفسه في الفجوة A2.

3. أضف 10 قطرات من محلول  $NaCl$  إلى الفجوة A1 و 10 قطرات في الفجوة A2.

4. دع الرواسب تتكون، ولاحظ الفجوات من أعلى ومن الجانب، وسجل ملاحظتك.

5. أضف 10 قطرات من محلول  $Na_2S$  إلى الفجوة A2.

6. دع الراسب يتكون، وسجل ملاحظتك عنه.

7. قارن محتوى الفجوتين A1، و A2 وسجل ملاحظتك.

8. التخلص من النفايات استعمال قارورة الغسل لنقل محتوى طبق التفاعلات البلاستيكي إلى وعاء النفايات.

### حلل واستنتج

1. حلل اكتب المعادلة الكاملة للتفاعل الذي حدث عند مزج  $NaCl$  و  $AgNO_3$  في الخطوة 3، و اكتب المعادلة الأيونية النهائية.

2. حلل اكتب تعبير ثابت حاصل الذوبانية للاتزان الذي نشأ في الفجوتين A1 و A2 في خطوة 3.
3. حلل اكتب معادلة للاتزان الذي نشأ في الفجوة A2 عندما أضفت  $Na_2S$ .
4. تعرّف الراسبين من خلال اللون.
5. قارن قيم  $K_{sp}$  للراسبين، أي المركبين الأيونيين أكثر ذوبانية؟
6. أدرك النتيجة والسبب استعمال مبدأ لوتشاتيليه لتفسير تأثير إضافة  $Na_2S$  في الخطوة 5 في الاتزان في الفجوة A2.
7. احسب الذوبانية المولارية للراسبين باستعمال قيم  $K_{sp}$ . أي الراسبين أكثر ذوباناً؟
8. حدد الدليل الذي يدعم إجابتك للسؤال 7. فسر إجابتك.
9. تحليل الخطأ قارن ملاحظتك عند النظر إلى طبق التفاعلات من أعلى بملاحظتك عند النظر إليه من جنب. ماذا تلاحظ؟
10. ابحث كيف تستعمل المصانع الترسيب لإزالة المواد الكيميائية الخطرة من مياه الصرف الصحي؟

### الاستقصاء

المركبات الذائبة مقابل المركبات غير الذائبة المواد المتفاعلة التي استعملتها في مختبر الكيمياء جميعها مركبات أيونية ذائبة والرواسب غير ذائبة. كيف يختلف  $Na_2S$  الذائب عن  $Ag_2S$  غير الذائب؟ كيف يختلف  $NaCl$  الذائب عن  $AgCl$  غير الذائب؟ استعمل معلومات  $K_{sp}$  في الجدول 3-4. وارجع إلى مصادر أخرى لتعرف القوانين العامة للذوبانية.

**الفكرة العامة** يصل الكثير من التفاعلات والعمليات إلى حالة من الاتزان الكيميائي، حيث تتكون كل من المواد المتفاعلة والنواتجة بسرعات متساوية.

## 4-1 حالة الاتزان الديناميكي

### الفكرة الرئيسية

- يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان، الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والنواتجة.
- يكون التفاعل في حالة اتزان إذا كانت سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي.
- تعبير ثابت الاتزان هو نسبة التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة، حيث ترفع هذه التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها في المعادلة الكيميائية الموزونة.

### المفردات

- التفاعل الانعكاسي
- الاتزان الكيميائي
- قانون الاتزان الكيميائي
- ثابت الاتزان
- اتزان متجانس
- اتزان غير متجانس

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

- تكون قيمة تعبير ثابت الاتزان  $K_{eq}$  ثابتة عند درجة حرارة معينة.

## 4-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

### الفكرة الرئيسية

- عندما تطرأ تغييرات في نظام متزن يزاح إلى موضع اتزان جديد.
- مبدأ لوتشاتليه يصف كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغيير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة إلى تغيير في التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان، ولكن  $K_{eq}$  يبقى ثابتاً. والتغير في درجة الحرارة يغير الاثنين معاً: موضع الاتزان وقيمة  $K_{eq}$ .

### المفردات

- مبدأ لوتشاتليه

## 4-3 استعمال ثوابت الاتزان

### الفكرة الرئيسية

- يمكن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حساب تراكيز المواد وذوبانيتها.
- التراكيز عند الاتزان والذوبانية يمكن حسابها باستعمال تعبير ثابت الاتزان.
- يصف  $K_{sp}$  الاتزان بين مركب أيوني قليل الذوبانية وأيوناته في محلول.
- إذا كان الحاصل الأيوني  $Q_{sp}$  أكبر من  $K_{sp}$  عند خلط محلولين فسوف يتكون راسب.
- وجود الأيون المشترك في محلول يقلل ذوبانية المادة المذابة.

### المفردات

- ثابت حاصل الذوبانية
- الأيون المشترك
- تأثير الأيون المشترك

مختلفين عند درجة الحرارة نفسها. حدد ما إذا كان التفاعلان في حالة اتزان .

الجدول 4-5 تراكيز A و B و C		
C (mol/l)	B (mol/l)	A (mol/l)
0.700	0.621	0.500
0.250	0.525	0.250

45. إذا مرَّ بخار ماء من خلال برادة حديد ينتج أكسيد الحديد III الصلب و غاز الهيدروجين عن التفاعل العكسي، اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل الذي ينتج أكسيد الحديد III وغاز الهيدروجين.

## 4-2

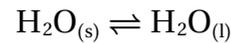
### إتقان المفاهيم

46. ما المقصود بالشغل المبذول على تفاعل ما عند الاتزان؟
47. كيف يصف مبدأ لوتشاتلييه استجابة الاتزان للإجهاد؟
48. لماذا يسبب إزالة المتفاعل إزاحة الاتزان نحو اليسار؟
49. عند إزاحة الاتزان نحو اليمين، ماذا يحدث لكل من:
- تراكيز المتفاعلات
  - تراكيز النواتج
50. كيف يمكن للتغيرات الآتية التأثير في موضع الاتزان للتفاعل المستعمل لإنتاج الميثانول من أول أكسيد الكربون والهيدروجين؟
- $$\text{CO(g)} + 2\text{H}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH(g)} + \text{حرارة}$$
- إضافة CO
  - خفض درجة الحرارة
  - إضافة عامل محفز
  - إزالة CH<sub>3</sub>OH
  - تقليل حجم وعاء التفاعل

## 4-1

### إتقان المفاهيم

33. صف حالة اتزان تحدث في الحياة اليومية بين عمليتين متعاكستين.
34. إذا قيل لك إن تراكيز المتفاعلات والنواتج لا تتغير فلماذا تستعمل كلمة ديناميكي لوصف الاتزان الكيميائي؟
35. هل المعادلة الآتية تمثل اتزاناً متجانساً أم غير متجانس؟ فسر إجابتك.



36. ما المقصود بموضع الاتزان؟
37. وضح كيفية كتابة تعبير ثابت اتزان.
38. لماذا يجب أن تعبر انتباهك للحالات الفيزيائية للنواتج والمتفاعلات عند كتابة تعابير ثابت الاتزان؟
39. لماذا تعني قيمة  $K_{eq}$  الكبيرة عددياً أن النواتج مفضلة في نظام الاتزان؟
40. ماذا يحدث لـ  $K_{eq}$  لنظام متزن، إذا تم إعادة كتابة معادلة التفاعل بطريقة عكسية؟
41. كيف لنظام الاتزان أن يحتوي على كميات صغيرة وغير متغيرة من النواتج، وفي الوقت نفسه يحتوي على كميات كبيرة من المتفاعلات؟ كيف يمكن أن تبرر  $K_{eq}$  لمثل هذا الاتزان؟

### إتقان حل المسائل

42. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكل اتزان متجانس فيما يأتي:
- $2\text{N}_2\text{H}_4\text{(g)} + 2\text{NO}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 3\text{N}_2\text{(g)} + 4\text{H}_2\text{O(g)}$
  - $2\text{NbCl}_4\text{(g)} \rightleftharpoons \text{NbCl}_3\text{(g)} + \text{NbCl}_5\text{(g)}$
43. افترض أن لديك مكعباً من فلز المنجنيز النقي طول ضلعه 5.25cm، وكتلته تساوي 1076.6 g، فما التركيز المولاري للمنجنيز في المكعب؟
44. قيمة  $K_{eq}$  للتفاعل  $A + 2B \rightleftharpoons C$  تساوي 3.63، يوضح الجدول 4-5 تراكيز المتفاعلات والنواتج في خليط تفاعلين

## 4-3

### إتقان المفاهيم

59. ماذا تعني بقولك إن لدى محلولين أيوناً مشتركاً؟ اذكر مثالاً يوضح ذلك.

60. لماذا لا تعطى بعض المركبات مثل كلوريد الصوديوم قيم  $K_{sp}$ ؟

61. الأشعة السينية لماذا يعد استعمال كبريتات الباريوم أفضل من كلوريد الباريوم عند التعرض للأشعة السينية؟ علماً أنه عند درجة حرارة  $26^\circ\text{C}$  فإن  $37.5\text{ g}$  من  $\text{BaCl}_2$  يمكن أن تذوب في  $100\text{ ml}$  من الماء؟

62. فسر ما يحدث في الشكل 4-23 اعتماداً على  $Q_{sp}$  و  $K_{sp}$ .

63. صف المحلول الناتج عن خلط محلولين لهما  $Q_{sp} = K_{sp}$ ، هل يتكون راسب؟

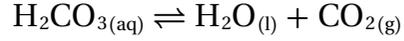
### إتقان المسائل

64. اكتب تعبير  $K_{sp}$  لكرومات الرصاص  $\text{PbCrO}_4$ ، واحسب ذوبانية بوحدة  $\text{mol/l}$ ، علماً أن  $k_{sp} = 2.3 \times 10^{-13}$ .

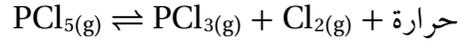
65.  $K_{sp}$  لفلوريد الإسكانديوم  $\text{ScF}_3$  عند درجة حرارة  $298\text{ K}$  يساوي  $4.2 \times 10^{-8}$ . اكتب معادلة الاتزان الكيميائية لذوبانية فلوريد الإسكانديوم في الماء. ما تركيز أيونات  $\text{Sc}^{3+}$  اللازمة لتكوين راسب إذا كان تركيز أيون الفلوريد  $0.076\text{ M}$ ؟

66. هل يتكون راسب عند خلط  $62.6\text{ ml}$  من  $\text{CaCl}_2$  الذي تركيزه  $0.0322\text{ M}$  مع  $31.3\text{ ml}$  من  $\text{NaOH}$  الذي تركيزه  $0.0145\text{ M}$ ؟ استعمل البيانات الموجودة في الجدول 4-4. وضح إجابتك.

51. المشروبات الغازية استعمل مبدأ لوتشاتيليه لشرح كيف أن إزاحة الاتزان الآتي:

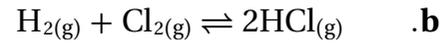
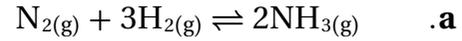


تسبب فقدان الشراب طعمه عند ترك غطاء القارورة مفتوحاً؟  
52. فسر كيف تؤثر زيادة درجة الحرارة في الاتزان الموضح في المعادلة الآتية:



53. إذا أضيف مذيب سائل من الكلور إلى دورق يحتوي تفاعل الاتزان الآتي: حرارة  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  فكيف يتأثر الاتزان عند ذوبان كمية من غاز الكلور؟

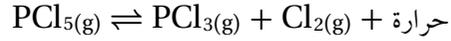
54. إذا أعطيت التفاعلين الآتيين عند الاتزان:



فسر لماذا يسبب تغير حجم وعاء التفاعلين تغير موضع الاتزان لـ a ولا يؤثر في b؟

55. للاتزان الموصوف في السؤال 53 ما التغير المرئي المتوقع الذي يمكن مشاهدته إذا تم إضافة وذوبان  $10\text{ g}$  من كلوريد البوتاسيوم الصلب؟ فسر إجابتك.

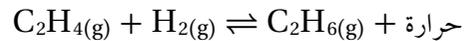
56. هل تتوقع أن تزداد أو تقل قيمة  $K_{eq}$  العديدة عند زيادة درجة الحرارة في الاتزان الآتي: فسر إجابتك.



57. فسر كيف يمكن أن تنظم الضغط لتعزز تكوين النواتج في نظام الاتزان الآتي:



58. يتفاعل الإيثيلين  $\text{C}_2\text{H}_4$  مع الهيدروجين لإنتاج الإيثان  $\text{C}_2\text{H}_6$  وفق المعادلة:



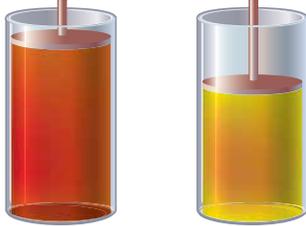
كيف يمكنك تنظيم درجة الحرارة لهذا الاتزان لكي:

a. تزيد كمية الإيثان الناتج.

b. تقلل تركيز الإيثيلين.

c. تزيد كمية الهيدروجين في وعاء التفاعل.

73. في نظام الاتزان  $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ ، لون  $NO_2$  بني غامق. فسر اختلاف اللون للاتزان كما هو موضح في الشكل 22-4.



الشكل 22-4

74. إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم إلى محلول هيدروكسيد الألومنيوم المشبع يُقلل من تركيز أيونات الألومنيوم. اكتب معادلة اتزان الذوبانية وتعبير ثابت حاصل الذوبانية لمحلول مائي مشبع لهيدروكسيد الألومنيوم.

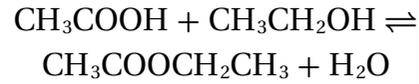
#### التفكير الناقد

75. تحليل افترض أن نظام اتزان عند درجة حرارة معينة  $K_{eq}$  له تساوي 1.000، ما احتمال أن هذا النظام يتكون من 50% متفاعلات و50% نواتج؟ فسر إجابتك.

76. تطبيق يستعمل تنشق الأملاح أحياناً لإعادة إنعاش شخص فاقد للوعي؛ إذ تتكون هذه الأملاح من كربونات الأمونيوم. فإذا كانت معادلة تفكك كربونات الأمونيوم الماص للحرارة كما يأتي:  
 $(NH_4)_2CO_3(s) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + CO_2(g) + H_2O(g)$   
 فهل تتوقع أن استنشاق الأملاح يعطي مفعولاً في أيام الشتاء الباردة كما في أيام الصيف الحارة؟ فسر إجابتك.

77. إذا علمت أن  $K_{sp}$  ليوديدات الكاديوم  $Cd(IO_3)_2$  يساوي  $2.3 \times 10^{-8}$  عند درجة حرارة 298 K، فما تركيز (mol/l) كل من أيونات الكاديوم وأيونات اليوديدات في محلول مشبع مع يوديدات الكاديوم عند درجة حرارة 298 K؟

67. صناعة إيثانوات الإيثيل  $CH_3COOCH_2CH_3$  مذيب يستعمل في صناعة الورنيش، ويمكن إنتاجه بتفاعل الإيثانول وحمض الإيثانويك (الخليك)، يمكن وصف الاتزان بالمعادلة الآتية:

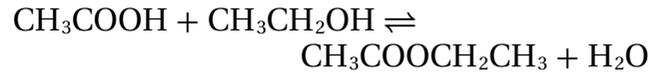


احسب  $K_{eq}$  باستعمال تراكيز الاتزان الآتية:

$$[CH_3COOCH_2CH_3] = 2.90 \text{ M}, [CH_3COOH] = 0.316 \text{ M}, [CH_3CH_2OH] = 0.313 \text{ M}, [H_2O] = 0.114 \text{ M}$$

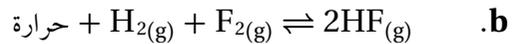
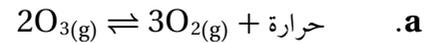
#### مراجعة عامة

68. تنتج إيثانوات الإيثيل  $CH_3COOCH_2CH_3$  من الاتزان الموصوف في المعادلة الآتية:

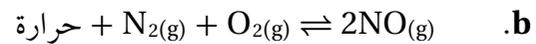
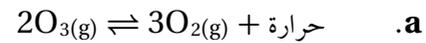


لماذا تسبب إزالة الماء إنتاج المزيد من إيثانوات الإيثيل؟

69. كيف يتأثر كل اتزان فيما يلي بانخفاض درجة الحرارة؟



70. كيف يتأثر كل اتزان فيما يلي بارتفاع كل من درجة الحرارة والحجم في الوقت نفسه؟



71. ثابت حاصل الذوبانية لزرنبيخات الرصاص  $Pb_3(AsO_4)_2$  هو  $4.0 \times 10^{-36}$  في درجة حرارة 298 k احسب الذوبانية بوحدة mol/l لهذا المركب عند درجة الحرارة نفسها.

72. صحح الجملة الآتية: القيمة المنخفضة لثابت الاتزان  $K_{eq}$  تعني أن كلا التفاعلين الأمامي والعكسي يحدثان ببطء.

## 4 مراجعة الفصل

### التقويم الإضافي

#### الكتابة في الكيمياء

**83. مركب جديد** تخيل أنك عالم، وقد قمت بتركيب سائل فريد وجديد وأسميته يولان ومختصره يو. يولان سائل غير سام، وتحضيره غير مكلف، وله القدرة على إذابة كمية كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون وفق معادلة الاتزان:

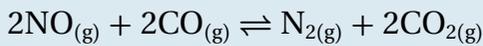
$$CO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(yo), K_{eq} = 3.4 \times 10^6$$

**84.** اكتب مقالة لمجلة أو صحيفة تفسر فيها ميزة يولان في مكافحة الارتفاع في درجات الحرارة العالمي.

**85. عسر الماء** يسبب وجود أيونات الماغنسيوم والكالسيوم في الماء عسره. فسر بالاعتماد على الذوبانية لماذا يعد وجود هذين الأيونين أحياناً غير مرغوب فيه. ثم أوجد الطرائق التي يمكن اتخاذها للحد منها.

#### أسئلة المستندات

**التلوث** تحتوي عوادم السيارات على الملوثات الخطرة: أول أكسيد النيتروجين NO وأول أكسيد الكربون CO. ويمكن أن تقلل كمية هذين الغازين في الهواء الجوي بتمريرهما فوق سبيكة (عامل محفز). عندما يمر غازا NO و CO فوق هذا المحفز ينشأ الاتزان الآتي:



ويتأثر ثابت الاتزان بدرجة الحرارة، كما هو موضح في الجدول 4-7.

