

تم تحميل وعرض هذا المادة من موقع واجبي:

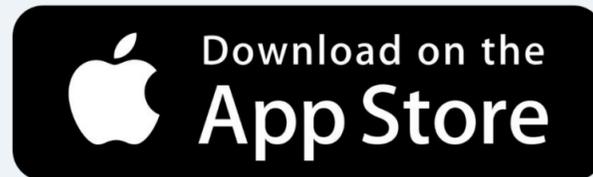
wajibi.com



www.wajibi.net

واجبي موقع تعليمي يوفر مجموعة واسعة  
من الخدمات والموارد التعليمية، يهدف موقع واجبي إلى  
تسهيل عملية التعليم ويقدم حلول المناهج للطلاب في  
جميع المراحل الدراسية.

حمل تطبيق واجبي من هنا  يصلك كل جديد



قررت وزارة التعليم تدريس  
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها



وزارة التعليم  
Ministry of Education

المملكة العربية السعودية

# الكيمياء 2-2

التعليم الثانوي - نظام المسارات  
السنة الثانية

قام بالتأليف والمراجعة  
فريق من المتخصصين

يوزع مجاناً للائحة

طبعة 1446 - 2024

ح) وزارة التعليم ، ١٤٤٥ هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر  
وزارة التعليم

كيمياء ٢-٢ - التعليم الثانوي - نظام المسارات - السنة الثانية. /  
وزارة التعليم - الرياض ، ١٤٤٥ هـ .  
١٦٩ ص ؛ ٢١،٥ X ٢٧ سم

رقم الإيداع : ١٤٤٥ / ٢٤٧٥١

ردمك : ٣-٦٨٩-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

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

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"



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

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:  
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.



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



وزارة التعليم

Ministry of Education

2024 - 1446

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



# المقدمة

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

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

ويأتي كتاب كيمياء 2 للتعليم الثانوي (نظام المسارات) دعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعليمية.

والكيمياء فرع من العلوم الطبيعية يتعامل مع بنية المادة ومكوناتها وخصائصها النشطة. ولأن المادة هي كل شيء يشغل حيزاً في الفراغ وله كتلة، إذن فالكيمياء تهتم بدراسة كل شيء يحيط بنا، ومن ذلك السوائل التي نشربها، والغازات التي نتنفسها، والمواد التي يتكون منها جهازنا الخلوي، وطبيعة الأرض تحت أقدامنا. كما تهتم بدراسة جميع التغيرات والتحويلات التي تطرأ على المادة. فالنفط الخام يحوّل إلى منتجات نفطية قابلة للاستخدام بطرائق كيميائية، وكذلك تحويل بعض المنتجات النفطية إلى مواد بلاستيكية. والمواد الخام المعدنية يستخلص منها الفلزات التي تستخدم في العديد من الصناعات الدقيقة، وفي صناعة السيارات والطائرات. والأدوية المختلفة تستخلص من مصادر طبيعية ثم تفصل وتركب في مختبرات كيميائية. ويتم في هذه المختبرات تعديل مواصفات هذه الأدوية لتتوافق مع المواصفات الصيدلانية، وتلبي متطلبات الطب الحديث.

وقد تم بناء محتوى كتاب الطالب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب مشوق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يقوم الطالب بالاطلاع على الفكرة العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه. ثم يقوم بتنفيذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان التجربة الاستهلاكية التي تساعد أيضاً على تكوين النظرة الشاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلاكية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وتتضمن النشاطات التمهيدية



للفصل إعداد مطوية تساعد على تلخيص أبرز الأفكار والمفاهيم التي سيتناولها الفصل. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية الأخرى التي يمكن تنفيذها من خلال دراسة المحتوى، ومنها مختبرات تحليل البيانات، أو حل المشكلات، أو التجارب العملية السريعة، أو مختبر الكيمياء في نهاية كل فصل، الذي يتضمن استقصاءً مفتوحاً في نهايته، بما يُعزز أيضاً مبدأ رؤية 2030 " نتعلم لنعمل " .

وعندما تبدأ دراسة المحتوى تجد في كل قسم ربطاً بين المفردات السابقة والمفردات الجديدة، وفكرة رئيسة خاصة بكل قسم ترتبط مع الفكرة العامة للفصل. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة، أو مع العلوم الأخرى، وشرحاً وتفسيراً للمفردات الجديدة التي تظهر مظلمة باللون الأصفر، وتجد أيضاً أمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفتك وخبراتك في فهم محتوى الفصل. وتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى. وتجد أيضاً مجموعة من الشروح والتفسيرات في هوامش الكتاب، ومنها ما يتعلق بالربط بمحاور رؤية 2030 وأهدافها الاستراتيجية، منها ما يتعلق بالمهنة، أو التمييز بين الاستعمال العلمي والاستعمال الشائع لبعض المفردات، أو إرشادات للتعامل مع المطوية التي تعدها في بداية كل فصل.

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

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

وازدهاره.