#### جدول 4-7 K<sub>eq</sub> مقابل درجة الحرارة

1000 K	900 K	800 K	700 K
$3.27 \times 10^{45}$	$4.66 \times 10^{54}$	$1.04 \times 10^{66}$	$9.10 \times 10^{97}$

**86.** اكتب تعبير ثابت الاتزان لهذا الاتزان.

**87.** ادرس العلاقة بين K<sub>eq</sub> ودرجة الحرارة. استعمل مبدأ لوتشاتيليه لاستنتاج ما إذا كان التفاعل الأمامي ماصاً أم طارداً للطاقة.

**88.** فسر كيف أن الراديوتر (مبرد السيارة) المطلي بالسبيكة يمكن أن يساعد على تقليل تركيز NO و CO في الغلاف الجوي؟

**78. تفسير البيانات** أي المركبات يترسب أولاً إذا تمت إضافة محلول فلوريد الصوديوم الذي تركيزه 0.500M بشكل تدريجي إلى محلول يحتوي على تركيز 0.500M من كل من أيونات الباريوم والماغنسيوم؟ استعمل الجدول 6 - 4 واكتب معادلات اتزان الذوبانية وتعابير ثابت حاصل الذوبانية لكلا المركبين. فسر إجابتك.

#### الجدول 6 - 4 بيانات المركبين

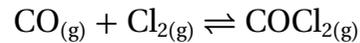
الذوبانية عند 25°C	الكتلة المولية	المركب
g/l	g/mol	
1.1	175.33	BaF <sub>2</sub>
0.13	62.30	MgF <sub>2</sub>

**79. السبب والنتيجة** افترض أن لديك 12.56 g من خليط مكون من كلوريد الصوديوم وكلوريد الباريوم. فسر كيف يمكن استعمال تفاعل الترسيب لتحديد مقدار كل مركب في الخليط.

**80. قارن** أي المادتين الصلبتين: فوسفات الكالسيوم وفوسفات الحديد III لها ذوبانية مولارية أكبر؟ إذا علمت أن  $K_{sp} Ca_3(PO_4)_2 = 1.2 \times 10^{-29}$  و  $K_{sp} FePO_4 = 1.0 \times 10^{-22}$  أيهما له ذوبانية g/l أعلى؟

#### مسألة تحدُّ

**81. تحضير الفوسجين** الفوسجين COCl<sub>2</sub> غاز سام يستعمل في تصنيع بعض الأصباغ والأدوية والمبيدات الحشرية. ويمكن تحضيره بتفاعل أول أكسيد الكربون مع غاز الكلور وفق المعادلة:



بداية وضع 1.0000 mol من كلا الغازين في وعاء حجمه 10.00 L وعند وصولها إلى حالة الاتزان وجد أن تركيز كل منها 0.0086 mol/l. ما تركيز الفوسجين عند الاتزان؟ وما K<sub>eq</sub> للنظام؟

#### مراجعة تراكمية

**82.** عندما تقوم بعكس معادلة كيميائية حرارية لماذا يجب عكس إشارة ΔH؟

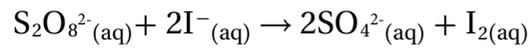
## اختبار مقنن

### أسئلة الاختيار من متعدد

1. أي مما يأتي يصف نظامًا وصل إلى حالة الاتزان الكيميائي؟

- a. لا يوجد ناتج جديد يتكون بفعل التفاعل الأمامي.
- b. لا يحدث التفاعل العكسي في النظام.
- c. تركيز المتفاعلات في النظام يساوي تركيز النواتج.
- d. سرعة حدوث التفاعل الأمامي تساوي سرعة حدوث التفاعل العكسي.

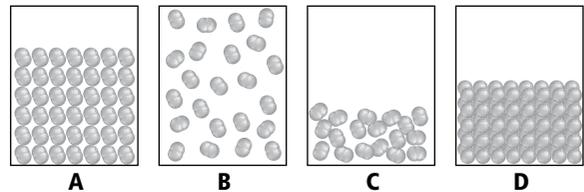
2. يستطيع الطلاب إجراء التفاعل بين أيونات  $S_2O_8^{2-}$  وأيونات اليوديد  $I^-$  لأنه يسير ببطء كافٍ لقياس سرعته.



تم تحديد رتبة هذا التفاعل في المختبر لتكون الرتبة الأولى في  $S_2O_8^{2-}$  والرتبة الأولى في  $I^-$ . ما قانون السرعة الكلي لهذا التفاعل؟

- a.  $R = k[S_2O_8^{2-}]^2[I^-]$
- b.  $R = k[S_2O_8^{2-}][I^-]$
- c.  $R = k[S_2O_8^{2-}][I^-]^2$
- d.  $R = k[S_2O_8^{2-}]^2[I^-]^2$

استعمل الرسوم الآتية للإجابة عن السؤال 3.



3. أي الرسوم الأربعة يبين المادة التي لها أضعف قوى بين جزيئية؟

- a. A
- b. B
- c. C
- d. D

4. أي نوع من القوى بين الجزيئية ينتج عن عدم توازن مؤقت في الكثافة الإلكترونية حول نواة الذرة؟

- a. الروابط الأيونية
- b. قوى التشتت
- c. قوى ثنائية القطب
- d. الروابط الهيدروجينية

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة من 5 إلى 7.

بيانات التركيز للاتزان الآتي				
$MnCO_3(s) \rightarrow Mn^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$ (عند 298 K)				
المحاولة	$[Mn^{2+}]$ الابتدائي	$[CO_3^{2-}]$ الابتدائي	$[Mn^{2+}]$ عند الاتزان	$[CO_3^{2-}]$ عند الاتزان
1	0.0000	0.00400	$5.60 \times 10^{-9}$	$4.00 \times 10^{-3}$
2	0.0100	0.0000	$1.00 \times 10^{-2}$	$2.24 \times 10^{-9}$
3	0.0000	0.0200	$1.12 \times 10^{-9}$	$2.00 \times 10^{-2}$

5. ما قيمة  $K_{sp}$  لـ  $MnCO_3$  عند درجة حرارة 298K؟

- a.  $2.24 \times 10^{-11}$
- b.  $4.00 \times 10^{-11}$
- c.  $1.12 \times 10^{-9}$
- d.  $5.60 \times 10^{-9}$

6. ما ذوبانية  $MnCO_3$  عند درجة حرارة 298 K؟

- a.  $4.73 \times 10^{-6}M$
- b.  $6.32 \times 10^{-2}M$
- c.  $7.48 \times 10^{-5}M$
- d.  $3.35 \times 10^{-5}M$

7. عند خلط 50ml من  $K_2CO_3$  الذي تركيزه

$3.00 \times 10^{-6}M$  مع 50 ml من  $MnCl_2$ ، سوف

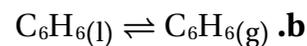
يتكون راسب من  $MnCO_3$  فقط عندما يكون تركيز

محلول  $MnCl_2$  أكبر من :

- a.  $7.47 \times 10^{-6}M$
- b.  $1.49 \times 10^{-5}M$
- c.  $2.99 \times 10^{-5}M$
- d.  $1.02 \times 10^{-5}M$

### أسئلة الإجابات القصيرة

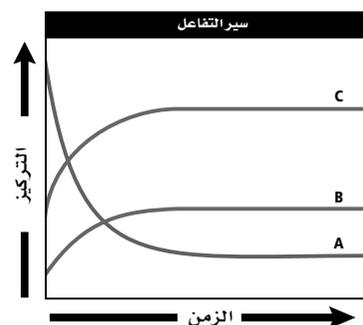
8. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكل اتران غير متجانس فيما يلي:



9. ينتج عن تسخين الحجر الجيري  $\text{CaCO}_3(\text{s})$  الجير الحي  $\text{CaO}(\text{s})$  وغاز ثاني أكسيد الكربون. اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل العكسي.

### أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل المخطط الآتي للإجابة عن الأسئلة من 10-12.



10. صف شكل الرسم البياني عند حدوث الاتزان.

11. فسر لماذا لا يساوي تركيز المتفاعلات صفرًا عند نهاية هذا التفاعل؟

12. صنف نوع التفاعل الكيميائي الذي يظهر في هذا الرسم البياني، وكيف تدعم البيانات فيه استنتاجك؟

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

### 1-5 مقدمة في الأحماض والقواعد

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

### 2-5 قوة الأحماض والقواعد

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

### 3-5 أيونات الهيدروجين والرقم

#### الهيدروجيني

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

### 4-5 التعادل

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

## حقائق كيميائية

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

قياس الرقم الهيدروجيني



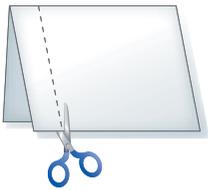
تقويم النتائج

## نشاطات تمهيدية

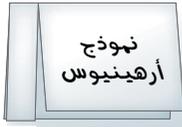
**الأحماض والقواعد**  
اعمل المطوية الآتية  
لتساعدك على المقارنة بين  
النماذج الرئيسة للأحماض  
والقواعد.

### المطويات

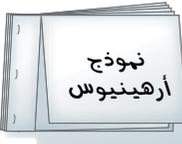
منظمات الأفكار



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



**الخطوة 2** عنون كل ورقة  
باسم نموذج من نماذج  
تعريف الأحماض والقواعد.



**الخطوة 3** تثبت الأوراق  
الثلاث معاً على طول حافتها  
الخارجية.

### المطويات استعمال هذه المطوية

في القسم 1-5، وسجّل ملاحظاتك المتعلقة بنماذج  
الأحماض والقواعد في أثناء قراءة هذا القسم، ثم  
اكتب تفاعلات عامة تمثل كل نموذج.

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى  
الموقع:

[www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

## تجربة استهلاكية

ماذا يوجد في خزانك؟

يمكنك أن تتعلم شيئاً حول خواص المنظفات المختلفة التي  
في منزلك، وذلك باختبارها بواسطة أشربة تباع الشمس.  
هل تستطيع تصنيف تلك المنظفات إلى مجموعتين؟



### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
  2. ضع ثلاثاً إلى أربع قطرات من منظفات منزلية مختلفة في  
فجوات طبق التفاعلات البلاستيكي. وارسم جدولاً  
يبين موضع كل سائل.
  3. اختر 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.

### تحليل النتائج

1. صفّ المنتجات في مجموعتين، بناءً على مشاهداتك.
  2. صف كيف تختلف المجموعتان؟ وماذا يمكنك أن  
تستنتج؟
- استقصاء** اختر عينة واحدة تفاعلت مع الفينولفثالين. هل  
تستطيع أن تعكس اتجاه هذا التفاعل؟ صمّم تجربة لاختبار  
فرضيتك.

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

## مراجعة المفردات

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

## المفردات الجديدة

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

## مقدمة في الأحماض والقواعد

## Introduction to Acids and Bases

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

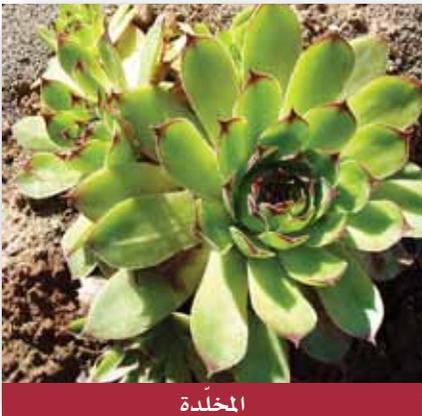
**الربط مع الحياة** تعد الأحماض والقواعد اثنين من التصنيفات الأكثر شيوعاً لتصنيف المواد. ويمكنك تعرّفهما من الطعام اللاذع لبعض المشروبات المفضلة لديك، والرائحة الحادة للأمونيا في بعض المنظفات المنزلية.

## خواص الأحماض والقواعد Properties of Acids and Bases

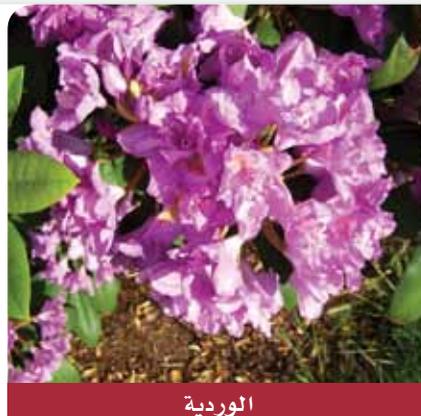
تلعب الأحماض دوراً مهماً في حياتك سلباً وإيجاباً. ويطلق النمل حمض الميثانويك (الفورميك) عندما يشعر بخطر يهدد مستعمرته، فتنبه أفراد المستعمرة كلها. وتؤدي الأحماض المذابة في ماء المطر إلى تكوين كهوف كبيرة في الصخور الجيرية، وتؤدي أيضاً إلى تلف الأبنية والمواقع الأثرية القيمة مع مرور الزمن. وتستعمل الأحماض في إضافة النكهة إلى الكثير من المشروبات والأطعمة التي تتناولها. وهناك أيضاً حمض في المعدة يساعد على هضم الطعام. وتلعب القواعد كذلك دوراً في حياتك؛ فالصابون الذي تستعمله والأقراص المضادة للحموضة التي قد تتناولها عند اضطراب المعدة من القواعد. كما أن الكثير من المنظفات المنزلية كالتي استعملت في التجربة الاستهلاكية هي أحماض أو قواعد.

**الخواص الفيزيائية** قد تكون بعض الخواص الفيزيائية للأحماض والقواعد مألوفة لديك، فأنت تعلم مثلاً أن المحاليل الحمضية طعمها حمضي لاذع، ومنها العديد من المشروبات الغازية التي تمتاز بهذا الطعم اللاذع بسبب احتوائها على حمض الكربونيك والفسفوريك؛ ومنها الليمون والجريب فروت لاحتوائها على حمض الستريك والأسكوربيك؛ كما أن حمض الخليك يجعل طعم الخل حمضياً. وقد تعلم أيضاً 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 5-1 نبتتين تنموان في تربتين مختلفتين، فإحدهما تنمو في تربة حمضية، والأخرى تنمو في تربة قاعدية أو قلووية.



المخلدة



الوردية

**الشكل 5-1** تنمو نبتة الوردية في التربة الغنية الرطبة المعتدلة الحموضة، في حين تنمو المخلدة في تربة أقل رطوبة وقاعدية قليلاً.



تحوّل القواعد تباع الشمس الأحمر إلى أزرق



تحوّل الأحماض تباع الشمس الأزرق إلى أحمر

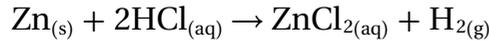
**الشكل 5-2** يستعمل حمض الهيدروكلوريك HCl - وهو حمض قوي- في تنظيف الطوب والخرسانة. كما يعمل هيدروكسيد الصوديوم NaOH - وهو قاعدة قوية- على تسليك المصارف المسدودة.

**التوصيل الكهربائي** ومن الخواص الأخرى للمحاليل الحمضية والقاعدية مقدرتها على توصيل الكهرباء. فالماء النقي غير موصل للكهرباء، إلا أن إضافة حمض أو قاعدة 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 تباع الشمس** يعد تباع الشمس نوعاً من الأصباغ المستعملة عادة في التمييز بين محاليل الأحماض والقواعد، كما في الشكل 2-5؛ إذ تحوّل محاليل الأحماض لون ورقة تباع الشمس الأزرق إلى الأحمر، وتحوّل محاليل القواعد لون ورقة تباع الشمس الأحمر إلى الأزرق.

**التفاعلات مع الفلزات وكربوناتها** يتفاعل كل من الماغنسيوم والخاصين مع محاليل الأحماض، فينتج عن هذا التفاعل غاز الهيدروجين. وتصف المعادلة الآتية التفاعل بين الخاصين وحمض الهيدروكلوريك:



وتتفاعل كربونات الفلزات وكربونات الفلزات الهيدروجينية أيضاً مع محاليل الأحماض منتجة غاز ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$ . فعند إضافة الخل إلى صودا الخبز يحدث تفاعل بين حمض الإيثانويك (الخليلك)  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  الذائب في الخل 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.

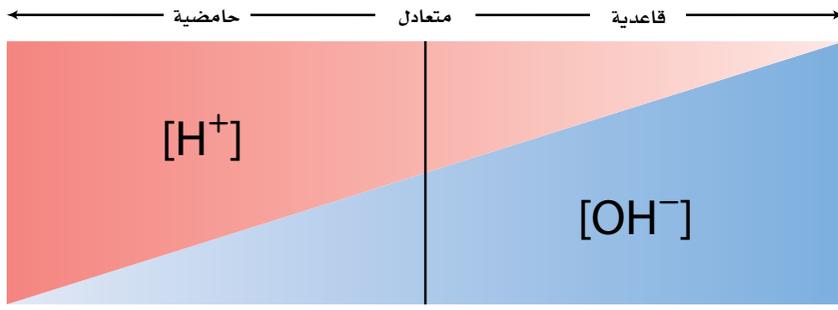
#### مسائل تدريبية

1. اكتب معادلات كيميائية رمزية موزونة للتفاعلات بين:

a. الألومنيوم وحمض الكبريتيك.

b. كربونات الكالسيوم وحمض الهيدروبروميك.

2. تحدّد اكتب المعادلة الأيونية النهائية للتفاعل في السؤال 1b.



### الشكل 5-3 لاحظ كيف يتغير كل

من  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  في وقت واحد.

فعندما يقل  $[H^+]$  إلى جهة اليمين إزدادت

قيمة  $[OH^-]$  إلى اليسار.

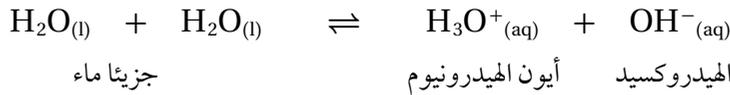
**حدد** على الرسم النقطة التي يكون

عندها تركيز الأيونين متساوياً.

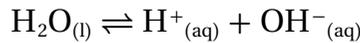
**أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد** تحتوي المحاليل المائية جميعها على أيونات الهيدروجين  $H^+$  وأيونات الهيدروكسيد  $OH^-$ . وتحدد الكميات النسبية من الأيونين ما إذا كان المحلول حمضياً أو قاعدياً أو متعادلاً. والمحاليل المتعادلة ليست حمضية ولا قاعدية.