# قائمة المحتويات

## دليل الطالب

7 كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

## الفصل 1

10 حالات المادة

12 1-1 الغازات

22 1-2 قوى التجاذب

27 1-3 المواد السائلة والمواد الصلبة

37 1-4 تغيرات الحالة الفيزيائية

43 الكيمياء في واقع الحياة: كيمياء الكاكاو

## الفصل 2

54 الطاقة والتغيرات الكيميائية

56 2-1 الطاقة

63 2-2 الحرارة

69 2-3 المعادلات الكيميائية الحرارية

75 2-4 حساب التغير في المحتوى الحراري

كيف تعمل الأشياء؟ المركبات ذات المرونة في

83 استعمال الوقود

## الفصل 3

92 سرعة التفاعلات الكيميائية

94 3-1 نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي

102 3-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

107 3-3 قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

111 الكيمياء والصحة: سرعة التفاعل ودرجة حرارة الجسم

## الفصل 4

120 الاتزان الكيميائي

122 4-1 حالة الاتزان الديناميكي

135 4-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

142 4-3 استعمال ثوابت الاتزان

الكيمياء والصحة: ارتفاع الهيموجلوبين إلى

153 مستوى التحدي

## الملاحق

162 المصطلحات

168 الجدول الدوري للعناصر



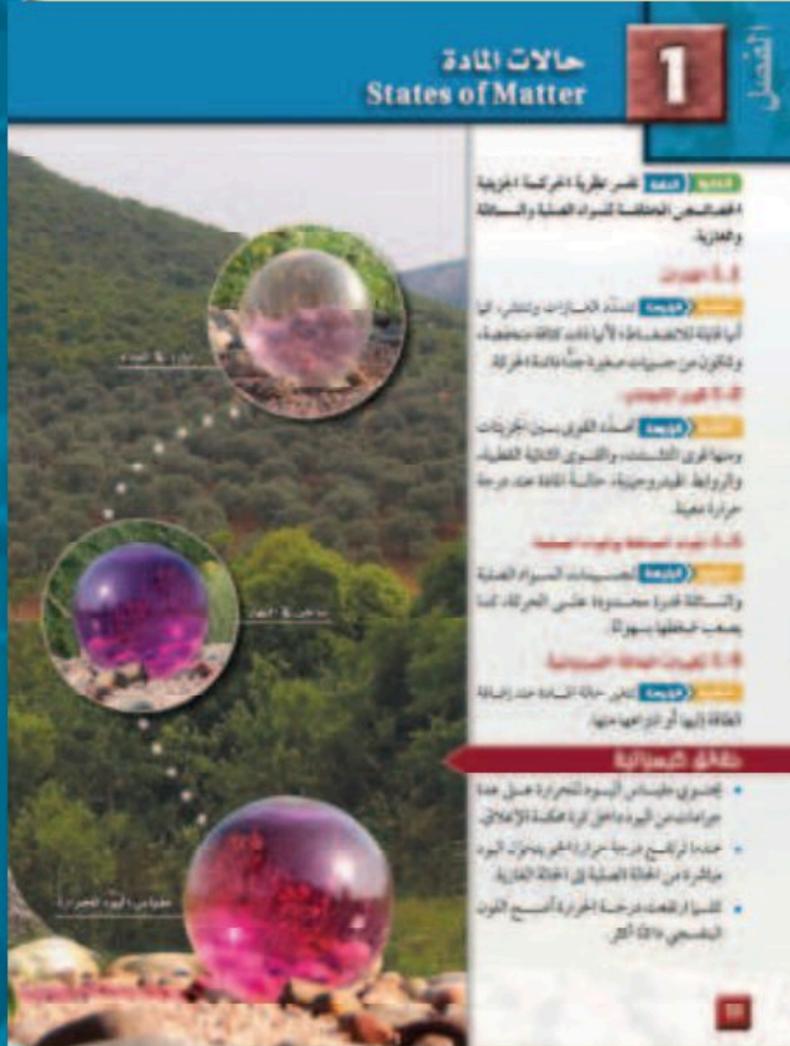
## كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

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

### قبل أن تقرأ

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

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



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

### لتحصل على رؤية عامة عن الفصل

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





# كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

## بعدها قرأت

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

التمرين 1-22 استخدم النحاس فائداً في تفاعل كيميائي (انظر الجدول الدوري) لتوضيح مفهوم التأكسد والاختزال. اكتب معادلة التفاعل، واذكر التغيرات في أعداد التأكسد.

التمرين 1-23 اكتب معادلة التفاعل التي تحدث عند تسخين كبريتات النحاس المائية. اذكر التغيرات في أعداد التأكسد.

التمرين 1-24 اكتب معادلة التفاعل التي تحدث عند تسخين كبريتات النحاس المائية في وجود غاز الهيدروجين. اذكر التغيرات في أعداد التأكسد.

التمرين 1-25 اكتب معادلة التفاعل التي تحدث عند تسخين كبريتات النحاس المائية في وجود غاز الهيدروجين في وجود غاز الكلور. اذكر التغيرات في أعداد التأكسد.

التمرين 1-26 اكتب معادلة التفاعل التي تحدث عند تسخين كبريتات النحاس المائية في وجود غاز الهيدروجين في وجود غاز الكلور في وجود غاز النيتروجين. اذكر التغيرات في أعداد التأكسد.

التمرين 1-27 اكتب معادلة التفاعل التي تحدث عند تسخين كبريتات النحاس المائية في وجود غاز الهيدروجين في وجود غاز الكلور في وجود غاز النيتروجين في وجود غاز الأكسجين. اذكر التغيرات في أعداد التأكسد.

التمرين 1-28 اكتب معادلة التفاعل التي تحدث عند تسخين كبريتات النحاس المائية في وجود غاز الهيدروجين في وجود غاز الكلور في وجود غاز النيتروجين في وجود غاز الأكسجين في وجود غاز الهيدروجين. اذكر التغيرات في أعداد التأكسد.

التمرين 1-29 اكتب معادلة التفاعل التي تحدث عند تسخين كبريتات النحاس المائية في وجود غاز الهيدروجين في وجود غاز الكلور في وجود غاز النيتروجين في وجود غاز الأكسجين في وجود غاز الهيدروجين في وجود غاز الكلور. اذكر التغيرات في أعداد التأكسد.

التمرين 1-30 اكتب معادلة التفاعل التي تحدث عند تسخين كبريتات النحاس المائية في وجود غاز الهيدروجين في وجود غاز الكلور في وجود غاز النيتروجين في وجود غاز الأكسجين في وجود غاز الهيدروجين في وجود غاز الكلور في وجود غاز النيتروجين. اذكر التغيرات في أعداد التأكسد.

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

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

## طرائق أخرى للمراجعة

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

1 دليل مراجعة الفصل

1.1 المفردات

1.1.1 التغيرات

1.1.2 التغيرات الكيميائية

1.1.3 التغيرات الفيزيائية

1.2 المفاهيم الرئيسية

1.2.1 التغيرات الكيميائية

1.2.2 التغيرات الفيزيائية

1.3 التغيرات الكيميائية والفيزيائية

1.3.1 التغيرات الكيميائية

1.3.2 التغيرات الفيزيائية

# حالات المادة States of Matter

# 1

# الفصل

**الفكرة العامة** تفسر نظرية الحركة الجزيئية الخصائص المختلفة للمواد الصلبة والسائلة والغازية.

## 1-1 الغازات

**الفكرة الرئيسية** تتمدد الغازات وتنتشر، كما أنها قابلة للانضغاط؛ لأنها ذات كثافة منخفضة، وتتكون من جسيمات صغيرة جداً دائمة الحركة.

## 1-2 قوى التجاذب

**الفكرة الرئيسية** تحدّد القوى بين الجزيئات ومنها قوى التشتت، والقوى الثنائية القطبية، والروابط الهيدروجينية، حالة المادة عند درجة حرارة معينة.

## 1-3 المواد السائلة والمواد الصلبة

**الفكرة الرئيسية** لجسيمات المواد الصلبة والسائلة قدرة محدودة على الحركة، كما يصعب ضغطها بسهولة.

## 1-4 تغيرات الحالة الفيزيائية

**الفكرة الرئيسية** تتغير حالة المادة عند إضافة الطاقة إليها أو انتزاعها منها.

## حقائق كيميائية

- يحتوي مقياس اليود للحرارة على عدة جرامات من اليود داخل كرة محكمة الإغلاق.
- عندما ترتفع درجة حرارة الجو يتحوّل اليود مباشرة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية.
- كلما ارتفعت درجة الحرارة أصبح اللون البنفسجي داكناً أكثر.

بارد في المساء

ساخن في النهار

مقياس اليود للحرارة

## نشاطات تمهيدية

حالات المادة اعمل المطوية الآتية لتساعدك على تلخيص المعلومات عن حالات المادة الثلاث.