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 3-5 هذه العلاقات، في حين يمثل الشكل 4-5 كيف طوّر العلماء فهمهم للأحماض والقواعد.

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



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



### الشكل 5-4 تاريخ الأحماض والقواعد

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

**1909م** ساعد تطوير تدرج pH العلماء على تعريف حمضية المادة.

**1869م** اكتشاف 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.

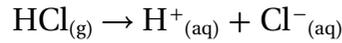
**1865م** إدخال الرذاذ المعقم الذي يحتوي على حمض الكربوليك للمرة الأولى والذي يعد بداية الجراحة الحديثة في أجواء معقمة.



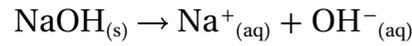
## نموذج أرهينيوس The Arrhenius Model

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 **نموذج أرهينيوس** للأحماض والقواعد، الذي ينص على أن الحمض مادة تحتوي على الهيدروجين، وتتأين في المحاليل المائية منتجة أيونات الهيدروجين. والقاعدة مادة تحتوي على مجموعة الهيدروكسيد، وتحلل في المحلول المائي منتجة أيون الهيدروكسيد.

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



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



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



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

### المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

1980 - 1990م لا تحتوي

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

1933 - 1934م طوّر

العلماء مقياس pH المحمول.



2005م طوّر العلماء الأحماض المطورة، وهي أكثر

حمضية من حمض الكبريتيك الذي تركيزه 100%. وتشتمل 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 جايمس واطسون،

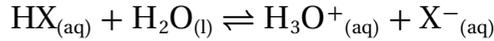
وفرانسيس كريك، وروزالند فرانكلين يدرسون الحمض النووي DNA، واضعين بذلك إطار الصناعة التكنولوجية الحيوية.



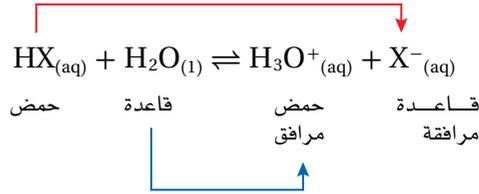
## نموذج برونستد - لوري The Bronsted–Lowry Model

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

**المواد المانحة لأيون الهيدروجين والمواد المستقبلة له** إذا افترضنا أن 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 اكتسابه أيون  $H^+$  يصبح جزيء الماء حمضًا، فتصبح صيغته  $H_3O^+$ ، الذي يسمى أيون الهيدرونيوم، ويعدّ حمضًا لأن لديه أيون  $H^+$  إضافيًا يستطيع أن يمنحه. وعندما يمنح الحمض أيون  $H^+$  يصبح الحمض  $HX$  مادة قاعدية  $X^-$ ؛ لأن لديه شحنة سالبة، ويستطيع أن يستقبل أيون هيدروجين موجبًا. وهكذا يمكن أن يحدث تفاعل بين حمض وقاعدة في الاتجاه المعاكس. ويستطيع الحمض  $H_3O^+$  أن يتفاعل مع القاعدة  $X^-$  مكونًا ماء و  $HX$ ، فيحدث الاتزان الآتي:



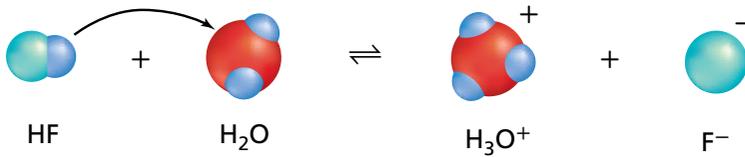
**الأحماض والقواعد المرافقة** يعدّ التفاعل الأمامي في التفاعل السابق تفاعل حمض مع قاعدة. والتفاعل العكسي لحمض وقاعدة أيضًا. ولكن يعرف الحمض والقاعدة اللذان يتفاعلان في الاتجاه العكسي على أنهما حمض مرافق مع قاعدة مرافقة. فالحمض المرافق هو المركب الكيميائي الذي ينتج عندما تستقبل القاعدة  $H_2O$  أيون الهيدروجين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

يبين الشكل 5-6 تمثيلًا لزوج مترافق من حمض وقاعدة. فعندما تكون الكرة في يد الأب يكون هو الحمض، وعندما يرمي الكرة (أيون هيدروجين) إلى ابنه يصبح ابنه هو الحمض؛ لأن لديه الكرة أي (أيون هيدروجين) الذي يستطيع أن يهبه. ويصبح الأب هو القاعدة لأنه مستعد لتقبل الكرة أي (أيون الهيدروجين). الأب هو الحمض والابن هو القاعدة في التفاعل الأمامي. أما في التفاعل العكسي فيكون الابن هو الحمض المرافق؛ لأن لديه الكرة، في حين يكون الأب هو القاعدة المرافقة.

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

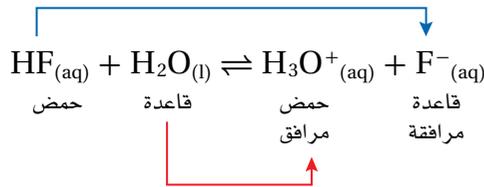


**الشكل 5-6** عندما يرمي الأب الكرة إلى ابنه، فإن الأب يشبه حمض برونستد - لوري و يشبه الابن قاعدته. وعندما يمسك الابن الكرة يصبح مثل الحمض المرافق.



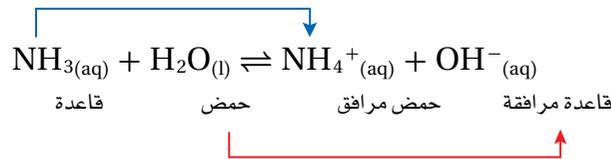
**الشكل 5-7** يمنح فلوريد الهيدروجين أيون هيدروجين لجزء الماء، لذا يُعد فلوريد الهيدروجين حمضًا. حدّد القاعدة المرافقة لفلوريد الهيدروجين.

**فلوريد الهيدروجين - حمض برونستد - لوري** تأمل معادلة تأين فلوريد الهيدروجين HF في الماء، والمبيّنة في الشكل 5-7. أيّ الزوجين هو الحمض، وأيها هو القاعدة المرافقة؟ ينتج الحمض في التفاعل الأمامي - وهو في هذه الحالة فلوريد الهيدروجين - قاعدته المرافقة  $\text{F}^-$ ، وهي تعد أيضًا القاعدة في التفاعل العكسي. بينما تنتج القاعدة في التفاعل الأمامي - وهو في هذه الحالة الماء - حمضها المرافق  $\text{H}_3\text{O}^+$ ، وهو أيضًا الحمض في التفاعل العكسي.



يستعمل فلوريد الهيدروجين في صنع مركبات متنوعة تحتوي على الفلور، مثل الطبقة المغلفة لأدوات الطبخ غير اللاصقة، والمبيّنة في الشكل 5-8. وهو حمض بالنسبة لنموذجي أرهينيوس وبرونستد - لوري.

**الأمونيا - قاعدة برونستد - لوري** معظم الأحماض والقواعد التي تتفق مع تعريف أرهينيوس للأحماض والقواعد تتفق أيضًا مع تعريف برونستد - لوري. ولكن بعض المواد الأخرى التي لا توجد فيها مجموعة الهيدروكسيد لا يمكن أن تُعدّ من القواعد حسب تعريف أرهينيوس، ولكن يمكن تصنيفها على أنها أحماض حسب نموذج برونستد - لوري. مثال ذلك الأمونيا  $\text{NH}_3$ . فعندما تذوب الأمونيا في الماء يكون الماء حمضًا حسب تعريف برونستد - لوري في التفاعل الأمامي. ولأن جزيء الأمونيا  $\text{NH}_3$  يستقبل أيون  $\text{H}^+$  ليكون أيون الأمونيوم  $\text{NH}_4^+$ ، فإن الأمونيا تُصنّف بوصفها قاعدة برونستد - لوري في التفاعل الأمامي.



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

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

## المفردات

### أصل الكلمة

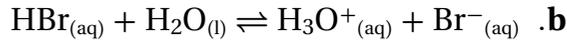
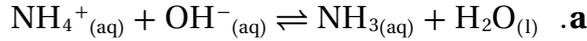
### مترافق Conjugate

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



**الشكل 5-8** يتفاعل فلوريد الهيدروجين مع مركبات عضوية تسمى الهيدروكربونات لصنع السطح الناعم غير اللاصق لهذه الأدوات المنزلية، حيث تستبدل ذرات الهيدروجين بذرات الفلور.

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

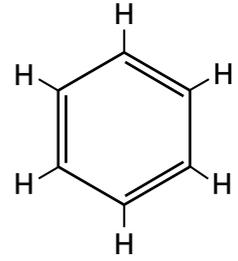


4. تحدّد نواتج تفاعل حمض وقاعدة هي  $\text{H}_3\text{O}^+$  و  $\text{SO}_4^{2-}$ . اكتب معادلة موزونة للتفاعل، وحدّد الأزواج المترافقة من الحمض والقاعدة.

## الأحماض الأحادية البروتون والمتعددة البروتونات Monoprotic and Polyprotic Acids

تستطيع أن تعرف أن كلاً من HCl و HF حمض يحتوي على أيون هيدروجين واحد في كل جزيء، بناءً على معرفتك للصيغة الكيميائية لكل منهما. فالحمض الذي يستطيع أن يمنح أيون هيدروجين واحدًا فقط يُسمى حمضًا أحادي البروتون. ومن الأحماض الأحادية البروتون حمض البيروكلوريك  $\text{HClO}_4$ ، وحمض النيتريك  $\text{HNO}_3$ ، وحمض الهيدروبروميك HBr وحمض الإيثانويك  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . ولأن حمض الإيثانويك أحادي البروتون، لذا تكتب صيغته غالبًا في صورة  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  لتأكيد حقيقة أن ذرة هيدروجين واحدة فقط من الذرات الأربع قابلة للتأين.

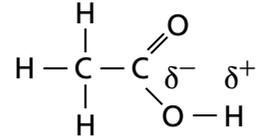
**ذرات الهيدروجين القابلة للتأين** الفرق بين ذرة الهيدروجين القابلة للتأين في حمض الخليك وذرات الهيدروجين الثلاث الأخرى هو أن الذرة القابلة للتأين مرتبطة مع عنصر الأكسجين الأكثر كهروسالبية من الهيدروجين. والفرق في الكهروسالبية يجعل الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. وبين الشكل 9-5 تركيب حمض الإيثانويك، مع تركيب حمض HF وتركيب البنزين  $\text{C}_6\text{H}_6$  غير الحمضي. فترتبط ذرة الهيدروجين في مركب فلوريد الهيدروجين مع ذرة الفلور العالية الكهروسالبية، لذا فالرابطة بينهما قطبية، وتصبح ذرة الهيدروجين قابلة للتأين إلى حد ما. أما ذرات الهيدروجين في البنزين فكل منها مرتبط مع ذرة كربون ذات كهروسالبية تساوي تقريبًا كهروسالبية الهيدروجين. فتكون هذه الروابط غير قطبية، لذا يكون البنزين غير حمضي. وقد تمنح بعض الأحماض أكثر من أيون هيدروجين واحد. فمثلًا يستطيع كل من حمض الكبريتيك  $\text{H}_2\text{SO}_4$  وحمض الكربونيك  $\text{H}_2\text{CO}_3$  أن يمنح أيوني هيدروجين؛ فكلاهما يحتوي ذرتي هيدروجين متصلتين مع ذرتي أكسجين بروابط قطبية. والأحماض التي تحتوي على ذرتي هيدروجين قابلتين للتأين في كل جزيء تُسمى أحماضًا ثنائية البروتونات. ويحتوي كل من حمض الفوسفوريك  $\text{H}_3\text{PO}_4$  والبوريك  $\text{H}_3\text{BO}_3$  على ثلاث ذرات هيدروجين قابلة للتأين في كل جزيء، وتُسمى أحماضًا ثلاثية البروتونات. ويمكن استعمال مصطلح حمض متعدد البروتونات لأي حمض يحتوي على أكثر من ذرة هيدروجين قابلة للتأين.



بنزين



فلوريد الهيدروجين

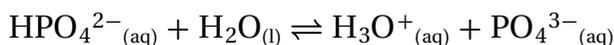
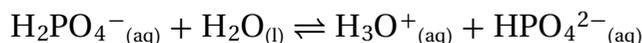
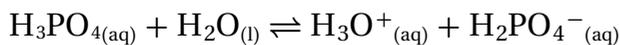


حمض الإيثانويك

**الشكل 9-5** تعتمد قدرة الهيدروجين على التأين على قطبية رابطته. ففي حمض الإيثانويك يكون الأكسجين أكثر كهروسالبية من الهيدروجين، لذا تكون الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين قطبية. ولذلك تستطيع ذرة الهيدروجين أن تتأين في المحلول. أما في فلوريد الهيدروجين فيعد الفلور عالي الكهروسالبية، لذا يكون حمض HF حمضًا في المحلول، بينما في البنزين هناك فرق قليل في الكهروسالبية بين ذرات الكربون والهيدروجين، لذا فالبنزين ليس حمضًا.

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 الهيدروسيانيد
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> <sup>-</sup>	أيون الإيثانوات	HC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	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 5-1 بعض الأحماض الأحادية والعديدة البروتونات. تتأين الأحماض المتعددة البروتونات جميعها في أكثر من خطوة. فخطوات تأين حمض الفوسفوريك الثلاث مبينة في المعادلات الآتية:



#### المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

### نموذج لويس The Lewis Model

لاحظ أن جميع المواد المصنفة أحماضاً وقواعد حسب نموذج أرهينيوس تُصنف أيضاً أحماضاً وقواعد حسب نموذج برونستد - لوري. وبالإضافة إلى ذلك، فإن بعض المواد غير المصنفة بأنها قواعد حسب نموذج أرهينيوس تُصنف قواعد حسب نموذج برونستد - لوري. قد لا تستغرب إذن إذا علمت أن نموذجاً آخر أكثر شمولية للأحماض والقواعد اقترحه الكيميائي لويس (1875 - 1946) الذي طوّر أيضاً نظرية زوج الإلكترونات للترابط الكيميائي، وقدم تراكيب لويس التي تبين مواقع الإلكترونات في الذرات والجزيئات. وقد طُبّق نظريته على تفاعلات الأحماض والقواعد. واقترح أن الحمض أيون أو جزيء فيه مدار ذري فارغ يستطيع أن يتقبل (يشارك) زوجاً من الإلكترونات. وأن القاعدة أيون أو جزيء له زوج إلكترونات وحيد يستطيع أن يمنحه أو يشارك فيه. وحسب نموذج لويس فإن حمض لويس مادة مستقبلية لزوج من الإلكترونات، وقاعدة لويس مادة مانحة لزوج من الإلكترونات. لاحظ أن نموذج لويس يشمل جميع المواد المصنفة أحماضاً وقواعد حسب برونستد - لوري وغيرها كثير أيضاً.

#### المفردات

##### المفردات الأكاديمية

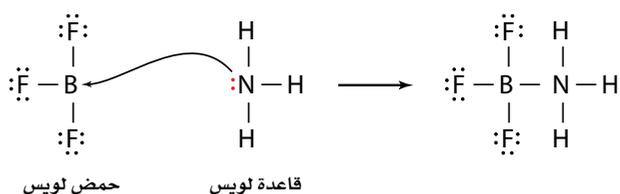
يطابق Conform

كأن 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:

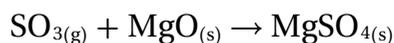


يمثل أيون  $H^+$  في هذا التفاعل حمض لويس، حيث يستقبل مدار 1s الفارغ زوجًا من الإلكترونات من أيون  $F^-$ . ويمثل أيون الفلوريد قاعدة لويس، لذا فهو يعطي زوجًا من الإلكترونات غير المشترك ليكون الرابطة بين الهيدروجين والفلور في HF. لاحظ أن هذا التفاعل يتطابق أيضًا مع نموذج برونستد - لوري للأحماض والقواعد؛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

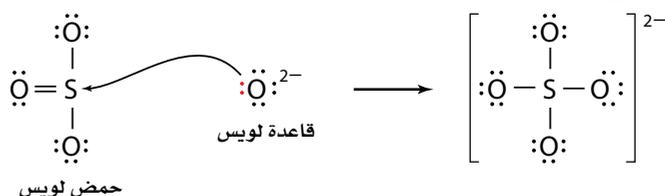


وأن ذرة البورون في  $BF_3$  لها ستة إلكترونات تكافؤ، لذا يستطيع المدار الفارغ أن يستقبل زوجًا من الإلكترونات من قاعدة لويس.

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



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 5-2 نماذج أرهينيوس وبرونستد - لوري ولويس للأحماض والقواعد .

ملخص النماذج الثلاثة للأحماض والقواعد		الجدول 5-2
تعريف القاعدة	تعريف الحمض	النموذج
منتج $OH^-$	منتج $H^+$	أرهينيوس
مستقبل $H^+$	مانح $H^+$	برونستد - لوري
يمنح زوجًا من الإلكترونات	يستقبل زوجًا من الإلكترونات	لويس



**الشكل 5-10** يمكن إزالة ثالث أكسيد الكبريت - أحد الغازات العادمة الناتجة عن احتراق الفحم الحجري في المصنع - من الغازات الخارجة من المدخنة من خلال تفاعلها مع أكسيد الماغنسيوم في تفاعل حمض وقاعدة لويس. لاحظ أنه رغم وجود كمية جيدة من البخار الخارج من برج التبريد إلا أن هناك القليل من الدخان الذي يمكن رؤيته من المدخنة.

يعد تفاعل  $SO_3$  مع  $MgO$  مهمًا؛ لأنه ينتج بلورات من ملح كبريتات الماغنسيوم، تعرف باسم ملح إيسوم  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ . ولهذا الملح استعمالات عدة، منها تخفيف آلام العضلات، وأنه مغذٍ للنباتات. وللتفاعل الذي ينتج كبريتات الماغنسيوم أيضًا تطبيقات بيئية؛ فعندما يحقن  $MgO$  في الغازات الخارجة من مداخن محطات توليد الطاقة الكهربائية التي تعمل بالفحم الحجري، كما في الشكل 5-10، فإنه يتفاعل مع  $SO_3$  ويعمل على انتزاعه من الغازات العادمة الخارجة من المصنع إلى الجو. أما إذا ترك  $SO_3$  ليتشر في الغلاف الجوي فسوف يتحد مع الماء الموجود في الهواء مكونًا حمض الكبريتيك الذي يسقط على الأرض في صورة مطر حمضي.