### المطويات

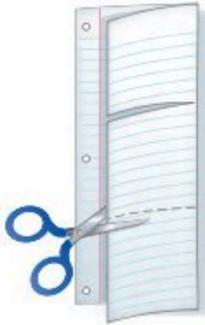
منظمات الأفكار



**خطوة 1** اثن ورقة عند منتصفها طولياً، على أن تكون الحافة الخلفية أطول من الحافة الأمامية 2 cm تقريباً.



**خطوة 2** اطو الورقة لتشكّل ثلاثة أجزاء متساوية.



**خطوة 3** افتح الورقة على أن تعود إلى الوضع السابق، ثم قصّ الجزء الأمامي عند موضع الشني لكي تحصل على 3 أجزاء.

**خطوة 4** سمّ الأجزاء الثلاثة على النحو الآتي: غازية، سائلة، صلبة.



**المطويات** استخدم هذه المطوية في القسمين 1-1 و 1-3، ولخص المعلومات عن حالات المادة الثلاث كلاً منها تحت العنوان المناسب لها في أثناء قراءتك لهذين القسمين.

## تجربة استهلاكية

كيف تؤثر السوائل المختلفة في سرعة كرة تتحرك فيها؟

تختلف السوائل في خواصها الفيزيائية؛ من حيث اللون والكثافة وسرعة الانسياب وغيرها. فمثلاً عصير المشمش، والعسل، وبعض الزيوت تتميز بأنها سوائل ثقيلة؛ إذ لا تنساب بسهولة مقارنة بالماء.



### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. املاً مخبراً مدرّجاً بـ 100 mL من الماء.

3. ثبت بمساعدة زميلك مسطرة رأسياً إزاء المخبر، ثم أسقط كرة زجاجية صغيرة (أو أي جسم كروي صغير) من النقطة المحددة على المسطرة فوق سطح الماء. استعن بساعة إيقاف لحساب الزمن الذي تستغرقه الكرة حتى تصل إلى قاع المخبر. سجل هذا الزمن في جدول البيانات.

4. كرّر الخطوتين 2 و 3 مرتين لحساب متوسط الزمن الذي تستغرقه الكرة حتى تصل إلى القاع.

5. كرّر الخطوات السابقة باستخدام سوائل مختلفة، مثل زيت الطعام.

### التحليل

1. قارن بين متوسط زمن سقوط الكرة في السائلين.

2. استنتج العلاقة بين الزمن الذي سجلته في كل مرة، وبين مدى انسيابية السائل في أثناء سكبه.

**استقصاء** كيف تؤثر درجة حرارة السائل في سرعة الكرة المتحركة فيه؟ كوّن فرضية، ثم صمّم تجربة للتحقق من فرضيتك.



# 1-1

## الأهداف

- تستخدم نظرية الحركة الجزيئية لتفسير سلوك الغازات.
- تصف تأثير الكتلة في سرعة الانتشار والتدفق.
- توضح كيفية قياس ضغط الغاز وحساب الضغط الجزيئي له.

## مراجعة المفردات

الطاقة الحركية؛ الطاقة الناشئة عن الحركة.

## المفردات الجديدة

- نظرية الحركة الجزيئية
- التصادم المرن
- درجة الحرارة
- الانتشار
- قانون جراهام للتدفق
- الضغط
- الضغط الجوي
- البارومتر
- المانومتر
- باسكال

قانون دالتون للضغوط الجزئية

## الغازات Gases

**الفكرة الرئيسية** تتمدد الغازات وتنتشر، كما أنها قابلة للانضغاط؛ لأنها ذات كثافة منخفضة، وتتكوّن من جسيمات صغيرة جدًا دائمة الحركة.

**الربط مع الحياة** إذا نمت على مرتبة فيها هواء مضغوط فلا بد أنك ستلاحظ الفرق بينها وبين النوم على الأرض! ولا بد أنك شعرت بالدفء والراحة عندما استخدمت المرتبة التي اكتسبت خصائصها من خصائص جسيمات الهواء التي ضُغِطت في داخلها.

## نظرية الحركة الجزيئية The Kinetic-Molecular Theory

لقد تعلمت سابقًا أن تركيب المادة (نوع الذرات المكونة) وبنيتها (ترتيب الذرات) يحددان الخصائص الكيميائية للمادة، كما أنهما يؤثران في خصائصها الفيزيائية أيضًا. وبالاعتماد على المظهر الخارجي للمادة يمكنك التمييز بين الذهب والجرافيت والزنبق، كما هو موضح في الشكل 1-1. وعلى النقيض من ذلك تبدي المواد التي تكون في الحالة الغازية عند درجة حرارة الغرفة خصائص فيزيائية متشابهة على الرغم من اختلاف بنيتها. فلماذا توجد اختلافات يسيرة بين سلوك الغازات؟ ولماذا تختلف الخصائص الفيزيائية للغازات عن خصائص المواد السائلة والصلبة؟

لقد عرف العلماء مع بداية القرن الثامن عشر كيف يمكن جمع النواتج الغازية عن طريق إحلالها محل الماء، ولكنهم يستطيعون الآن مراقبة كل غاز، وقياس خصائصه على حدة. اقترح الكيميائيان بولتزمان وماكسويل Boltzman and Maxwell عام 1860م - كل منهما على حدة - نموذجًا لتفسير خصائص الغازات. وقد عُرف هذا النموذج بنظرية الحركة الجزيئية؛ وذلك لأن الغازات جميعها التي اختبرها بولتزمان وماكسويل تتكون من جسيمات؛ حيث للأجسام المتحركة طاقة تسمى طاقة حركية. وتصف **نظرية الحركة الجزيئية** سلوك المادة بالاعتماد على حركة جسيماتها. ولقد وضع هذا النموذج عدة افتراضات حول حجم جسيمات الغاز وحركتها وطاقتها.



زنبق



جرافيت



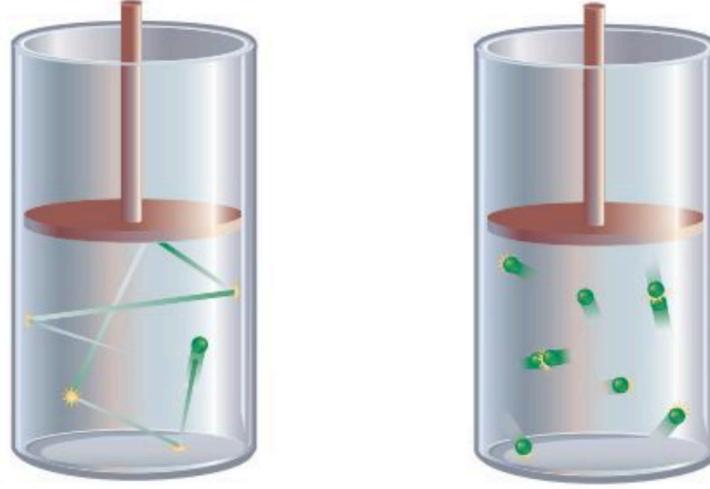
ذهب

## الشكل 1-1 يمكن

التمييز بين بعض المواد بمجرد النظر إليها، ولكن هذا لا ينطبق على الكثير من الغازات.

الشكل 1-2 تنتقل الطاقة الحركية بين جسيمات الغاز في أثناء التصادم المرن فيما بينها.