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

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

## التقويم 5-1

### الخلاصة

5. **الفكرة الرئيسية** اشرح لماذا لا تُصنّف العديد من أحماض وقواعد لويس على أنها أحماض أو قواعد أرهينيوس أو برونستد - لوري.
  6. قارن بين الخواص الفيزيائية والكيميائية للأحماض والقواعد.
  7. اشرح كيف تحدد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضيًا أم قاعديًا أم متعادلاً؟
  8. اشرح لماذا لا يصنف العديد من المركبات التي تحتوي 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؟
- تحدّد تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد ما إذا كان المحلول حمضيًا، أم قاعديًا، أم متعادلاً.
  - يجب أن يحتوي حمض أرهينيوس على ذرة هيدروجين قابلة للتأين. ويجب أن تحتوي قاعدة أرهينيوس على مجموعة هيدروكسيد قابلة للتأين.
  - حمض برونستد - لوري مادة مانحة لأيون هيدروجين، بينما قاعدة برونستد - لوري مادة مستقبلية لأيون هيدروجين.
  - حمض لويس مادة تستقبل زوجًا من الإلكترونات، بينما قاعدة لويس مادة تعطي زوجًا من الإلكترونات.

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

## مراجعة المفردات

إلكتروليت: مركب أيوني يوصل محلوله المائي التيار الكهربائي.

## المفردات الجديدة

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

## قوة الأحماض والقواعد Strength of Acids and Bases

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

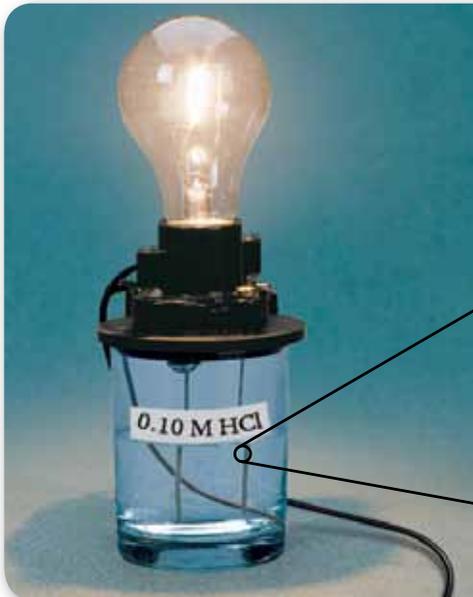
**الربط مع الحياة** تعتمد التميريرة الناجحة في لعبة كرة القدم على المرسل والمستقبل. كأن نعرف مثلاً مدى استعداد المرسل لتمرير الكرة، ومدى استعداد المستقبل لاستقبال الكرة. وكذلك الحال في تفاعلات الأحماض والقواعد، حيث يعتمد سير التفاعل على مدى استعداد الحمض لمنح أيون الهيدروجين، ومدى استعداد القاعدة لتقبله.

### قوة الأحماض Strength of Acids

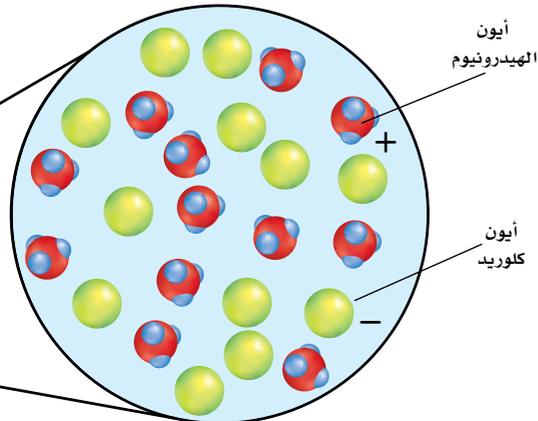
من خواص المحاليل الحمضية والقاعدية أنها توصل الكهرباء. ما المعلومات التي تستطيع معرفتها عن أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في هذه المحاليل المائية من خلال توصيلها للكهرباء؟

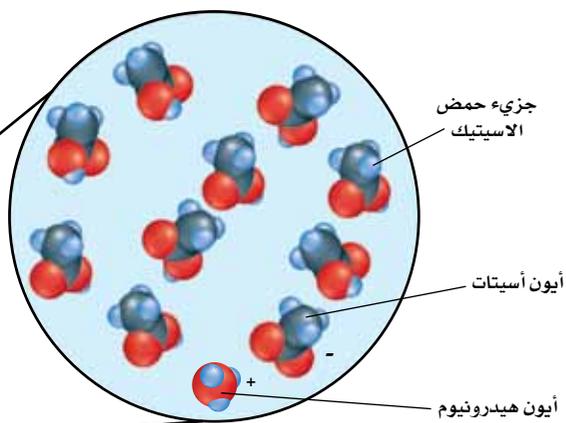
افترض أنك تفحص قدرة التوصيل الكهربائي لمحلول مائي تركيزه 0.10 M من حمض الهيدروكلوريك، وآخر مماثل من حمض الإيثانويك (الخلّيك). يدل توهج المصباح الكهربائي في الشكل 11-5 على أن المحلول يوصل الكهرباء. ولكن إذا قارنت توهج المصباح المتصل بمحلول HCl في الشكل 11-5 مع توهج المصباح المتصل بمحلول  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  في الشكل 12-5، فلا بد أن تلاحظ فرقاً؛ فتوصيل محلول HCl للكهرباء أفضل من توصيل محلول  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ . فلم هذا الفرق مع أن تركيزي الحمضين متساويان؟

**الأحماض القوية** يعتمد توصيل التيار الكهربائي على عدد الأيونات في المحلول، وجزئيات HCl الموجودة في المحلول جميعها قد تأينت كلياً مكونة أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



**الشكل 11-5** يتوهج المصباح بقوة عندما يوضع القطبان في محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 0.10 M؛ لأن جميع HCl قد تتحلل إلى أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



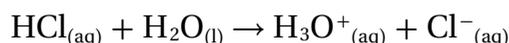


**الشكل 5-12** عند وضع الأقطاب في محلول حمض الخليك بتركيز 0.10 M يكون الضوء خافتاً. قارن هذه الصورة بالصورة بالشكل 5-11.

**فسر** الفرق بين شدتي إضاءة المصباحين حسب تركيز الأيونات في المحلول.

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

يمكن تمثيل تأين حمض الهيدروكلوريك في الماء بالمعادلة الآتية:



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

**الأحماض الضعيفة** إذا كان سبب الإضاءة القوية لمصباح الجهاز الذي يحتوي على HCl هو عدد الأيونات الكبير في المحلول - كما في الشكل 5-11 - فإن الإضاءة الخافتة لمصباح الجهاز الذي يحتوي على محلول HC2H3O2 المبين في الشكل 5-12، لا بد أن يكون سببها احتواء محلول حمض الإيثانويك (الخليك) على عدد أقل من الأيونات. ولأن المحلولين يحتويان على التركيز المولاري نفسه لذا نستنتج أن حمض الإيثانويك لا يتأين كلياً. ولذلك يسمى الحمض الذي يتأين جزئياً فقط في المحلول المائي المخفف **الحمض الضعيف**. ولأن الأحماض الضعيفة تنتج أيونات أقل فإنها لا توصل الكهرباء جيداً مثل الأحماض القوية. ويبين الجدول 5-3 معادلات التأيين لبعض الأحماض الضعيفة والأحماض القوية الشائعة.

معادلات التأيين		الجدول 5-3	
أحماض ضعيفة		أحماض قوية	
معادلات التأيين	الاسم	معادلات التأيين	الاسم
$\text{HF} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{F}^-$	الهيدروفلوريك	$\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	الهيدروكلوريك
$\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2^-$	الإيثانويك	$\text{HI} \rightarrow \text{H}^+ + \text{I}^-$	الهيدروأيوديك
$\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HS}^-$	الهيدروكبريتيك	$\text{HClO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{ClO}_4^-$	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

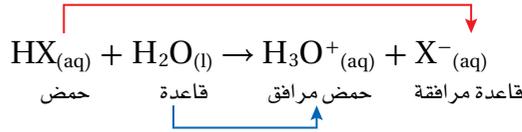
## واقع الكيمياء في الحياة

### سيانيد الهيدروجين



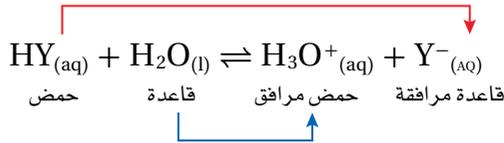
**مركب مهميت** سيانيد الهيدروجين HCN غاز سام يوجد في عوادم المركبات، وفي دُخان التبغ والخشب، وفي دُخان البلاستيك المحترق المحتوي على النيتروجين. وتطلق بعض الحشرات سيانيد الهيدروجين للدفاع عن نفسها. ويسمى محلول سيانيد الهيدروجين في الماء حمض الهيدروسيانيك. وتحتوي نوى بعض الفواكه ومنها الكرز والخوخ على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

**قوة الحمض ونموذج برونستد - لوري** هل يستطيع نموذج برونستد - لوري تفسير سبب تأين HCl كلياً بينما يكون  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$  القليل من الأيونات؟ تأمل تأين أي حمض قوي، كحمض HX على سبيل المثال. وتذكر أن الحمض الموجود على جهة المواد المتفاعلة من المعادلة ينتج قاعدة مُرافقة على جهة النواتج. وبالمثل فإن القاعدة الموجودة على جهة المواد المتفاعلة تنتج حمضاً مرافقاً.

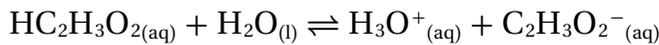


يمثل HX حمضاً قوياً وقاعدته المرافقة ضعيفة. أي أن HX يتأين بنسبة 100% تقريباً؛ لأن الماء قاعدة أقوى (في التفاعل الأمامي) من قاعدته المرافقة  $\text{X}^-$  (في التفاعل العكسي). أي أنه يقع اتزان التأين كلياً تقريباً إلى اليمين؛ لأن جذب القاعدة  $\text{H}_2\text{O}$  لأيون  $\text{H}^+$  أكبر من جذب القاعدة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

كيف يختلف الموضع بالنسبة لأي حمض ضعيف HY؟



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



لاحظ أن المعادلة تحتوي على سهمي اتزان.

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

**ثابت تأين الأحماض** يساعد نموذج برونستد - لوري على تفسير قوة الأحماض إلا أنه لا يُعبّر بطريقة كمية عن قوة الحمض أو المقارنة بين قوى الأحماض المختلفة. لذا يعد تعبير ثابت الاتزان قياساً كمياً لقوة الحمض.

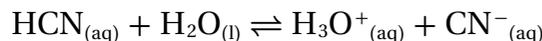
إن الحمض الضعيف ينتج خليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحلول المائي. لذا يعطي ثابت الاتزان  $K_{\text{eq}}$  قياساً كمياً لدرجة تأين الحمض. تأمل حمض الهيدروسيانيك HCN، والذي يستعمل في الصباغة، والحفر على الفولاذ، وتليين الفولاذ.

## مهمن في الكيمياء

### عامل المشتل الوظيفة الرئيسة لعامل

المشتل هي تكاثر النباتات ونموها. وهذا يشمل زراعتها، وتقليمها، ونقلها وبيع جميع أنواع المواد التي تتعلق بالنباتات. لذا يجب أن يعرف عامل المشتل المغذيات التي يحتاج إليها النبات للنمو الأفضل وظروف التربة، ومنها حموضة التربة التي تعزز نمو كل نوع من النباتات.

فيما يأتي معادلة التآين، وتعبير ثابت الاتزان لحمض الهيدروسيانيك:



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

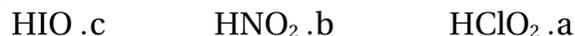
يعد تركيز الماء السائل في مقام التعبير ثابتاً في المحاليل المائية المخففة، لذلك يمكن دمج مع  $K_{eq}$  ليعطي ثابت اتزان جديداً  $K_a$ .

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

يسمى  $K_a$  ثابت تآين الحمض، وهو قيمة ثابت الاتزان لتآين الحمض الضعيف. وتدل قيمة  $K_a$  مثل أي ثابت اتزان آخر، على أن 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 هي الأصغر؛ وذلك لاحتواء محاليلها على أقل تراكيز أيونات وأعلى تراكيز لجزيئات الحمض غير المتآينة. ويحتوي الجدول 4-5 على قائمة لقيم  $K_a$  ومعادلات التآين لعدة أحماض ضعيفة. لاحظ أن الأحماض المتعددة البروتونات ليست قوية التآين بالضرورة؛ فلكل تآين للحمض المتعدد البروتونات قيمة  $K_a$  مختلفة.

### مسائل تدريبية

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



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

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

ثوابت تآين الأحماض الضعيفة		الجدول 4-5
$K_a$ (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
$4.5 \times 10^{-7}$	$\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	الكربونيك، التآين الأول
$4.7 \times 10^{-11}$	$\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	الكربونيك، التآين الثاني

## قارن بين قوى الأحماض

كيف تستطيع أن تحدد القوى النسبية للمحاليل الحمضية؟

### الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. استعمل مخبراً مدرجاً سعته 10 ml لقياس 3 ml من حمض الإيثانويك المركز. استعمل القطارة لنقل الحمض إلى الفجوة A1 من طبق التفاعلات البلاستيكية ذات الأربع والعشرين فجوة.
3. **تحذير:** حمض الإيثانويك (الخليك) المركز مادة أكالة وسامة عند الاستنشاق؛ لذا تعامل معها بحذر.
4. ضع قطبي جهاز التوصيلية 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 توصيلية المحلول وسجله.

5. أعد الخطوة 4 باستعمال حمض الإيثانويك 1.0 M وحمض الإيثانويك 0.10 M والفجوتين A3 و A4 على التوالي.

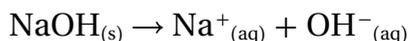
### التحليل

1. اكتب معادلة تأين حمض الإيثانويك في الماء، وتعبير ثابت الاتزان ( $K_{eq} = 1.8 \times 10^{-5}$ ). علام تدل قيمة  $K_{eq}$  حول درجة التأين؟
2. اشرح هل تتفق نسب التأين المئوية التقريبية الآتية مع نتائجك: حمض الإيثانويك (الخليك) المركز 6.0 M، 0.1%، 0.2%، 1.0 M حمض الإيثانويك 0.4%، 1.0 M حمض الإيثانويك 1.3%، 0.1 M.
3. اقترح فرضية تشرح ملاحظاتك مستعيناً في إجابتك عن السؤال 2.
4. استعمل فرضيتك للتوصل إلى استنتاج يتعلق بضرورة استعمال كميات كبيرة من الماء للغسل عندما ينسكب حمض على نسيج حي.

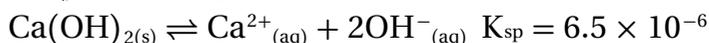
## قوة القواعد Strengths of Bases

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

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

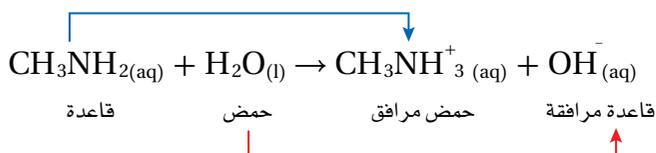


تعد بعض هيدروكسيدات الفلزات - ومنها هيدروكسيد الكالسيوم  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  - مصدرًا ضعيفاً لأيونات  $\text{OH}^-$ ؛ لأن ذوبانيتها منخفضة. لاحظ أن ثابت حاصل الذوبانية  $K_{sp}$  لهيدروكسيد الكالسيوم  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  صغير، مما يدل على أن كمية قليلة من  $\text{OH}^-$  توجد في المحلول المشبع.



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

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



### الجدول 5-5 معادلات التأين للقواعد القوية

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

ثابت التأيين لبعض القواعد		الجدول 5-6
$K_b$ (298 K)	معادلة التأيين	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.

**ثابت تأين القواعد** تكوّن القواعد الضعيفة مخاليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحاليل المائية، كما في الأحماض الضعيفة. ويعد ثابت الاتزان قياساً لمدى تأين القاعدة. وتبين المعادلة الآتية ثابت الاتزان لتأين الميثيل أمين في الماء:

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

ويمكن تعريف ثابت تأين القاعدة  $K_b$  على أنه قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين القاعدة. وكلما صغرت قيمة  $K_b$  كانت القاعدة أكثر ضعفاً. ويبين الجدول 5-6 قيم  $K_b$  ومعادلات التأيين لبعض القواعد الضعيفة.

### مسائل تدريبية

14. اكتب معادلات التأيين وتعبر ثابت التأيين للقواعد الآتية:



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

## التقويم 5-2

### الخلاصة

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

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 قيمة  $K_b$  للأنيلين  $C_6H_5NH_2$ .  
 $K_b = 4.3 \times 10^{-10}$
20. فسّر البيانات استعمل البيانات في الجدول 4-5 لوضع سبعة الأحماض بالترتيب حسب زيادة توصيلها للكهرباء.

• 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 تأين الماء  $K_w$

الرقم الهيدروجيني pH

الرقم الهيدروكسيدي pOH

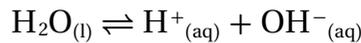
## أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني Hydrogen Ions and pH

**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. وتسلق 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 التأيّن الذاتي. ويبين الشكل 13-5 تكون أعداد متساوية من أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيد في عملية التأيّن الذاتي للماء. ويمكن تبسيط معادلة الاتزان على النحو الآتي:



**ثابت تأين 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 هي 1. ولأن تركيز الماء النقي ثابت، لذا لا يظهر  $[H_2O]$  في المقام.

#### ثابت تأين الماء $K_w$

حيث إن  $K_w$  هو ثابت تأين الماء،  $[H^+]$  يمثل

تركيز أيون الهيدروجين، و  $[OH^-]$  يمثل تركيز

أيون الهيدروكسيد.