فسر الأثر الذي تحدثه جسيمات الغاز بعضها في بعض بفعل التصادمات، وماذا يحدث للجسيمات بعد هذه التصادمات؟



**حجم الجسيمات** تتكون الغازات من جسيمات ذات حجوم صغيرة جدًا مقارنة بحجوم الفراغات التي تفصل بينها، كما أنها متباعدة، لذلك تنعدم قوى التجاذب والتنافر فيما بينها. **حركة الجسيمات** إن حركة جسيمات الغاز مستمرة وعشوائية، وتتحرك في خط مستقيم حتى تصطدم بجسيمات أخرى أو بجدار الوعاء الذي توجد فيه، كما يبين الشكل 1-2. وتعد التصادمات بين جسيمات الغاز مرنة. وفي التصادم المرن لا تُفقد الطاقة الحركية، ولكنها تنتقل بين الجسيمات المتصادمة.

**طاقة الجسيمات** ينتج عن حركة الجسيمات طاقة حركية يحددها عاملان هما: كتلة الجسيم، وسرعته. ويمكن التعبير عن الطاقة الحركية للجسيم بالعلاقة الآتية:

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

حيث: KE = الطاقة الحركية،  $m$  = كتلة الجسيم،  $v$  = سرعة الجسيم المتجهة. نجد أن جسيمات عينة من غاز ما لها الكتلة نفسها، إلا أنه ليس لها السرعة نفسها، لذلك تختلف كمية الطاقة الحركية لها. ولذا تستخدم **درجة الحرارة** مقياسًا لمتوسط الطاقة الحركية لجسيمات المادة.

## تفسير سلوك الغازات Explaining the Behavior of Gases

تساعد نظرية الحركة الجزيئية على تفسير سلوك الغازات؛ إذ تسمح حركة الجسيمات الدائمة مثلاً للغاز أن يتمدد حتى يملأ الوعاء الموجود فيه تمامًا، كما يحدث عند ملء كرة بالهواء، أو عند نفخ بالون بالهواء، حيث تنتشر جسيمات الغاز، وتوزع لتملأ الوعاء كله.

**كثافة منخفضة** تذكر أن الكثافة هي كتلة الجسم في وحدة الحجم، وأن كثافة غاز الكلور عند درجة حرارة 20°C تساوي ( $2.95 \times 10^{-3} \text{ g/mL}$ )، وكثافة الذهب الصلب تساوي ( $19.3 \text{ g/mL}$ ). لذا فإن كثافة الذهب تزيد على كثافة الكلور 6500 مرة تقريبًا. ولا يعود هذا الفرق الكبير بين الكثافتين إلى الاختلاف بين كتلة ذرات الذهب وجسيمات الكلور فقط، بل على وجود فراغ كبير بين جسيمات الغاز أيضًا، لذلك يكون عدد جسيمات الكلور أقل من عدد ذرات الذهب في الحجم نفسه كما تنص على ذلك نظرية الحركة الجزيئية.

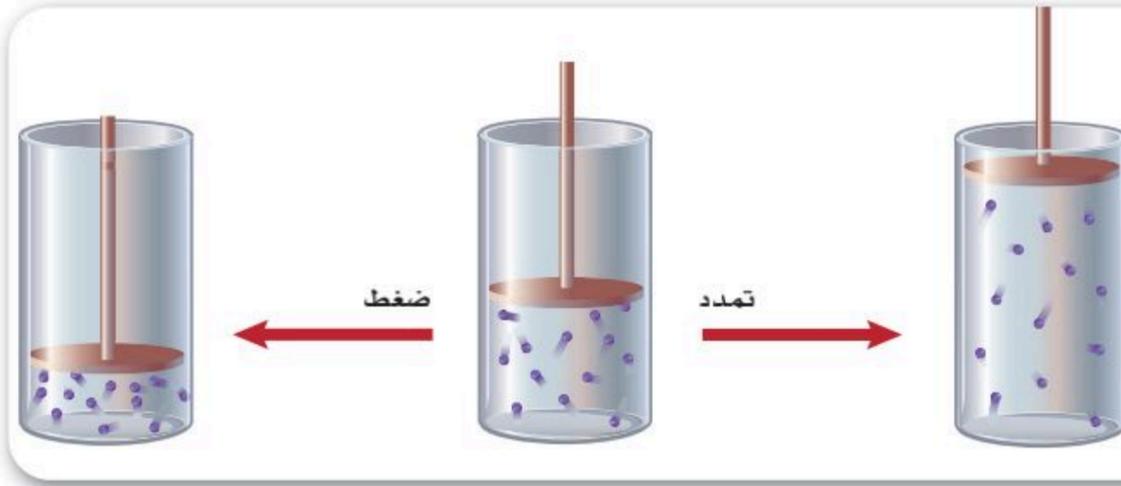
### المفردات

#### أصل الكلمة

غاز/ (Gas)

يأتي أصلها من الكلمة اللاتينية

chaos، ومعناها فراغ.



**الشكل 3-1** إن تمدد الغاز وانضغاطه في وعاء مغلق يغير الحجم الذي تشغله كتلة ثابتة من الجسيمات.

**اربط بين التغير في حجم الغاز وكثافة جسيماته في كل أسطوانة.**

**الانضغاط والتمدد** إذا عصرت وسادة من البولسترين بالضغط عليها فإن حجمها يقل؛ وذلك لأن المسافة بين الجزيئات كبيرة جداً، فعند الضغط تبدأ الجزيئات بالتقارب، وبالتالي يقل الحجم، وعند التوقف عن الضغط وبفعل الحركة السريعة والعشوائية للجزيئات فإنها تتباعد بعضها عن بعض، وتزداد المسافات وتعود إلى وضعها الأصلي. ويوضح الشكل 3-1 ما يحدث لكثافة الغاز الموجود في وعاء في أثناء انضغاطه وتمدده.

**الانتشار والتدفق** وفقاً لنظرية الحركة الجزيئية، ونظراً لأن المسافة كبيرة بين الجزيئات، فإن قوى التجاذب بين جسيمات الغاز تكاد تكون منعدمة. ولهذا تنتشر هذه الجسيمات بسهولة، ويكون المكان الذي ينتشر فيه الغاز في كثير من الأحيان مشغولاً بغاز آخر، وتتسبب الحركة العشوائية لجسيمات الغازات باختلاط بعضها ببعض، حتى يصبح توزيع الغازات المختلطة متساوياً.

يصف **الانتشار** حركة تداخل المواد معاً، وقد يكون هذا المصطلح حديثاً، ولكن عملية الانتشار مألوفة لك. فأنت تشم رائحة الطعام عند طهيهِ في أرجاء المنزل كلها؛ بسبب انتشار جسيمات الغاز من منطقة ذات تركيز عالٍ (وهي في هذه الحالة المطبخ) إلى منطقة ذات تركيز منخفض (باقي أرجاء المنزل).