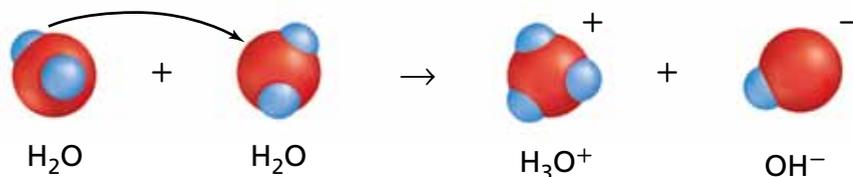
حاصل ضرب تراكيز أيون الهيدروجين وأيون الهيدروكسيد في المحاليل المائية المخففة يساوي  $K_w$ .

والتعبير  $K_w$  هو حالة خاصة لثابت الاتزان، ينطبق فقط على الماء. ويسمى ثابت تأين الماء، وهو قيمة تعبير ثابت الاتزان للتأيّن الذاتي للماء. لقد بينت التجارب أنّ  $[H^+]$  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

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 13-5** يسلك أحد جزيئات الماء

في التأيّن الذاتي للماء سلوك حمض،

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 ازداد تركيز أيونات  $H^+$  ينقص تركيز أيونات  $OH^-$ . وبالمثل فإن الزيادة في تركيز  $OH^-$  تسبب نقصاناً في تركيز أيونات  $H^+$ . فكّر في هذه التغييرات من خلال مبدأ لوتشاتلييه؛ تسبب إضافة أيونات هيدروجين إضافية إلى ماء في حالة اتزان ضغطاً وإجهاداً على النظام، لذا تكون ردة فعل النظام بطريقة تقلل من تأثير الضغط؛ حيث تتفاعل أيونات  $H^+$  المضافة مع أيونات  $OH^-$  لتكون المزيد من جزيئات الماء، وهكذا يقل تركيز  $OH^-$ .  
يبين المثال 1-5 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 5-1

احسب قيم  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  باستعمال  $K_w$  إذا كان تركيز أيون  $H^+$  في كوب قهوة عند درجة حرارة 298 K يساوي  $1.0 \times 10^{-5} M$ . 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  $1.0 \times 10^{-14}$ . ويمكنك 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 تدريجية

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.

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

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

22. تحدّد 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 بالرموز العلمية. 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 قيمته pH فيه تساوي 0.0 حمضًا قويًا؛ بينما يكون المحلول الذي قيمته 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. فمحلول له pH تساوي 3 له عشرة أضعاف تركيز المحلول الذي له pH تساوي 4. وبين الشكل 5-14 تدرج pH وقيمها لبعض المواد الشائعة.

**ما pOH؟** يكون من المناسب أحيانًا التعبير عن قاعدية أو 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.

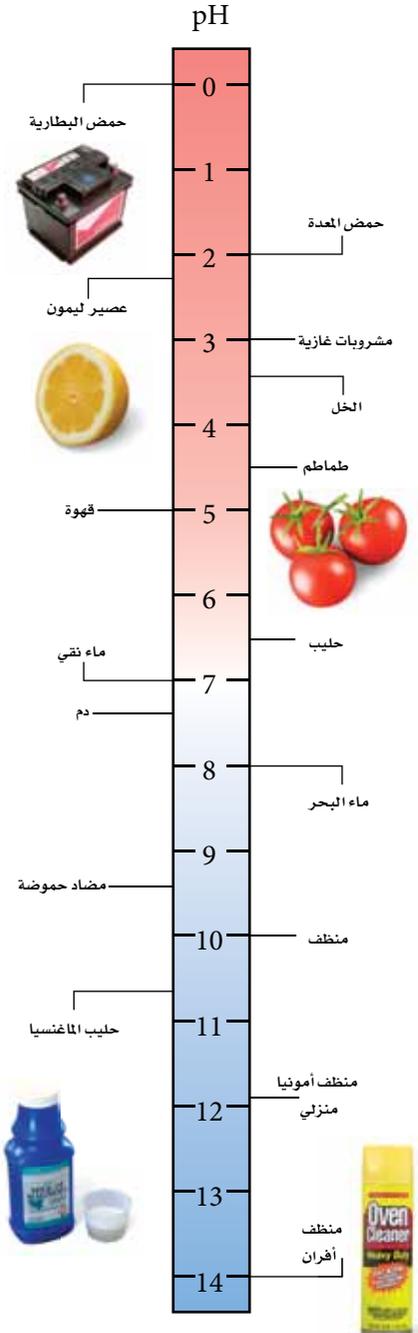
تكون قيم pOH عند درجة حرارة 298 K للمحاليل القاعدية أقل من 7، وللمحاليل المتعادلة تساوي 7؛ بينما يكون المحلول الذي تكون قيمته pOH له أعلى من 7 حمضياً. وكما في تدرج pH يمثل تغير وحدة واحدة من pOH تغيرًا مقداره 10 مرات في تركيز  $OH^-$ . وتوجد علاقة بين pH و pOH تمكننا من حساب أي منهما إذا عرفت قيمة الآخر.

### ما العلاقة بين pH و pOH؟

$$pH + pOH = 14.00$$

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

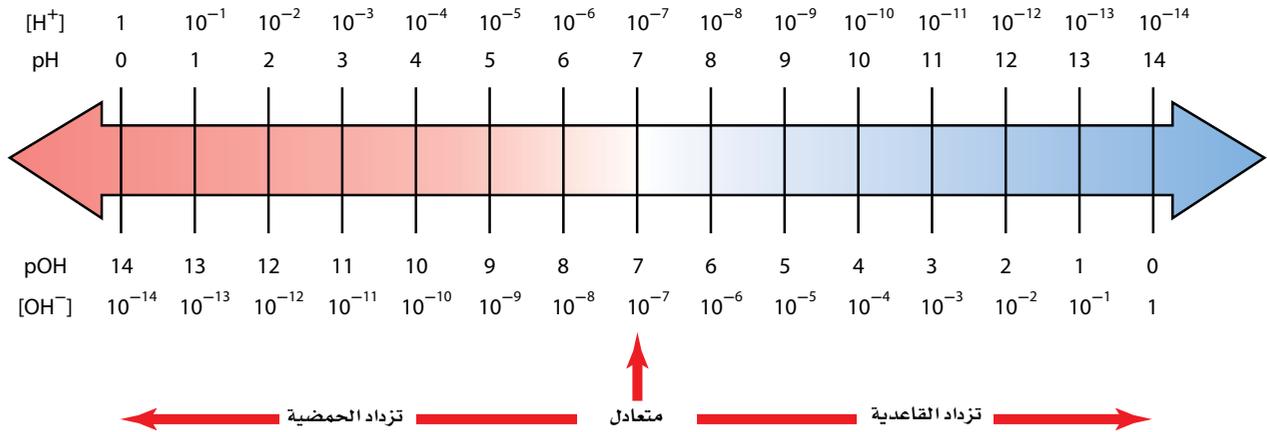
مجموع pH و pOH يساوي 14.00



الشكل 5-14 قارن بين قيم pH لهذه المواد المألوفة.

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

يوضح الشكل 15-5 العلاقة بين pH وتركيز  $H^+$ ، والعلاقة بين pOH وتركيز  $OH^-$  عند 298 K .



**الشكل 15-5** 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  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  مساوياً  $10^{-14}$ .

## مثال 2-5

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

### 1 تحليل المسألة

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

المطلوب

$$pH = ?$$

المعطيات

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

### 2 حساب المطلوب

اكتب معادلة pH

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

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

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

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

### 3 تقويم الإجابة

كان متوقعاً أن تكون قيمة pH تساوي 7.

### مسائل تدريجية

**23.** احسب قيمتي pH للمحلولين الآتيين عند درجة حرارة 298 K.

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

**24.** احسب قيمتي pH للمحلولين الآتيين عند درجة حرارة 298 K.

$$[H^+] = 0.000084 M . \mathbf{b} \quad [H^+] = 0.0055 M . \mathbf{a}$$

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

**حساب pOH و pH من  $[OH^-]$**  يظهر الشكل 16-5 صورة بقرة تتغذى على قش عولج بهادة الأمونيا التي تعمل على زيادة البروتينات عند إضافتها إلى علف الحيوانات. وتستعمل الأمونيا كذلك منظفًا منزليًا، وهو محلول مائي لغاز الأمونيا. وعادة ما يكون تركيز أيون الهيدروكسيد في المنظف  $4.0 \times 10^{-3} M$ . احسب pOH و pH للمنظف عند درجة حرارة 298 K.

### 1 تحليل المسألة

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

**المطلوب**  
pOH = ?  
pH = ?

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

### 2 حساب المطلوب

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

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

اكتب معادلة pOH  
عوض  $[OH^-] = 4.0 \times 10^{-3} M$

**pOH للمحلول هو 2.40.**

استعمل العلاقة بين pH و pOH لإيجاد قيمة pH

$$pH + pOH = 14.00$$

اكتب المعادلة التي تربط بين pH و pOH

$$pH = 14.00 - pOH$$

أوجد قيمة pH

$$pH = 14.00 - 2.40 = 11.60$$

عوض  $pOH = 2.40$

**قيمة pH للمحلول هو 11.60**

### 3 تقويم الإجابة

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

### مسائل تدريجية

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

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

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

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

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

**27.** احسب قيم pH و pOH للمحلولين المائين الآتين عند درجة حرارة 298 K

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

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

**28.** تحدد احسب قيم pH و pOH لمحلول مائي يحتوي  $1.0 \times 10^{-3} mol$  من HCl مذاب في 5.0 L من المحلول.



**الشكل 5-16** يستطيع المزارعون أن يزيدوا القيمة الغذائية للمواد النباتية ذات النوعية المتدنية. ومنها القش والتبن وغيرها من بقايا المزروعات، بوضع تلك المواد في جو من غاز الأمونيا مدة ثلاثة أسابيع.

**حساب تركيز الأيونات من قيم pH** قد تحتاج أحياناً إلى حساب تركيز أيونات  $H^+$  و  $OH^-$  من خلال معرفة قيمة pH للمحلول. والمثال 4-5 يبين كيفية حسابها.

#### مثال 5-4

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

#### 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 بدل قيمة  $pH = 7.40$

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

اكتب المعادلة التي تبين العلاقة بين pH و pOH

أوجد قيمة: pOH

$$7.40 = pH$$

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 يساوي  $2.5 \times 10^{-7} \text{ M}$ .

#### 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 الماغنيسيا،  $pH = 10.50$

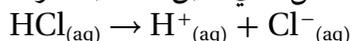
a . الحليب،  $pH = 6.50$

d . الأمونيا المنزلية،  $pH = 11.90$

b . عصير الليمون،  $pH = 2.37$

30. تحدّد 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 17-5؛ حيث تم تحضيرهما حديثاً، وسُجّلت مولارية كل منهما، وهي عدد المولات من الجزيئات أو وحدات الصيغ التي أُذيت 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 كتبت 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. وعادة ما يكون تركيز الأحماض القوية الأحادية البروتون مساوياً لتركيز أيونات  $\text{H}^+$ . لذا يمكنك أن تجد قيمة pH من خلال معرفتك لمولارية الحمض.

**المولارية والرقم الهيدروجيني pH للقواعد القوية** وبطريقة مماثلة، يكون محلول القاعدة القوية NaOH ذو التركيز 0.1 M الظاهر في الشكل 17-5 متأيناً كلياً.



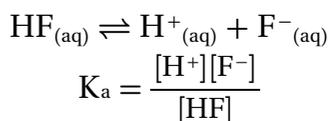
تنتج كل وحدة صيغة من NaOH أيون  $\text{OH}^-$  واحد. وهكذا يكون تركيز أيونات  $\text{OH}^-$  يساوي مولارية المحلول 0.1 M.

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

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

**ماذا قرأت؟ اشرح لماذا لا تستطيع أن تحصل على  $\text{H}^+$  مباشرة من مولارية محلول حمض ضعيف؟**

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



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



**الشكل 17-5** يرشدك الملصق

الموجود على دورق الحمض القوي أو القاعدة القوية عن تركيز أيونات الهيدروجين أو أيونات الهيدروكسيد في المحلول. ويعود السبب في ذلك إلى وجود الأحماض والقواعد القوية 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 (الفورميك)  $HCOOH$  لمعالجة عصارة أشجار المطاط وتحويلها إلى مطاط طبيعي. فإذا كانت قيمة pH لمحلول حمض الميثانويك الذي تركيزه  $0.100 M$  يساوي  $2.38$ ، فما قيمة  $K_a$  للحمض؟

### 1 تحليل المسألة

لديك pH لمحلول حمض الميثانويك، وهذا يمكنك من حساب تركيز أيون الهيدروجين.



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

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

**المطلوب**

$$K_a = ?$$

**المعطيات**

$$pH = 2.38$$

$$0.100 M = \text{تركيز المحلول}$$

### 2 حساب المطلوب

اكتب معادلة pH

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

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

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

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

$$pH = 2.38 \text{ عوّض}$$

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

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

اطرح  $[H^+]$  من  $[HCOOH]$

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

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

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

اكتب قانون ثابت تأين الحمض.

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

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

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:

a. محلول  $HClO_2$  تركيزه  $0.0400 M$  و  $pH = 1.80$

b. محلول  $H_3AsO_4$  تركيزه  $0.220 M$  و  $pH = 1.50$

32. احسب  $K_a$  للأحماض الآتية:

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

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

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

33. تحدّد 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 18-5** يمكن الحصول على قيمة تقريبية لدرجة pH للمحلول بوضع قطعة من ورق تباع الشمس الأحمر بالمحلول، ومقارنة لونها بمجموعة من الألوان المعيارية، كما هو مبين في الصورة a. أما مقياس الحموضة الرقمي والموضح في الصورة b فيستعمل هنا لقياس درجة حموضة ماء المطر؛ 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؛ فعند غمس ورقة كاشف pH في محلول حمضي أو قاعدي يتغير لونها، ثم نقوم بمقارنة اللون الجديد للورقة بألوان كاشف pH المعياري الموجود على ورقة مدرّجة، كما هو مبين في الشكل 18-5. ويعطي مقياس pH الرقمي الموضح في الشكل 18-5 قيمة الرقم الهيدروجيني بصورة أكثر دقة؛ فعندما توضع الأقطاب في المحلول يعطي المقياس قراءة مباشرة.

## التقويم 3-5

### الخلاصة

- 34. الفكرة الرئيسية** اشرح لماذا تكون قيمة pH للمحلول الحمضي دائماً أصغر من قيمة pOH للمحلول نفسه؟
- 35.** صف كيف يمكنك تحديد قيمة pH لمحلول ما إذا علمت قيمة pOH للمحلول نفسه؟
- 36.** اشرح معنى  $K_w$  في المحاليل المائية.
- 37.** اشرح مستعملاً مبدأ لوتشاتلييه ما يحدث لـ  $[H^+]$  في محلول حمض الإيثانويك الذي تركيزه 0.10M عند إضافة قطرة من محلول NaOH.
- 38.** اكتب قائمة بالمعلومات الضرورية لحساب قيمة  $K_a$  لحمض ضعيف.
- 39.** احسب إذا علمت أن قيمة pH لحبة طماطم تساوي 4.50 تقريباً، فما  $[H^+]$  و  $[OH^-]$  فيها؟
- 40.** حدد قيمة pH لمحلول يحتوي على  $1.0 \times 10^{-9}$  mol من أيونات  $OH^-$  لكل L.
- 41.** احسب قيمة pH في المحاليل الآتية:
- a.** 1.0 M HI . **b.** محلول  $HNO_3$  الذي تركيزه 0.050M . **d.** محلول  $Mg(OH)_2$  الذي تركيزه  $2.4 \times 10^{-5}$  M . **c.** محلول KOH الذي تركيزه 1.0 M
- 42.** تفسير الرسوم ارجع إلى الشكل 15-5 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 أكثر قاعدية؟
- ثابت تأين الماء،  $K_w$ ، يساوي حاصل ضرب تركيز أيون  $H^+$  وتركيز أيون  $OH^-$  المحلول هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين. pOH هو سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروكسيد. ومجموع pH و pOH يساوي 14.
- قيمة pH للمحلول المتعادل تساوي 7.0، وقيمة pOH في المحلول نفسه تساوي 7.0؛ لأن تركيز أيونات الهيدروجين يساوي تركيز أيونات الهيدروكسيد.

- تكتب معادلات كيميائية لتفاعلات التعادل.
- تشرح كيفية استعمال تفاعلات التعادل في معايرة الأحماض والقواعد.

- تقارن بين خواص المحاليل المنظمة والمحاليل غير المنظمة.

## مراجعة المفردات

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

## المفردات الجديدة

تفاعل التعادل

الملح

المعايرة

المحلول القياسي

نقطة التكافؤ

كاشف الحمض والقاعدة

نقطة النهاية

تمية الأملاح

المحلول المنظم

سعة المحلول المنظم

## التعادل Neutralization

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

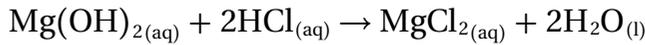
**الربط مع الحياة** عندما يقدم فريقان متناظران حُججاً مقنعة تجد نفسك متحيراً بين الرأيين، لذا يكون رأيك محاييداً أو متعادلاً؛ إذ تتساوى وجهتا النظر عندك، وبطريقة مماثلة يكون المحلول متعادلاً عندما تتساوى أعداد أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في المحلول.

### التفاعلات بين الأحماض والقواعد Reactions Between Acids and Bases

هل أحسست يوماً بسوء الهضم أو حرقة في فم المعدة؟ هل تناولت أحد مضادات الحموضة كما في الشكل 5-19 لتخفف من حالة عدم الارتياح تلك؟ ما نوع التفاعل الذي يحدث عندما يلامس هيدروكسيد المغنسيوم  $Mg(OH)_2$  -وهو المركب النشط في حليب المغنيسيا- محلول حمض الهيدروكلوريك  $H^+$  و  $Cl^-$  الذي تنتجه المعدة؟

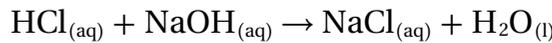
عندما يتفاعل  $Mg(OH)_2$  مع حمض  $HCl$  يحدث تفاعل تعادل. وتفاعل التعادل محلول حمض مع محلول قاعدة لإنتاج ملح وماء. والملح مركب أيوني يتكون من أيون موجب من قاعدة وأيون سالب من حمض، لذا يكون تفاعل التعادل إحلالاً متبادلاً.