أما التدفق فهو عملية ذات صلة بالانتشار، ويحدث التدفق عندما يخرج الغاز من خلال ثقب صغير. فما الذي يحدث مثلاً عند ثقب إطار سيارة أو بالون؟ قام توماس جراهام في عام 1846م بإجراء تجربة لقياس معدل سرعة تدفق غازات مختلفة عند درجة الحرارة نفسها، وقد صمم تجربته بحيث تتدفق الغازات إلى مكان لا توجد فيه مادة. وقد اكتشف وجود علاقة عكسية بين معدل سرعة التدفق والكتلة المولية للغاز.

**قانون جراهام للتدفق** ينص على أن معدل سرعة تدفق الغاز يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي للكتلة المولية.

**قانون جراهام:**

$$\text{معدل التدفق} \propto \frac{1}{\sqrt{\text{الكتلة المولية}}}$$

يتناسب معدل انتشار أو تدفق الغاز عكسياً مع الجذر التربيعي للكتلة المولية له.

تعتمد سرعة الانتشار بالدرجة الأولى على كتلة الجسيمات؛ حيث تنتشر الجسيمات الخفيفة أسرع من الثقيلة. ويمكن وصف متوسط الطاقة الحركية للغازات المختلفة عند درجة الحرارة نفسها بالمعادلة  $KE = \frac{1}{2} mv^2$ . ومع ذلك فإن كتلة جسيمات الغاز تختلف من غاز إلى آخر. وحتى يكون للجسيمات الخفيفة متوسط الطاقة الحركية للجسيمات الثقيلة لا بد أن يكون نفس متوسط سرعاتها المتجهة أكبر. وينطبق قانون جراهام أيضاً على معدل سرعة الانتشار، وهذا منطقي؛ إذ تنتشر الجسيمات الثقيلة أبطأ من الجسيمات الخفيفة عند درجة الحرارة نفسها. يمكنك باستخدام قانون جراهام كتابة نسبة رياضية للمقارنة بين معدل انتشار غازين.

$$\frac{\text{معدل انتشار A}}{\text{معدل انتشار B}} = \sqrt{\frac{\text{الكتلة المولية لـ B}}{\text{الكتلة المولية لـ A}}}$$

✓ **ماذا قرأت؟** وضع لماذا يعتمد معدل الانتشار على كتلة الجسيمات؟

### مثال 1-1

قانون جراهام إذا كانت الكتلة المولية للأمونيا هي  $17.0 \text{ g/mol}$  والكتلة المولية لكلوريد الهيدروجين هي  $36.5 \text{ g/mol}$ ، فاحسب نسبة معدل انتشارهما.

**1 تحليل المسألة** المعطيات هي الكتل المولية لكل من الأمونيا وكلوريد الهيدروجين. ولإيجاد نسبة معدل انتشارهما استخدم معادلة قانون جراهام للتدفق.

#### المعطيات

#### المطلوب

الكتلة المولية لكلوريد الهيدروجين  $36.5 \text{ g/mol HCl}$  نسبة معدل الانتشار = ؟  
الكتلة المولية للأمونيا  $17.0 \text{ g/mol} = \text{NH}_3$

#### 2 حساب المطلوب

اكتب نص النسبة المشتق من قانون جراهام

$$\frac{\text{معدل انتشار NH}_3}{\text{معدل انتشار HCl}} = \sqrt{\frac{\text{الكتلة المولية لـ HCl}}{\text{الكتلة المولية لـ NH}_3}}$$

عوّض عن الكتلة المولية لحمض

$36.5 \text{ g/mol} = \text{HCl}$

والكتلة المولية لـ  $17.0 \text{ g/mol} = \text{NH}_3$

$$1.47 = \frac{36.5 \text{ g/mol}}{17.0 \text{ g/mol}} \sqrt{=}$$

نسبة معدل الانتشار = 1.47

#### 3 تقويم الإجابة

إن النسبة التقريبية 1.5 منطقية؛ حيث إن كتلة الأمونيا هي نصف كتلة كلوريد الهيدروجين. كما أن قيم الكتل المولية تحتوي على ثلاثة أرقام معنوية، وكذلك الإجابة. لاحظ أن وحدات القياس قد ألغيت بعضها بعضاً. وتكتب الإجابة في صورة صحيحة دون أي وحدة قياس.

#### مسائل تدريبية

1. احسب نسبة معدل التدفق لكل من النيتروجين  $\text{N}_2$  والنيون  $\text{Ne}$ .
2. احسب نسبة معدل الانتشار لكل من أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون.
3. تحفيز ما معدل تدفق غاز كتلته المولية ضعف الكتلة المولية لغاز يتدفق بمعدل  $3.6 \text{ mol/min}$ ؟



قوة كبيرة على وحدة المساحة



قوة صغيرة على وحدة المساحة

#### الشكل 1-4 لأن العلاقة عكسية

بين الضغط والمساحة، فإن الأحذية ذات الكعب العالي تعمل على زيادة الضغط الواقع على السطح؛ لأن مساحة الكعب الملامسة للأرض صغيرة، بينما تتوزع قوة الضغط في الأحذية ذات النعل المسطح على مساحة أكبر.

**استنتاج** الموقع الذي يكون فيه الضغط أكبر ما يمكن بين الأرض والحذاء ذي الكعب العالي.

### ضغط الغاز Gas Pressure

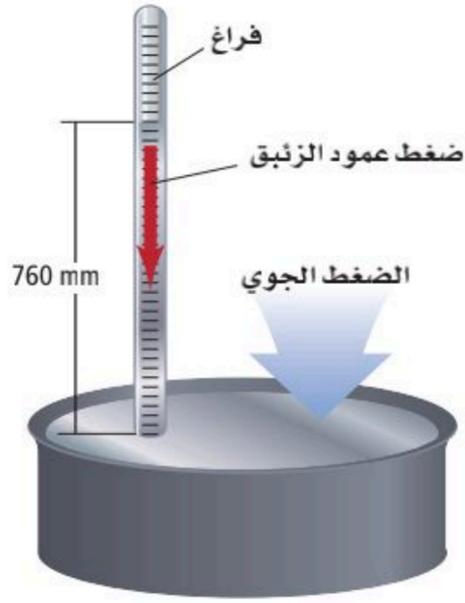
هل سبق أن شاهدت شخصًا يحاول المشي على الثلج أو الوحل أو على الأسفلت الساخن وهو ينتعل حذاءً له كعب عالٍ؟ من المحتمل أن تكون قد لاحظت غوص الكعب العالي في تلك السطوح اللينة. يوضح الشكل 1-4 سبب غوص قدم من ينتعل كعبًا عاليًا، بينما لا يكون الأمر كذلك لمن ينتعل نعلًا مسطحًا. وفي كلتا الحالتين يعتمد تأثير القوة الضاغطة على السطح اللين في كلتا الحالتين على كتلة الشخص؛ حيث تتوزع القوة الضاغطة على مساحة كبيرة في حالة انتعال حذاء مسطح النعل. ويعرف **الضغط** بأنه القوة الواقعة على وحدة المساحة. ولذلك يكون الضغط الواقع من الحذاء المسطح النعل على السطوح اللينة أقل من ضغط الحذاء ذي الكعب العالي.