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

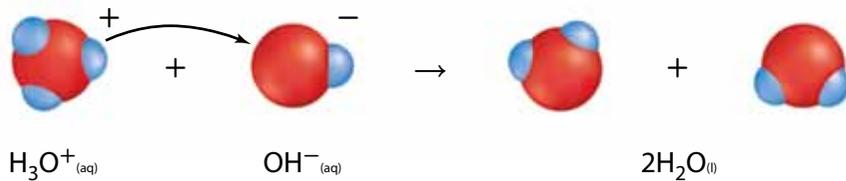


ماء + ملح  $\rightarrow$  حمض + قاعدة

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

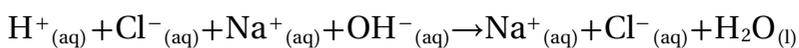


**الشكل 5-19** يمكن لأي جرعة من أي من هذه المواد المضادة للحموضة أن تخفف من أعراض سوء الهضم الحمضي؛ وذلك بتفاعلها مع المحلول الحمضي في المعدة ومعادلته.

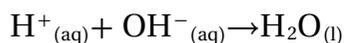


**الشكل 5-20** ينقل أيون الهيدرونيوم أيون الهيدروجين إلى أيون الهيدروكسيد. وعندما يخسر  $\text{H}_3\text{O}^+$  أيون هيدروجين يصبح جزيء ماء. وعندما يكسب  $\text{OH}^-$  أيون هيدروجين يصبح أيضًا جزيء ماء.

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



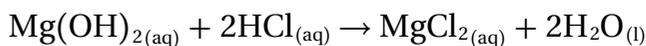
تظهر أيونات الصوديوم وأيونات الكلوريد على جانبي المعادلة، لذا تسمى أيونات مشاهدة؛ أي لا تدخل في التفاعل، ويمكن حذفها للحصول على المعادلة الأيونية الكلية لمعادلة حمض قوي مع قاعدة قوية.



لاحظ تفاعل التعادل في الشكل 5-20.

**ماذا قرأت؟** بين أن المعادلة الظاهرة في الشكل 5-20 تمثل معادلة تعادل لأي حمض قوي مع أي قاعدة قوية؛ وذلك بكتابة معادلة أيونية كاملة، ثم معادلة أيونية صافية لتعادل  $\text{HNO}_3$  مع  $\text{KOH}$ .

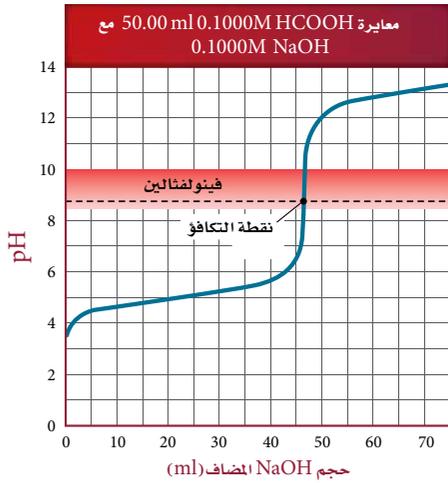
**معايرة الأحماض والقواعد** تتشابه الحسابات الكيميائية لحساب الكميات في تفاعل التعادل بين حمض وقاعدة مع أي تفاعل آخر يحدث في محلول. ففي تفاعل مضاد الحموضة الآتي، نجد أن  $1\text{ mol Mg}(\text{OH})_2$  يعادل  $2\text{ mol HCl}$ .



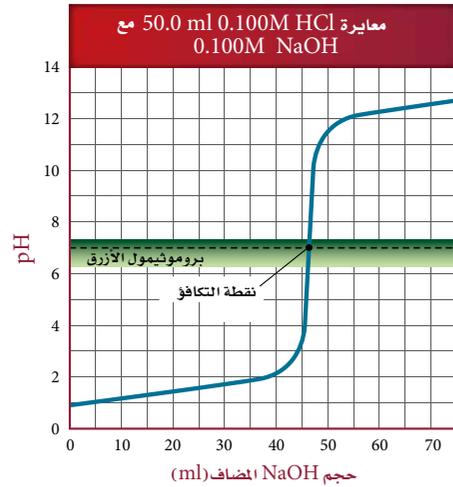
وتبين الحسابات الكيميائية أساس طريقة المعايرة، والتي تستعمل لتحديد تراكيز المحاليل الحمضية والقاعدية. **المعايرة** طريقة لتحديد تركيز محلول ما، وذلك بتفاعل حجم معلوم منه مع محلول تركيزه معلوم. فإذا أردت إيجاد تركيز محلول حمضي فسوف تعالجه مع محلول قاعدة تركيزها معلوم. كما يمكنك معايرة قاعدة تركيزها غير معلوم مع حمض تركيزه معلوم. كيف تتم معايرة حمض وقاعدة؟ بين الشكل 5-21 نوعًا من المعدات المستخدمة في عملية المعايرة. ويستعمل في هذه الطريقة مقياس  $\text{pH}$  لمراقبة التغير في قيم  $\text{pH}$  في أثناء سير عملية المعايرة.

**الشكل 5-21** عند معايرة حمض مع قاعدة، يستعمل مقياس  $\text{pH}$  لقياس درجة  $\text{pH}$  للمحلول الحمضي في الكأس، في حين تتم إضافة محلول قلوي معروف التركيز من السّحاحة.





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 جهاز pH في هذا المحلول، وتقرأ قيمتها الابتدائية للمحلول وتسجل.
2. تملأ السحاحة بمحلول المعايرة المعلوم تركيزه. يسمى هذا المحلول **المحلول القياسي**.
3. تضاف حجوم 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 النقطة التي يتساوى عندها عدد مولات  $H^+$  من الحمض مع عدد مولات  $OH^-$  من القاعدة.

يبين الشكل 22a-5 كيف تتغير قيمة pH للمحلول في أثناء معايرة 50.0 ml HCl الذي تركيزه 0.100 M، وهو حمض قوي، مع القاعدة القوية NaOH ذات التركيز 0.100 M، حيث كانت قيمة pH الأولية لـ HCl تساوي 1.00. وفي أثناء إضافة NaOH يتعادل الحمض، وتزداد قيمة pH المحلول تدريجياً. إلا أنه عندما تُستهلك أيونات  $H^+$  جميعها تزداد قيمة pH على نحو كبير عند إضافة حجم صغير جداً من NaOH. وتحدث هذه الزيادة الحادة في قيمة pH عند نقطة تكافؤ المعايرة. إن إضافة المزيد من NaOH بعد نقطة التكافؤ ينجم عنه زيادة تدريجية مرة أخرى في pH.

لعلك تعتقد أنه يجب أن تكون نقطة التكافؤ في عمليات المعايرة جميعها عندما تكون قيمة pH تساوي 7؛ لأنه عند هذه النقطة تتساوى تراكيز أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد، فيصبح المحلول متعادلاً. ولكن هذا غير صحيح، فبعض المعايير لديها نقاط تكافؤ عند قيم pH أقل من 7، وبعضها لديه نقاط تكافؤ أكبر من 7. وتحدث هذه الاختلافات لأن هناك تفاعلات بين الأملاح التي تكونت والماء، كما ستعلم ذلك لاحقاً. يبين الشكل 22b-5 أن نقطة التكافؤ في معايرة حمض الميثانويك - وهو حمض ضعيف - بهيدروكسيد الصوديوم - وهي قاعدة قوية - بحيث تقع قيم pH بين 8 و 9.

التحقق من الرسم البياني حدد اختلافين بين الرسمين البيانيين في الشكل 22-5.

### الشكل 22-5 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 بروموتيمول الأزرق لونه عند هذه النقطة. أما في الشكل b فتتم معايرة حمض ضعيف HCOOH بقاعدة قوية NaOH ولا تظهر نقطة التكافؤ عند  $pH = 7$ ، فيغير الكاشف فينولفتالين لونه عند نقطة التكافؤ الموضحة في الشكل.

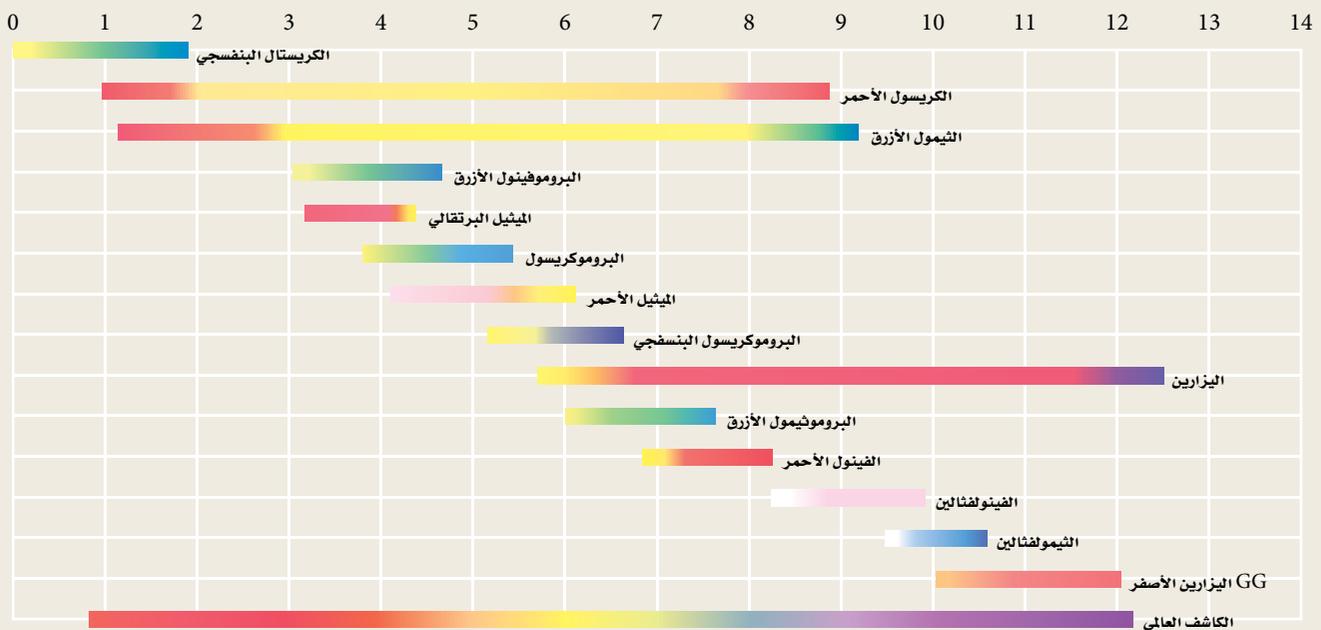
قارن بين نقطتي التكافؤ في الرسمين.

**الشكل 5-23** يصبح لون الشاي الأحمر فاتحاً عند إضافة عصير الليمون إليه؛ لأنه يحتوي 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 أصبغاً 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 5-23؛ إذ يحتوي الشاي على مواد تسمى بوليفينولات polyphenols، تحتوي على ذرات متأينة جزئياً من الهيدروجين، لذا فهي أحماض ضعيفة. وعند إضافة الحمض الموجود في عصير الليمون إلى كوب شاي يقل تأين الحمض في الشاي حسب مبدأ لوتشاتلييه، فيصبح لون البوليفينولات غير المتأينة أكثر وضوحاً، ويظهر الشكل 5-24 العديد من الكواشف التي يستعملها الكيميائيون. إن أزرق بروموثيمول كاشف مناسب عند معايرة حمض قوي بقاعدة قوية، أما الفينولفتالين فيغير لونه عند نقطة التكافؤ عند معايرة حمض ضعيف بقاعدة قوية، كما هو مبين في الشكل 5-22.

**الشكل 5-24** إن عملية اختيار الكاشف الصحيح مهمة جداً؛ إذ يجب أن يغير الكاشف لونه عند نقطة التكافؤ التي لا تكون دائماً عند  $pH = 7$ .





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



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



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

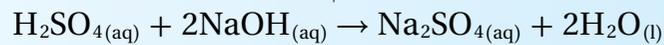
**الشكل 5-25** المعايرة طريقة دقيقة تحتاج إلى تدريب وممارسة. تعمل الورقة البيضاء الموضوعة تحت الدورق على توفير خلفية مناسبة تساعد على رؤية التغير في لون الكاشف.

**الكواشف ونقطة نهاية المعايرة** تعد 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**. 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 5-25 طريقة معايرة محلول مجهول التركيز من حمض الميثانويك HCOOH مع محلول NaOH الذي 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 حسب 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 2:1 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 6-5 في الصفحة الآتية.

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

### 1 تحليل المسألة

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

#### المعطيات

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

$$M_A = ? \text{ mol/l} \quad V_B = 18.28 \text{ ml NaOH}$$

### 2 حساب المطلوب

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

1 mol HCOOH تعادل 1 mol NaOH

اكتب النسبة المولية للحمض والقاعدة.

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

حوّل حجم القاعدة من ml إلى L.

لحساب عدد مولات NaOH.

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

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

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

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

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

لحساب مولات HCOOH.

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

طبّق العلاقة المولية بين NaOH و HCOOH

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

لحساب مولارية HCOOH

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

استعمل العلاقة بين مولات الحمض، ومولارية الحمض، وحجم

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

الحمض.

أوجد قيمة  $M_A$ .

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

حول حجم الحمض من ml إلى L

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

عوض  $V_A = 0.02500 \text{ L}$ .

### 3 تقويم الإجابة

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

#### مسائل تدريبية

43. ما مولارية محلول حمض النيتريك إذا تطلب 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 تطلب 49.90 ml HCl وتركيزه 0.5900 M لمعادلة 25.00 ml من هذا المحلول؟

45. تحدّد 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؟

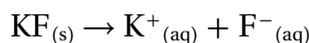
## تميّه الأملاح Salt Hydrolysis



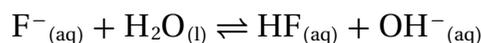
**الشكل 5-26** يعطي كاشف البروموثيمول الأزرق نتائج مدهشة عند إضافته إلى ثلاثة محاليل من الأملاح الأيونية. فمحلول  $\text{NH}_4\text{Cl}$  حمضي، ومحلول  $\text{NaNO}_3$  متعادل، بينما محلول  $\text{KF}$  قاعدي. ويُعزى التفسير إلى قوى الأحماض والقواعد التي تكوّنت منها هذه الأملاح.

أضيفت بضع قطرات من محلول كاشف البروموثيمول الأزرق - انظر الشكل 5-26 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 **تميّه الأملاح**، حيث تستقبل الأيونات السالبة من الملح المتأين في أثناء هذه العملية أيونات الهيدروجين من الماء، أو تمنح الأيونات الموجبة من الملح المتفكك أيونات الهيدروجين للماء.

**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، ويعد أيون  $\text{F}^-$  قاعدة ضعيفة حسب برونستد - لوري. لذا توجد بعض أيونات الفلوريد في حالة اتزان مع الماء، كما في التفاعل الآتي:

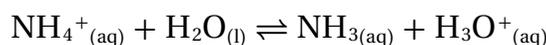


وهذا يعني أن المواد الناتجة تتكون من جزيئات فلوريد الهيدروجين وأيونات  $\text{OH}^-$  مما يجعل المحلول قاعدياً.

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



لا تتفاعل أيونات  $\text{Cl}^-$  مع الماء، ولكن أيون  $\text{NH}_4^+$  هو حمض ضعيف حسب برونستد - لوري. لذا تتفاعل أيونات الأمونيوم مع جزيئات الماء منتجة حالة الاتزان الآتية:



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

**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 للملح بسيط جداً، وقد لا يحدث تميّه أبداً؛ لأن  $\text{Na}^+$  و  $\text{NO}_3^-$  لا يتفاعلا مع الماء، لذا يكون محلول نترات الصوديوم متعادلاً.

### مسائل تدريبية

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

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

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



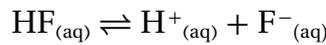
**الشكل 5-27** لكي تكون البيئة صحيّة لقناديل البحر، يجب أن تبقى قيمة pH لماء أحواض الأحياء المائية بين 8.1 و 8.4.

## المحاليل المنظمة Buffered Solutions

من المهم جداً لقناديل البحر المبيئة في الشكل 27-5 أن تبقى قيم pH لمياه أحواض الأحياء المائية ضمن مدى ضيق. وكذلك الأمر لجسم الإنسان؛ فمن المهم أيضاً بقاء قيمة pH ثابتة، حيث يجب أن يبقى pH لدم 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 ترتفع قيم pH من 7.0 إلى 12.0. ولكن عند إضافة الكمية نفسها من HCl أو NaOH إلى 1 L من محلول منظم، قد يتغير pH بها 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. فمثلاً، افترض أن محلولاً منظماً يحتوي على تراكيز 0.1 M من حمض الهيدروفلوريك HF وفلوريد الصوديوم NaF، حيث يعطي NaF أيونات F<sup>-</sup> بتركيز 0.1 M والتي تعد القاعدة المرافقة لحمض HF، لذا يتحقق الاتزان الآتي:

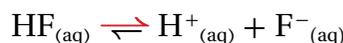


**إضافة حمض** عند إضافة حمض إلى هذا المحلول المنظم فإن الاتزان يندفع إلى اليسار حسب مبدأ لوتشاتلييه؛ لأن أيونات H<sup>+</sup> المضافة من الحمض تكون ضغطاً على الاتزان. وللتقليل من أثر هذا الضغط تتفاعل أيونات H<sup>+</sup> مع F<sup>-</sup> لتكوين المزيد من جزيئات HF.



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 H<sup>+</sup> التي أضيفت.

**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، يستطيع النظام أن يحافظ على  $\text{pH}$  قريب من 7.21. لاحظ أن  $\text{pH} = -\log K_a$ . يحتوي الجدول 5-7 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 واقياً.

يعمل الجدار البحري العالي مصدراً (Buffer) لحماية المنازل

المنبئة على الشاطئ من العواصف البحرية.

### المحاليل المنظمة والأزواج المترافقة

### الجدول 5-7

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

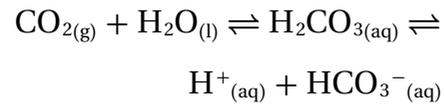
#### التحليل

سيغير موضع اتزان  $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$  حسب مبدأ لوتشاتلييه اعتماداً على معدل الأيض في الجسم وعوامل أخرى. وبالإضافة إلى ذلك تستطيع الرئتان أن تغيرا سرعة طرد  $\text{CO}_2$  من الجسم عن طريق التنفس، وتستطيع الكلتيان أن تغيرا سرعة إزالة أيونات  $\text{HCO}_3^-$ .

#### التفكير الناقد

1. حدد كم يزيد  $[\text{H}^+]$  إذا تغير pH الدم من 7.4 إلى 7.1
2. اقترح سبباً يفسر لماذا تعد نسبة 20:1 من  $\text{HCO}_3^-$  إلى  $\text{CO}_2$  في الدم مناسبة للحفاظ على pH مناسب؟
3. توقع ما الوضع الذي يرتفع فيه pH الدم أو ينخفض، وفي أي اتجاه يميل اتزان  $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$  في كل من الحالات الآتية:
  - a. شخص لديه حالة فيروسية شديدة في المعدة يتقيأ عدة مرات في فترة 24 ساعة.
  - b. شخص يأخذ كمية كبيرة من  $\text{NaHCO}_3$  لوقاية حرقة في المعدة.

كيف يحافظ الدم على قيمة pH ثابتة؟ يحتوي دم الإنسان على ثلاثة أنواع من الخلايا. الخلايا الحمراء التي تنقل الأوكسجين 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  $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$ .



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

## التقويم 5-4

### الخلاصة

- يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التعادل.
  - تمثل المعادلة الأيونية النهائية الآتية تعادل حمض قوي مع قاعدة قوية:
 
$$\text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$$
  - 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  $\text{pH} = 7$  والثانية عند إضافة الكمية نفسها من القاعدة إلى محلول منظم له  $\text{pH} = 7$ .
  51. احسب مولارية محلول حمض الهيدروبروميك HBr إذا لزم 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 له  $\text{pH} = 9.4$ ؟ وما نسبتها؟ استعمل الجدول 5-7.
  53. صمم تجربة صف كيف تصمم معايرة وتجربها باستعمال  $\text{HNO}_3$  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، يجب خبز العجين بسرعة وفوراً قبل أن تتمكن الفقاعات من الاختفاء. وتؤدي عملية الخبز إلى تمدد الفقاعات فتنتفخ الكعكة. وعندما يتصلب العجين تحتجز الفقاعات، كما في الشكل 2.

**مسحوق الخبز Baking Powder** إذا لم تتضمن الوصفة سائلاً حمضياً يستعمل مسحوق الخبز 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 موثوقاً لثاني أكسيد الكربون، وتساعد صودا الخبز على معادلة الحمض.

## الكتابة في الكيمياء

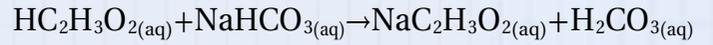
**حلل** إذا تطلبت وصفة استعمال الطحين والملح والسكر والنخالة والحليب والبيض والسمن أو الزيت النباتي، فهل تستعمل صودا الخبز أو مسحوق الخبز؟ فسر إجابتك.

[www.obeikaneducation.com](http://www.obeikaneducation.com)

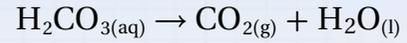
## تفاعلات الأحماض والقواعد وعملية الخبز

هل رأيت فيما مضى تشبيهاً 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 بيكربونات الصوديوم، وهو الاسم الكيميائي لصودا الخبز؛ حيث تتفاعل صودا الخبز عند استعمالها في الطبخ مع سوائل معتدلة الحمضية، فتتكون فقاعات ثاني أكسيد الكربون. وتشمل السوائل المعتدلة الحمضية الخل والعسل ودبس السكر وعصير الحمضيات ومخيض اللبن وغيرها.



**الشكل 1** يكون ثاني أكسيد الكربون الفقاعات عندما تضاف صودا الخبز - وهي قاعدة - إلى الخل، وهو حمض.

# مختبر الكيمياء

## معايرة القاعدة

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

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

### المواد والأدوات اللازمة

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

### إجراءات السلامة

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

### الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

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 فثالات البوتاسيوم الهيدروجينية  $KHC_8H_4O_4$ ، الذي كتلته المولية = 204.32 g/mol) وضعها في الدورق المخروطي سعته 250 ml. ثم سجل هذه الكتلة.

4. استعمل قارورة الغسل لغسل الجزء الداخلي من الدورق، وأضف 50 ml تقريباً من الماء، وقطرتين من محلول كاشف الفينولفثالين.

5. املاً السحاحة بمحلول NaOH، على أن يكون مستوى السائل عند علامة الصفر أو تحتها. للتخلص من أي هواء قد يكون عالماً في السحاحة، مرّر كمية صغيرة من القاعدة إلى وعاء المهملات. لاحظ حجم المحلول في السحاحة حتى أقرب 0.02 ml، وسجل هذه القراءة الأولية.

6. ضع قطعة ورق بيضاء على قاعدة حامل الحلقة. وحرك الدورق حركة دورانية في أثناء صب محلول NaOH ببطء من السحاحة إلى الدورق.

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

7. عندما يبقى اللون الوردي فترة أطول بعد التحريك الدوراني للدورق، أضف محلول القاعدة قطرة بعد 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 الفضلات** تخلص من المحاليل المتعادلة في المصرف مع كمية وافرة من الماء.

### حل واستنتج

1. **فسّر 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؟

3. **احسب** حوّل حجم القاعدة إلى لترات.

4. **احسب** مولارية القاعدة بقسمة عدد مولات القاعدة على حجم القاعدة بال لتر.

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.

## 5-1 مقدمة في الأحماض والقواعد

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

### المفردات

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

### المفاهيم الرئيسية

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

## 5-2 قوة الأحماض والقواعد

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

### المفردات

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

### المفاهيم 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.

### 5-3 أيونات الهيدروجين والرقم الهيدروجيني

#### الفكرة الرئيسية

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

#### المفاهيم الرئيسية

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

#### المفاهيم 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.
- مجموع 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.

### 5-4 التبادل

#### الفكرة الرئيسية

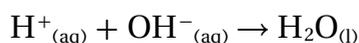
يتفاعل الحمض مع القاعدة في تفاعل التبادل لينتج ملحًا وماء.

#### المفاهيم الرئيسية

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

#### المفاهيم الرئيسية

- يتفاعل حمض مع قاعدة لتكوين ملح وماء في تفاعل التبادل.
- تمثل المعادلة الأيونية النهائية الآتية تعادل حمض قوي مع قاعدة قوية:



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

## 5-1

## إتقان المفاهيم

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

55. اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل التأين الذاتي للماء.

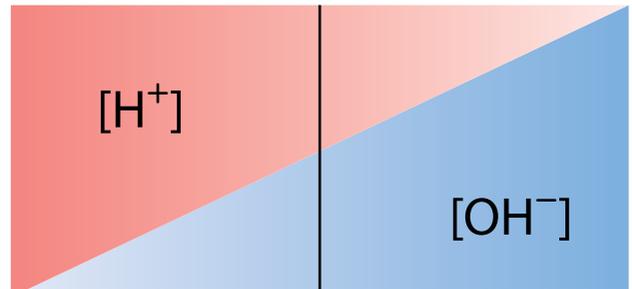
56. صنف كلاً مما يأتي إلى حمض أرهينوس أو قاعدة أرهينوس:



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

58. اشرح ما تعنيه المساحتان المظللتان عن اليمين من الخط العمودي الغامق في الشكل 5-28.

← قاعدية — متعاد — حمضية →



الشكل 5-28

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

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

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

62. اشرح كيف يختلف تعريف حمض لويس عن تعريف حمض برونستد - لوري؟

## إتقان حل المسائل

63. اكتب معادلة كيميائية موزونة لكل مما يأتي:

a. تحلل هيدروكسيد المغنسيوم الصلب عند وضعه في الماء.

b. تفاعل فلز المغنسيوم مع حمض الهيدروبروميك.

c. تأين حمض البروبانويك  $CH_3CH_2COOH$  في الماء.

d. التأين الثاني لحمض الكبريتيك في الماء.

## 5-2

## إتقان المفاهيم

64. اشرح الفرق بين حمض قوي وحمض ضعيف.

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



الشكل 5-29

66. أي الكاسين في الشكل 5-29 قد تحتوي على محلول حمض الهيبوكلوروز بتركيز 0.1 M؟ وضح إجابتك.

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

68. حدد الأزواج المترافقة في تفاعل  $H_3PO_4$  مع الماء.

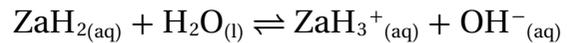
## إتقان حل المسائل

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

70. 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  $C_2H_5NH_2$ .

72. تتفاعل القاعدة الضعيفة  $ZaH_2$ ، مع الماء لتعطي محلولاً تركيز أيون  $OH^-$  فيه يساوي  $2.68 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ ، 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 تحضّر محلولاً مخففاً منه؟ ثم اختر حمضاً ضعيفاً، وشرح كيف تحضّر محلولاً مركزاً منه؟

## 5-3

## إتقان المفاهيم

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

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

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

77. استعمل مبدأ 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 K حيث  $[H^+] = 5.40 \text{ M} \times 10^{-3}$ ؟

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

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

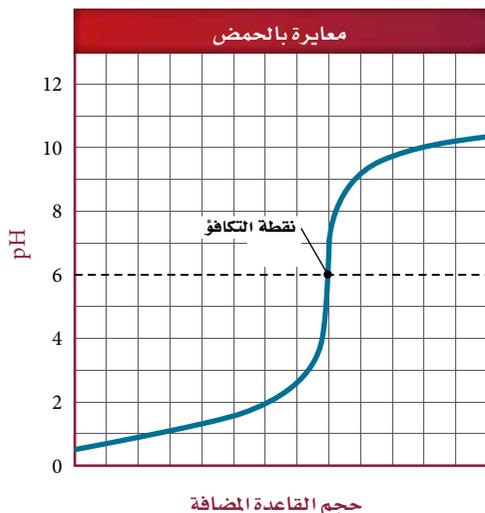
81. منخطف الفلزات يستعمل حمض الكروميك منظفًا صناعيًا للفلزات. احسب قيمة  $K_a$  للتأين الثاني لحمض الكروميك  $H_2CrO_4$  إذا كان لديك محلول تركيزه 0.040 M من كرومات الصوديوم الهيدروجينية قيمة pH لها تساوي 3.946؟

## 5-4

## إتقان المفاهيم

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

83. ما كواشف الأحماض والقواعد المبيّنة في الشكل 24-5، والتي من المناسب استعمالها في تفاعل التعادل المبين منحنى معايرته في الشكل 30-5؟ ولماذا؟



الشكل 30-5  
حجم القاعدة المضافة

## 5 مراجعة الفصل

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 31-5 مغموس في محلول حمض أحادي البروتون، HA، تركيزه 0.200 M عند درجة حرارة 303 K. ما قيمة  $K_a$  للحمض عند درجة حرارة 303 K؟



الشكل 31-5

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

85. ماذا يحدث عند إضافة حمض إلى المحلول المنظم  $HF / F^-$ ؟

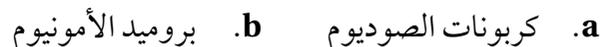
86. عند إضافة الميثيل الأحمر إلى محلول مائي ينتج لون وردي. وعند إضافة الميثيل البرتقالي إلى المحلول نفسه ينتج لون أصفر. ما مدى pH تقريباً للمحلول؟ استعمل الشكل 24-5.

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



### إتقان حل المسائل

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



89. تنقية الهواء يستعمل هيدروكسيد الليثيوم لتنقية الهواء بإزالة ثاني أكسيد الكربون. فإذا تمت معايرة عينة من محلول هيدروكسيد الليثيوم حجمها 25.00 ml بمحلول حمض الهيدروكلوريك تركيزه 0.3340 M فتطلب 15.22 ml من الحمض. ما 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  $H_2SO_4$ ؟

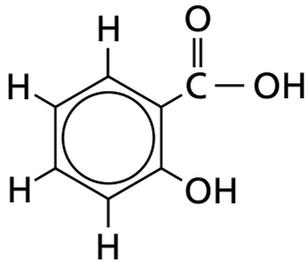
### مراجعة عامة

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 الهيوبروبوموز  $HBrO$ ؟ إذا علمت أن  $K_a = 2.8 \times 10^{-9}$ .

107. توقع يستعمل حمض الساليسليك - المبين في الشكل 5-32 في تحضير الأسبرين. بناءً على معرفتك بالهيدروجين القابل للتأين في جزيء حمض الخليك  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ، توقع أي ذرات الهيدروجين في حمض الساليسليك قد تكون قابلة للتأين؟



الشكل 5-32

### مسألة تحدُّ

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

### مراجعة تراكمية

109. عند حرق 5.00g 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 =  $46.1 \text{ g/mol}$ )؟

110. بين الشكل 5-33 تغير الطاقة في أثناء سير تفاعل.

a. هل التفاعل طارد أم ماص للطاقة؟

b. ما عدد خطوات آلية التفاعل لهذا التفاعل؟



الشكل 5-33

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

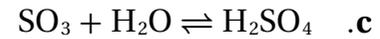
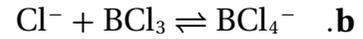
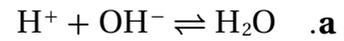
### التفكير الناقد

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

101. حلل واستنتج هل يمكن أن يصنّف المحلول حمضاً حسب برونستد - لوري ولا يصنّف حمضاً حسب قاعدة أرهينيوس؟ وهل يمكن أن يكون حمضاً حسب نموذج برونستد - لوري وليس حمضاً حسب قاعدة 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 تساوي 3.0 أن تكون قيمة pOH له = 11.0؟

103. حدّد أحماض وقواعد لويس في التفاعلات الآتية:



104. تفسير الرسوم العلمية ارسم منحني 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 باستعمال النظام المنظم  $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+ / \text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ ؟ وبين باستعمال المعادلات كيف يتأثر نظام (القاعدة الضعيفة/ الحمض المرافق) عند إضافة كميات صغيرة من الأحماض والقواعد إلى محلول هذا النظام؟

106. طبق المفاهيم تتغير قيمة  $K_w$  غيرها من ثوابت الاتزان حسب 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.

## تقويم إضافي

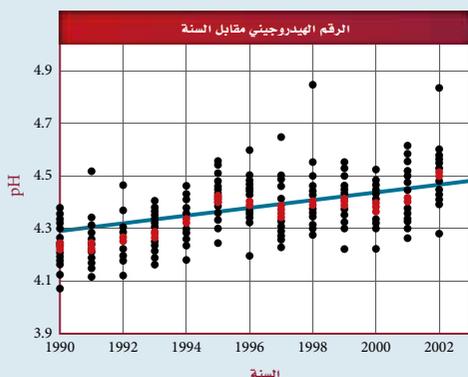
### الكتابة في الكيمياء

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

**113.** الأحماض الأمينية هناك عشرون حمضاً أمينياً تتحد لتكوين البروتينات في الأجهزة الحية. اكتب بحثاً عن التراكيب وقيم  $K_a$  لخمسة أحماض أمينية وقومها. قارن بين قوى هذه الأحماض وقوى الأحماض في الجدول 4-5.

### أسئلة المستندات

**ماء المطر** بين الشكل 34-5 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 34-5

- 114.** كيف يتغير متوسط pH للسنوات 1990م إلى 2003م؟
- 115.** احسب  $[H^+]$  لأدنى وأعلى pH مسجلة على الرسم البياني. وكم مرة تزيد حمضية ماء المطر الأكثر حمضية على حمضية ماء المطر الأعلى حمضية؟
- 116.** ما قيمة pH في عام 2003م؟ وما مقدار التغير في متوسط pH بين عامي 1990م و2003م؟

**111.** يتفاعل الهيدروجين والفلور لتكوين HF حسب معادلة الاتزان الآتية:

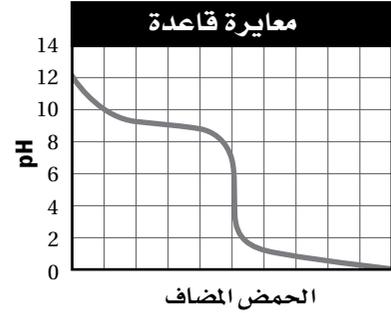


هل تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة كمية المادة الناتجة؟ اشرح ذلك.

# اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعن بالرسم البياني أدناه للإجابة عن السؤالين 1 و 2



1. ما قيمة pH عند نقطة التكافؤ لهذه المعايرة؟

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

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

- a. الميثيل البرتقالي الذي مداه 3.2 - 4.4
- b. فينولفثالين الذي مداه 8.2 - 10
- c. البروموكريسول الأخضر الذي مداه 5.4 - 3.8
- 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 - 7.

ثوابت التآين 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 تآين حمض HX؟

- a.  $1.4 \times 10^{-5}$
- 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

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 فيها تركيز  $[H^+] = 4.0 \times 10^{-10} M$ ؟
- d. أي مادة لها  $pOH = 11.0$ ؟
- e. كم مرة تزيد قاعدية مضاد الحموضة على قاعدية الدم؟

### أسئلة الإجابات المفتوحة

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

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

## (أ)

**الاتزان غير المتجانس Heterogeneous Equilibrium** حالة اتزان تكون فيها المواد المتفاعلة والنواتج في حالات مختلفة.

**الاتزان الكيميائي Chemical Equilibrium** حالة التفاعل التي تكون عندها سرعتها التفاعل الأمامي والخلفي متساويين.

**الاتزان المتجانس Homogeneous Equilibrium** حالة اتزان تكون فيها المواد المتفاعلة والنواتج في الحالة نفسها.

**الارتضاع في درجة الغليان Boiling Point Elevation** خاصية جامعة تتناسب قيمتها تناسباً طردياً مع مولالية المحلول.

**الأزواج المترافقة Conjugate Pairs** مادتان ترتبطان معاً عن طريق منح واستقبال ايون الهيدروجين.

**الانخفاض في درجة التجمد Freezing-Point Depression** الفرق بين درجة غليان المحلول ودرجة غليان المذيب النقي.

**الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering** الضغط الذي تحدثه جزيئات السائل في وعاء مغلق والتي تتطاير من سطح السائل متحولة الى الحالة الغازية.