تبدل جسيمات الغاز ضغطًا عندما تصطدم بجدران الوعاء المحصورة فيه. ولأن كتلة جسيم الغاز صغيرة فإن الضغط الذي تبذله هذه الكتلة صغير أيضًا. وعلى أي حال فإن الوعاء الذي سعته لتر يمكن أن يستوعب  $10^{22}$  من جسيمات الغاز. وبهذا العدد من الجسيمات المحصورة معًا داخل الوعاء يكون الضغط الناشئ عن اصطدامها بالجدران كبيرًا.

**ضغط الهواء** يحيط بالكرة الأرضية طبقة الغلاف الجوي التي تمتد مئات الكيلومترات نحو الفضاء. ولما كانت جسيمات الهواء تتحرك في كل اتجاه فإنها تبذل ضغطًا في كل الاتجاهات، وهو ما يعرف **بالضغط الجوي** أو ضغط الهواء. ويتفاوت هذا الضغط من مكان إلى آخر فوق سطح الأرض. ولأن تأثير الجاذبية في سطح الأرض كبير فإن جسيمات الهواء تكون كثيرة وقريبة من سطح الأرض، بينما تقل كلما ارتفعنا إلى أعلى؛ حيث يقل تأثير الجاذبية الأرضية هناك. ويكون عدد جسيمات الهواء فوق المرتفعات العالية أقل، فيسبب ضغطًا أقل من ضغط الأماكن المنخفضة، حيث يكون تركيز جسيمات الهواء فيها أكبر. ولذلك فإن ضغط الهواء في الأماكن المرتفعة أقل مما هو عند مستوى سطح البحر.

ويبلغ الضغط الجوي عند سطح البحر كيلوجرامًا لكل سنتيمتر مربع تقريبًا.

**الشكل 5-1** كان تورشلي أول من صمم جهازًا يبين أن للغلاف الجوي ضغطًا.

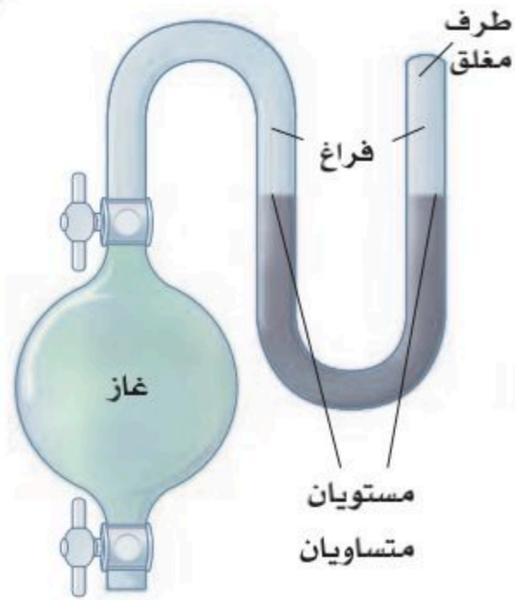


**قياس الضغط الجوي** لقد كان عالم الفيزياء الإيطالي تورشلي (1608-1647م) أول من أثبت وجود ضغط للهواء؛ فقد لاحظ أن مضخة الماء لا يمكنها أن تضخ الماء إلى ارتفاع يتجاوز عشرة أمتار. وقد افترض أن ارتفاع السائل في أنبوب يختلف باختلاف كثافته. ولاختبار هذه الفرضية صمم تورشلي جهازًا، كما هو موضح في الشكل 5-1، حيث ملأ أنبوبًا زجاجيًا رفيعًا مغلقًا من أحد طرفيه بالزئبق، وأغلق الطرف المفتوح بإبهامه لكيلا يسمح للهواء بالدخول، ثم نكس الأنبوب فوق حوض مملوء بالزئبق، ولاحظ انخفاض عمود الزئبق في الأنبوب 76 cm تقريبًا. وهذا يؤيد فرضية تورشلي؛ لأن كثافة الزئبق أكبر من كثافة الماء أربع عشرة مرة تقريبًا، وبناءً على تجربة تورشلي يعرف الضغط الجوي بأنه وزن عمود من الزئبق طوله 76cm.

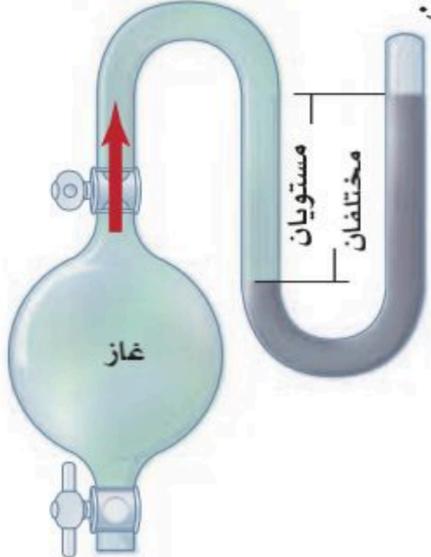
**البارومتر** يدعى الجهاز الذي صممه تورشلي **البارومتر**، وهو أداة تستخدم لقياس الضغط الجوي. وكما أوضح تورشلي، فإن ارتفاع مستوى الزئبق في البارومتر عند سطح البحر يساوي 760 mm تقريبًا. ويحدد ارتفاع الزئبق قوتين، إحداهما الجاذبية الأرضية المؤثرة في الزئبق بقوة ثابتة إلى أسفل، والأخرى القوة المعارضة للجاذبية، واتجاهها إلى أعلى، وتكون بفعل الهواء الضاغط على سطح الزئبق إلى أسفل. ويتغير ضغط الهواء بتغير درجة حرارة ورطوبة الجو.

**المانومتر** أداة تستخدم لقياس ضغط الغاز المحصور، ويتكون من دورق متصل بأنبوب على شكل U مملوء بالزئبق، كما هو موضح في الشكل 6-1. وعند فتح الصمام الفاصل بين الدورق والأنبوب تنتشر جسيمات الغاز من الدورق إلى الأنبوب، وتعمل الجسيمات المتدفقة على دفع الزئبق إلى أسفل الأنبوب. ويتم إيجاد ضغط الغاز في الدورق عن طريق حساب الفرق في ارتفاع مستوى الزئبق في طرفي الأنبوب.

**وحدات قياس الضغط** إن وحدة قياس الضغط هي باسكال (Pa) نسبة إلى العالم الرياضي والفيلسوف الفرنسي باسكال (1623-1962م). وقد اشتقت وحدة باسكال من وحدة قياس القوة العالمية نيوتن (N). وتساوي وحدة باسكال مقدار قوة واحد نيوتن لكل متر مربع ( $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ ). وما زالت مجالات كثيرة من العلوم تستخدم الوحدات التقليدية لقياس الضغط. فعلى سبيل المثال، يسجل المهندسون الضغط على أنه عدد الأرطال لكل بوصة مربعة (psi)، ويسجل الضغط المقيس باستخدام البارومترات أو المانومترات بالملمترات الزئبقية (mmHg). وهناك وحدتان أخريان تعرف إحداهما تور (torr) والأخرى بار (bar).



يكون مستوى ارتفاع الزئبق هو نفسه في طرفي الأنبوب قبل دخول الغاز.



يصبح مستوي ارتفاع الزئبق غير متساويين في طرفي الأنبوب عند دخول الغاز.

**الشكل 6-1** المانومتر جهاز يقيس ضغط الغاز المحصور.

ويصل متوسط ضغط الهواء عند سطح البحر وعند درجة حرارة  $0^{\circ}\text{C}$  إلى  $101.3\text{ kPa}$ . ويسجل ضغط الهواء في العادة بوحدة قياس تعرف بالضغط الجوي (atm)، حيث يساوي  $760\text{ mm Hg}$  أو  $760\text{ torr}$  أو  $101.3\text{ kPa}$ . ويقارن الجدول 1-1 بين وحدات القياس المختلفة للضغط.

مقارنة بين وحدات قياس الضغط		الجدول 1-1
العدد المساوي لـ $1\text{ kPa}$	العدد المساوي لـ $1\text{ atm}$	الوحدة
—	$101.3\text{ kPa}$	كيلو باسكال (kPa)
$0.009869\text{ atm}$	—	الضغط الجوي (atm)
$7.501\text{ mm Hg}$	$760\text{ mm Hg}$	ملمترات زئبق (mm Hg)
$7.501\text{ torr}$	$760\text{ torr}$	تور (torr)
$0.145\text{ psi}$	$14.7\text{ psi}$	رطل / بوصة مربعة ( $\text{psi or lb/in}^2$ )
$100\text{ kPa}$	$1.01\text{ bar}$	بار (bar)

## مختبر تحليل البيانات

### عمل الرسوم البيانية واستخدامها.

ما العلاقة بين عمق الغطس وارتفاع مستوى الماء عن سطح البحر؟

يغوص معظم الغطاسين في مواقع تقع عند مستوى سطح البحر أو قريبة منه، إلا أن الغطاسين في ساسكاتشوان وألبرتا وكولومبيا البريطانية (كندا) وكذلك في المناطق الشمالية الغربية من الولايات المتحدة يغوصون في مناطق مرتفعة عن مستوى سطح البحر.

### التفكير الناقد

1. قارن استخدم البيانات الواردة في الجدول لعمل رسم بياني للضغط الجوي مقابل الارتفاع.
2. احسب عمق غطسك الحقيقي إذا كان مقياس العمق يشير إلى  $18\text{ m}$  ولكنك على ارتفاع  $1800\text{ m}$  عن سطح البحر، علماً بأن مقياس العمق لا يعوّض فرق هذا الارتفاع؟

3. حلّ تستخدم جداول الغطس لتحديد زمن الأمان للغطاس الذي يقضيه على عمق معين تحت الماء. فما أهمية معرفة العمق الصحيح للغطسة؟

### البيانات والمشاهدات

يبين الجدول الآتي معامل تصحيح مقياس الضغط للغطس في مناطق مرتفعة عن سطح البحر.

معامل تصحيح الغطس		
الارتفاع (m)	الضغط الجوي (atm)	معامل تصحيح مقياس الضغط (m)
0	1.000	0.0
600	0.930	0.7
1200	0.864	1.4
1800	0.801	2.0
2400	0.743	2.7
3000	0.688	3.2

\* أخذت البيانات من Swatzky D 2000. الغوص على المرتفعات، الجزء الأول. مجلة الغطاس يونيو 2000.

**قانون دالتون للضغوط الجزئية** وجد دالتون Dalton في أثناء دراسته لخصائص الغازات أن لكل غاز في خليط من الغازات ضغطاً خاصاً به. ويوضح الشكل I-7 قانون دالتون للضغوط الجزئية، وينص على أن الضغط الكلي لخليط من الغاز يساوي مجموع الضغوط الجزئية للغازات المكونة له. وتعرف نسبة ضغط كل غاز من الضغط الكلي بالضغط الجزئي للغاز. ويعتمد الضغط الجزئي للغاز على عدد مولاته، وحجم الوعاء، ودرجة حرارة خليط الغازات، ولكنه لا يعتمد على نوع الغاز. ويكون الضغط الجزئي لمول واحد من أي غاز عند درجة حرارة وضغط معينين هو نفسه. ويلخص قانون دالتون بالمعادلة الموضحة أدناه:

#### قانون دالتون للضغوط الجزئية للغازات

$P_{total}$  تمثل مجموع الضغوط (الضغط الكلي)

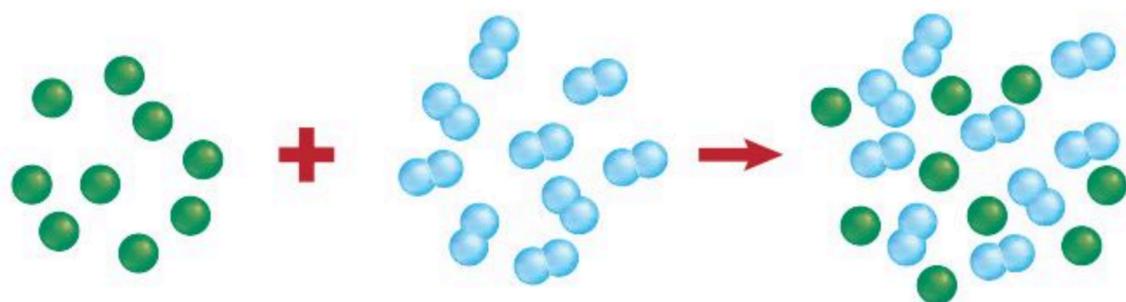
$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

$P_1$  و  $P_2$  و  $P_3$  تمثل الضغوط الجزئية للغازات وحتى

الضغط الجزئي لآخر غاز في الخليط  $P_n$

لحساب الضغط الكلي لخليط الغازات أضف الضغوط الجزئية إلى كل الغازات معاً.

انظر إلى الشكل I-7. ماذا يحدث عند وضع 1 mol من الهيليوم مع 1 mol من النيتروجين في وعاء مغلق؟ لأنه لم يحدث تغيير في حجم كل من الغازين وعدد جسيماتها فإن الضغط الكلي يكون مساوياً لمجموع الضغط الجزئي لكل منهما.



1 mol He  
 $P_1$

1 mol N<sub>2</sub>  
 $P_2$

1 mol He + 1 mol N<sub>2</sub>  
 $P_{Total}$

**الشكل I-7** عند خلط الغازات، يكون الضغط الكلي للخليط مساوياً لمجموع الضغوط الجزئية للغازات في الخليط.

**حدد** كيف تقارن بين الضغوط الجزئية لغازي النيتروجين والهيليوم لكمية 1 mol من كل منهما تم ضغطها داخل وعاء مغلق؟

الضغط الجزئي للغاز إذا كان الضغط الكلي لخليط من الغازات مكوناً من الأوكسجين  $O_2$  وثاني أكسيد الكربون  $CO_2$  والنتروجين  $N_2$  يساوي  $0.97 \text{ atm}$ ، فاحسب الضغط الجزئي للأوكسجين، علماً بأن الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون  $0.70 \text{ atm}$  وللنتروجين  $(0.12 \text{ atm})$ .