**الأيون أحادي الذرة Monoatomic Ion** أيون يتكون من ذرة واحدة يحمل شحنة موجبة أو سالبة.

**الأيون المتعدد الذرات Polyatomic Ion** أيون يتكون من ذرتين أو أكثر لها شحنة.

**الأيون المشترك Common Ion** أيون مشترك بين مادتين أيونيتين أو أكثر.

## (ب)

**الباسكال Pascal** الوحدة المولية لقياس الضغط.

**البخار Vapor** الحالة الغازية للمادة عند درجة حرارة الغرفة.

## (ت)

**تأثير الأيون المشترك Common Ion Effect** انخفاض الذوبانية بسبب وجود أيون مشترك.

**تأثير تندال Tendall Effect** قدرة جسيمات المخاليط الفردية على تشتيت الضوء.

**التأصل Allotrope** أحد الأشكال التي يوجد فيها العنصر.

- التأكسد Oxidation** فقدان الإلكترونات من ذرات العنصر.
- التبخير Vaporization** التحول إلى بخار عند درجة حرارة الغرفة.
- التبلور Crystallization** طريقة فصل جزيئات المادة الصلبة النقية عن المحلول.
- التحولات المحفزة Induced Transmutation** عملية تكوين ذرات عناصر جديدة عن طريق قذف ذرات العناصر بجسيمات مشحونة عالية السرعة.
- الترسيب Precipitate** تكون مادة صلبة في أثناء تفاعل كيميائي.
- التركيز Concentration** قياس كمية المذاب في كمية محددة من المذيب.
- التسامي Sublimation** عملية تحول المادة الصلبة إلى غاز دون المرور بالحالة السائلة.
- التصادم Conclusion** حكم مبني على المعلومات المتوافرة.
- التصادم المرن Elastic Collision** تصادمات لا تفقد خلالها الطاقة الحركية بل تنتقل من جزيء إلى آخر.
- التفاعل الانعكاسي Reversible Reaction** التفاعل الكيميائي الذي يحدث في كلا الاتجاهين الطردي والعكسي.
- تفاعل التعادل Neutralization Reaction** تفاعل حمض وقاعدة لإنتاج ملح وماء.
- التقطير التجزيئي Fractional Distillation** عملية فصل مكونات البترول إلى مكونات أبسط منها.
- التكثف Condensation** عملية تحول البخار إلى سائل.
- التكسير الحراري Cracking** عملية تحطيم مركبات البترول الكبيرة إلى مركبات صغيرة.
- التميه Hydrate** مركب متبلور يحتوي على عدد محدد من جزيئات ماء التبلور.
- تميه الملح Salt Hydrolysis** عملية اكتساب الشق السالب من الملح أيونات الهيدروجين، واكتساب الشق الموجب أيونات الهيدروكسيل من الماء عند إذابة الملح في الماء.

## (ث)

- ثابت الاتزان Equilibrium Constant** القيمة العددية لنسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المتفاعلة ويرفع كل تركيز إلى أس مساوياً للمعامل الخاص به في المعادلة الكيميائية الموزونة.
- ثابت تأين الحمض Acid Ionization Constant** قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين الحمض.
- ثابت تأين القاعدة Base Ionization Constant** قيمة تعبير ثابت الاتزان لتأين القاعدة.
- ثابت تأين الماء Water Ionization Constant** تعبير ثابت الاتزان للتأين الذاتي للماء ويساوي حاصل ضرب تراكيز أيون الهيدروجين وإيون الهيدروكسيد في المحاليل المخففة.

**ثابت حاصل الذوبانية Solubility Product Constant** ثابت اتزان ذوبان مادة أيونية قليلة الذوبان في الماء.

**ثابت السرعة Specific Rate Constant** قيمة عددية تربط بين تركيز المتفاعلات بسرعة التفاعل عند درجة حرارة معينة.

**ثابت الغاز المثالي Ideal Gas Constant (R)** ثابت يحدد تجريبيًا وتعتمد قيمته على وحدات ضغط الغاز.

## (ج)

**الجول Joule** الوحدة الدولية لقياس الطاقة والحرارة.

## (ح)

**الحجم المولاري Molar Volume** حجم مول واحد من الغاز عند الظروف القياسية.

**الحرارة Heat** أحد أشكال الطاقة التي تنتقل من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الأقل برودة.

**حرارة الاحتراق Enthalpy of Combustion** كمية الحرارة الناتجة عن احتراق مول واحد من المادة احتراقًا كليًا.

**حرارة التكوين القياسية Standard Enthalpy of Formation** التغير في المحتوى الحراري الذي يرافق تكوين مول واحد من مركب في الظروف القياسية من عناصره في حالته الطبيعية.

**حرارة المحلول Heat of Solution** التغير الكلي في الطاقة في أثناء عملية تكوّن المحلول.

**الحرارة المولارية للانصهار Molar Enthalpy (Heat) of Fusion** كمية الحرارة التي يتطلبها تحويل مول واحد من المادة الصلبة إلى سائل.

**الحرارة المولارية للتبخير Molar Enthalpy (Heat) of Vaporization** كمية الحرارة اللازمة لتحويل مول واحد من المادة السائلة إلى بخار.

**الحرارة النوعية Specific Heat** كمية الحرارة التي يتطلبها رفع درجة حرارة جرامًا واحدًا من المادة درجة سليزية واحدة.

**الحركة البراونية Brownian Motion** الحركة العشوائية لجسيمات المذاب في المخاليط الغروية السائلة

**الحمض الضعيف Weak Acid** حمض يتأين جزئيًا في الماء.

**الحمض القوي Strong Acid** الحمض الذي يتأين بشكل تام في الماء.

**الحمض المرافق Conjugate Acid** المركب الكيميائي الذي ينتج عندما تستقبل القاعدة أيون الهيدروجين من حمض.

## (خ)

**الخاصية الجامعة Colligative Property** خاصية المحلول التي تعتمد على نوع جزيئات المذاب وليس عددها.

## (د)

**درجة الانصهار Melting Point** الدرجة التي يتحول عندها الجسم الصلب إلى سائل.

**درجة التجمد Freezing Point** درجة الحرارة التي يتحول عندها السائل إلى صلب متبلور.

**درجة الحرارة Temperature** معدل الطاقة الحركية لجزيئات المادة.

**درجة الحرارة والضغط القياسيان ATP** ضغط جوي ودرجة حرارة الصفر المئوي.

**درجة الغليان Boiling Point** درجة الحرارة التي يتساوى عندها ضغط تبخر السائل مع الضغط الجوي.

## (ذ)

**الذوبان Solvation** عملية احاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب.

**الذوبانية Solubility** أكبر كمية من المذاب ا تذوب في مقدار معين من المذيب عند درجة حرارة معينة.

## (ر)

**الرابطة الكيميائية Chemical Bond** القوة التي تربط ذرتين معاً.

**الرابطة الهيدروجينية Hydrogen Bond** رابطة تنشأ بين الجزيئات التي تحتوي ذرات هيدروجين متحدة بذرات ذات كهروسالبية عالية كالنيتروجين والفلور والأكسجين.

**رتبة التفاعل Reaction Order** تبين كيف تتأثر سرعة التفاعل بمادة معينة.

**الرقم الهيدروجيني pH** القيمة السالبة للوغار تيم تركيز أيون الهيدروجين في المحلول.

**الرقم الهيدروكسيدي pOH** القيمة السالبة للوغار تيم تركيز أيون الهيدروكسيد في المحلول.

## (س)

**سرعة التفاعل الكيميائي Reaction Rate** التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن.

**السعر Calorie** كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء النقي درجة سيليزية واحدة.

## (ش)

**الشبكة البلورية Crystal Lattice** مجسم ثلاثي الأبعاد يبين أماكن الأيونات والذرات في البلورة.

## (ض)

**الضغط Pressure** القوة الواقعة على وحدة المساحة.

## (ط)

**الطاقة Energy** القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.

**طاقة التنشيط Activation Energy** الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لبدء التفاعل.

**طاقة الوضع الكيميائية Chemical Potential Energy** الطاقة المخزونة في المادة والنتيجة عن تركيبها

## (ق)

**القاعدة الضعيفة Weak Base** قاعدة تتأين جزئياً في الماء

**القاعدة القوية Strong Base** القاعدة التي تتأين بشكل تام في الماء.

**القاعدة المرافقة Conjugate Base** المركب الكيميائي الذي ينتج عندما يمنح الحمض أيون الهيدروجين.

**قانون الاتزان الكيميائي Law Of Chemical Equilibrium** ينص على أن النظام الكيميائي يمتلك نسبة محددة من النواتج والمتفاعلات عند درجة حرارة معينة.

**قانون سرعة التفاعل Rate Law** مقدار تغير تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن.

**قانون العام للغازات Combined Gas Law** قانون جامع لقوانين الغازات ويجمع خواص الحجم والضغط ودرجة الحرارة.

**قانون الغاز المثالي Ideal Gas Law** قانون يصف السلوك الطبيعي للغاز المثالي اعتماداً على ضغط الغاز وحجمه ودرجة حرارته.

**قانون هس Hess's Law** تغير الطاقة في تفاعل كيميائي يساوي مجموع التغيرات في طاقة التفاعلات الفردية المكونة له.

**القطب الموجب Anode** القطب الذي تحدث عنده عملية التأكسد في الخلية الكهركيميائية.

**قوى التشتت Dispersion Forces** القوى الضعيفة الناتجة عن التغير في كثافة الإلكترونات في الغيمة الإلكترونية.

**القوى ثنائية القطب Dipole-Dipole Forces** قوة التجاذب بين مناطق مختلفة الشحنة في الجزيئات القطبية.

### (ك)

**الكسر المولي Mole Fraction** نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول إلى عدد المولات الكلية للمذاب والمذيب.

**الكلفن Kelvin** الوحدة الدولية لقياس درجة الحرارة.

**الكيمياء الحرارية Thermochemistry** الفرع الذي يدرس تغيرات الحرارة التي ترافق التفاعلات الكيميائية وتغيرات الحالة الفيزيائية.

**الكون Universe** عبارة عن النظام مع المحيط.

### (م)

**المادة الذائبة Soluble** المادة التي تذوب في مادة أخرى (المذيب).

**المادة غير الذائبة Insoluble** المادة التي لا تذوب في مادة أخرى (المذيب).

**مبدأ أفوجادرو Avogadro's Principle** تحتوي الحجم المتساوية من الغازات تحت الظروف نفسها على العدد نفسه من الجسيمات.

**مبدأ لوتشاتيليه Le Châtelier's Principle** عند وقوع قوة خارجية على نظام يقوم ذلك النظام بالاتجاه نحو الطرف الذي يعمل على امتصاص تأثير القوة.

**المثبِّط Inhibitor** مادة تؤدي إلى إبطاء سرعة التفاعل.

**المحتوى الحراري Enthalpy** المحتوى الحراري للنظام تحت ضغط ثابت.

**المحتوى الحراري (أو حرارة) التفاعل Enthalpy (heat) of Reaction** كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في التفاعل الكيميائي.

**المحفز Catalyst** مادة كيميائية تضاف إلى التفاعل الكيميائي فتزيد من سرعته دون أن تتأثر كيميائياً.

**المحلول الحمضي Acidic Solution** المحلول الذي يحتوي على تركيز أيونات هيدروجين أكثر من الهيدروكسيد.

**المحلول القاعدي Basic Solution** المحلول الذي يحتوي على تركيز أيونات الهيدروكسيد أكثر من الهيدروجين.

**المحلول القياسي Titrant** محلول معروف التركيز يستعمل لمعايرة محلول مجهول التركيز.

**المحلول غير المشبع Unsaturated Solution** محلول يحتوي كمية من المذاب أقل مما يحتويه المحلول المشبع عند نفس الضغط ودرجة الحرارة.

**المحلول المائي Aqueous Solution** المحلول الذي يكون فيه الماء هو المادة المذيبة.

**المحلول المشبع Saturated Solution** محلول يحتوي أكبر مقدار من المذاب عند ضغط ودرجة حرارة معينين.

**المحلول المنظم Buffered Solution** محلول يقاوم التغير في pH عند إضافة كميات محددة من الأحماض أو القواعد.

**المحيط Surroundings** كل شيء في الكون غير النظام.

**المخروط الغروي Colloid** مخلوط غير متجانس يتكون من جسيمات متوسطة الحجم تتراوح أقطارها بين 1nm و 1000 nm.

**المخروط المعلق Suspension** مخلوط يحتوي على جسيمات يمكن أن تترسب بالترويق إذا تركت فترة دون تحريك.

**المسعر Calorimeter** جهاز معزول حرارياً يستخدم لقياس كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في أثناء عملية كيميائية أو فيزيائية.

**المعادلة الكيميائية الحرارية Thermochemical Equation** معادلة كيميائية موزونة تشتمل على حالات المواد، والتغير في الطاقة.

**المعادلة النووية Nuclear Equation** المعادلة التي تبين الأعداد الذرية للذرات المتفاعلة.

**المعامل Coefficient** العدد المكتوب أمام الصيغ الجزيئية في المعادلة الكيميائية.

**المعايرة Titration** تفاعل حمض وقاعدة لمعرفة تركيز أحدهما.

**المعقد المنشط Activated Complex** مجموعة من الذرات فترة بقائها معاً قصيرة جداً قد ينتج عنها النواتج أو قد تعود إلى صورة المتفاعلات.

**الملح Salt** مركب أيوني أيونه الموجب من القاعدة، وأيونه السالب من الحمض.

**المولارية Molarity** عدد مولات المذاب في لتر واحد من المحلول.

**المولالية Molality** عدد مولات المذاب المذابة في كيلوجرام من المذيب..

## (ن)

**النظام System** جزء معين من الكون يحتوي على التفاعل أو العملية المراد دراستها.

**نظرية التصادم Collision Theory** تنص على وجوب اصطدام الجزيئات، الأيونات أو الذرات لحدوث التفاعل.

**نظرية الحركة الجزيئية Kinetic-Molecular Theory** تصف سلوك الغازات اعتماداً على حركة جزيئاتها.

**نظرية دالتون الجزئية Dalton's Law Of Partial Pressures** الضغط الكلي لمزيج من الغازات يساوي مجموع الضغوط الجزئية لكل منها.

**نظرية دالتون الذرية Dalton's Atomic Theory** نظرية تصف تركيب المادة وخصائص ذراتها.

**نقطة التكافؤ Equivalence Point** النقطة التي يكون عندها تركيز أيونات الهيدروجين مساوياً لتركيز أيونات الهيدروكسيد.

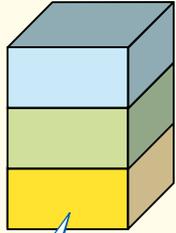
**نقطة النهاية End Point** النقطة التي يغير عندها الكاشف لونه

**نموذج أرهينيوس Arrhenius Model** نموذج يعرف الحمض بالمادة التي تطلق أيونات الهيدروجين عند إذابتها في الماء، والقاعدة تطلق أيونات الهيدروكسيد.

**نموذج برونستد ولوري Bronsted-Lowry Model** نموذج يعرف الحمض على أنه مادة مانحة للبروتونات والقاعدة مادة مستقبلة لها.

**نموذج لويس Lewis Model** نموذج يعرف الحمض على أنه مادة تستقبل زوجاً من الإلكترونات في حين أن القاعدة مادة تمنح زوجاً من الإلكترونات.

# الجدول الدوري للعناصر



يدل لون صندوق كل عنصر على كونه فلزاً أو شبه فلز أو لافلزاً.

			13	14	15	16	17	18
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Helium 2 He 4.003
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Neon 10 Ne 20.180
10	11	12						
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Argon 18 Ar 39.948
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Krypton 36 Kr 83.798
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Xenon 54 Xe 131.293
Darmstadtium 110 Ds (281)	Unununium * 111 Uuu (272)	Ununbium * 112 Uub (285)		Ununquadium * 114 Uuq (289)		** 116		Radon 86 Rn (222)

\* أسماء رموز العناصر 111 إلى 114 مؤقتة، وسيتم اختيار أسماء نهائية لها عند التأكد من اكتشافها.  
\*\* كان يظن أن العنصرين 116 و 118 قد تم تكوينها، ولكن تم التراجع عن ذلك؛ لأنه لم يمكن إعادة التجارب المتعلقة بها.

Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)

# جداول مرجعية

## جداول مرجعية

العناصر في كل عمود تسمى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.

العنصر  
العدد الذري  
الرمز  
الكتلة الذرية المتوسطة

غاز  
سائل  
صلب  
مُصنَع

الرموز الثلاثة العليا تدل على حالة العنصر في درجة حرارة الغرفة. بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنعة.

1	Hydrogen 1 H 1.008	2							
2	Lithium 3 Li 6.941	Beryllium 4 Be 9.012							
3	Sodium 11 Na 22.990	Magnesium 12 Mg 24.305	3	4	5	6	7	8	9
4	Potassium 19 K 39.098	Calcium 20 Ca 40.078	Scandium 21 Sc 44.956	Titanium 22 Ti 47.867	Vanadium 23 V 50.942	Chromium 24 Cr 51.996	Manganese 25 Mn 54.938	Iron 26 Fe 55.845	Cobalt 27 Co 58.933
5	Rubidium 37 Rb 85.468	Strontium 38 Sr 87.62	Yttrium 39 Y 88.906	Zirconium 40 Zr 91.224	Niobium 41 Nb 92.906	Molybdenum 42 Mo 95.94	Technetium 43 Tc (98)	Ruthenium 44 Ru 101.07	Rhodium 45 Rh 102.906
6	Cesium 55 Cs 132.905	Barium 56 Ba 137.327	Lanthanum 57 La 138.906	Hafnium 72 Hf 178.49	Tantalum 73 Ta 180.948	Tungsten 74 W 183.84	Rhenium 75 Re 186.207	Osmium 76 Os 190.23	Iridium 77 Ir 192.217
7	Francium 87 Fr (223)	Radium 88 Ra (226)	Actinium 89 Ac (227)	Rutherfordium 104 Rf (261)	Dubnium 105 Db (262)	Seaborgium 106 Sg (266)	Bohrium 107 Bh (264)	Hassium 108 Hs (277)	Meitnerium 109 Mt (268)

صفوف العناصر الأفقية تسمى دورات. يزداد العدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.

يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيرًا للمكان.

سلسلة اللانثانيدات

سلسلة الأكتينيدات

الرقم الذي بين قوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمرًا للعنصر.

Cerium 58 Ce 140.116	Praseodymium 59 Pr 140.908	Neodymium 60 Nd 144.24	Promethium 61 Pm (145)	Samarium 62 Sm 150.36
Thorium 90 Th 232.038	Protactinium 91 Pa 231.036	Uranium 92 U 238.029	Neptunium 93 Np (237)	Plutonium 94 Pu (244)