**1 تحليل المسألة** أعطيت الضغط الكلي لخليط الغازات والضغط الجزئي لغازين. ولإيجاد الضغط الجزئي للغاز الثالث في الخليط استخدم قانون دالتون للضغوط الجزئية.

**المطلوب**  
 $P_{O_2} = ? \text{ atm}$

**المعطيات**  
 $P_{N_2} = 0.12 \text{ atm}$   
 $P_{CO_2} = 0.70 \text{ atm}$   
 $P_{\text{total}} = 0.97 \text{ atm}$

**2 حساب المطلوب**

$$P_{\text{total}} = P_{N_2} + P_{CO_2} + P_{O_2}$$

$$P_{O_2} = P_{\text{total}} - P_{CO_2} - P_{N_2}$$

$$P_{O_2} = 0.97 \text{ atm} - 0.70 \text{ atm} - 0.12 \text{ atm}$$

$$P_{O_2} = 0.15 \text{ atm}$$

اكتب قانون دالتون للضغوط الجزئية

حل لإيجاد  $P_{O_2}$

عوّض بقيم الضغوط الجزئية  $P_{N_2} = 0.12 \text{ atm}$ ،  $P_{CO_2} = 0.70 \text{ atm}$ ،  $P_{\text{total}} = 0.97 \text{ atm}$

$$P_{O_2} = 0.15 \text{ atm}$$

**3 تقويم الإجابة** عند إضافة القيمة المحسوبة للضغط الجزئي للأوكسجين إلى بقية الضغوط الجزئية يكون الناتج مساوياً للضغط الكلي وهو  $(0.97) \text{ atm}$ .

**مسائل تدريبية**

4. احسب الضغط الجزئي لغاز الهيدروجين في خليط من غاز الهيليوم وغاز الهيدروجين، علماً بأن الضغط الكلي  $600 \text{ mm Hg}$  والضغط الجزئي للهيليوم يساوي  $439 \text{ mm Hg}$ .
5. أوجد الضغط الكلي لخليط غاز مكون من أربعة غازات بضغط جزئية على النحو الآتي:  $5.00 \text{ kPa}$  و  $4.56 \text{ kPa}$  و  $3.02 \text{ kPa}$  و  $1.20 \text{ kPa}$ .
6. أوجد الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون في خليط من الغازات، علماً بأن ضغط الغازات الكلي يساوي  $30.4 \text{ kPa}$  والضغط الجزئي للغازين الآخرين هما  $16.5 \text{ kPa}$  و  $3.7 \text{ kPa}$ .
7. تحفيز الهواء خليط من الغازات يحتوي على غاز النتروجين بنسبة  $78\%$  وغاز الأوكسجين  $21\%$  وغاز الأرجون  $1\%$  (وهناك كميات ضئيلة من الغازات الأخرى). فإذا علمت أن الضغط الجوي يساوي  $760 \text{ mmHg}$ ، فما الضغوط الجزئية لكل من النتروجين والأوكسجين والأرجون في الهواء؟





**الشكل 1-8** يتفاعل حمض الكبريتيك  $H_2SO_4$  مع الخارصين Zn لإنتاج غاز الهيدروجين الذي يتم جمعه عند درجة حرارة  $20^\circ C$ .

**احسب** الضغط الجزئي لغاز الهيدروجين عند درجة حرارة  $20^\circ C$  إذا علمت أن الضغط الكلي لخليط غازي الهيدروجين وبخار الماء هو  $100.0 kPa$ .

**استخدام قانون دالتون** تستخدم الضغوط الجزئية للغازات لتحديد كمية الغاز الناتجة عن التفاعل، حيث يُجمع الغاز الناتج فوق الماء في وعاء ماء منكس، كما هو موضح في الشكل 1-8، فيحل الغاز محل الماء ويكون الغاز الناتج مزيجاً من غازي الهيدروجين وبخار الماء. وبهذا يكون الضغط الكلي داخل الوعاء يساوي مجموع الضغطين الجزئيين لكل من الهيدروجين وبخار الماء.

ترتبط الضغوط الجزئية للغازات عند درجة الحرارة نفسها بتراكيز هذه الغازات. فالضغط الجزئي لبخار الماء له قيمة ثابتة عند درجة حرارة معينة. ويمكنك الحصول على هذه القيم بالرجوع إلى المصادر، فعلى سبيل المثال، الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة حرارة  $20^\circ C$  هو  $(2.3 kPa)$ . ويمكنك حساب الضغط الجزئي لغاز الهيدروجين بطرح الضغط الجزئي لبخار الماء من الضغط الكلي. وستعرف لاحقاً أنك إذا عرفت ضغط غاز ما وحجمه ودرجة حرارته استطعت حساب عدد مولاته.

#### المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

## التقويم 1-1

### الخلاصة

- 8. **الفكرة الرئيسية** فسّر سبب استخدام نظرية الحركة الجزيئية لتفسير سلوك الغازات.
  - 9. صف كيف تؤثر كتلة جسيم الغاز في معدل انتشاره وتدفعه؟
  - 10. وضح كيف يمكن قياس ضغط الغاز؟
  - 11. فسّر لماذا ينكس وعاء الماء عند جمع الغاز بإحلاله محل الماء؟
  - 12. احسب الضغط الجزئي لأحد الغازين المحصورين في وعاء، إذا علمت أن الضغط الكلي  $1.20 atm$  والضغط الجزئي لأحدهما هو  $0.75 atm$ .
  - 13. استنتج ما إذا كان لدرجة الحرارة تأثير في معدل انتشار الغاز، فسّر إجابتك.
- يستخدم قانون جراهام للمقارنة بين معدل انتشار غازين.
  - تفسر نظرية الحركة الجزيئية خصائص الغازات اعتماداً على حجم جسيماتها وحركتها وطاقتها.
  - يستخدم قانون دالتون للضغوط الجزئية لتحديد ضغط كل غاز في خليط من الغازات.



## 1-2

## الأهداف

- تصف القوى الجزيئية.
- تقارن بين القوى الموجودة بين الجزيئات.

## مراجعة المفردات

التساهمية القطبية: رابطة تتكون عندما يكون التشارك بالإلكترونات غير متساوٍ.

## المفردات الجديدة

قوى التشتت  
القوى الثنائية القطبية  
الرابطة الهيدروجينية

## قوى التجاذب Forces of Attraction

**الفكرة الرئيسية** تحدد القوى بين الجزيئات. ومنها قوى التشتت، والقوى الثنائية

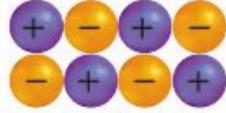
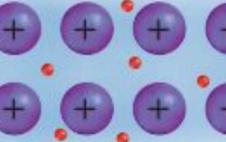
القطبية، والروابط الهيدروجينية. حالة المادة عند درجة حرارة معينة.

**الربط مع الحياة** تعلم أن الماء من المواد النادرة التي توجد في صورة صلب أو سائل أو غاز في الظروف العادية. وهذه الخاصية الفريدة - بالإضافة إلى الخصائص الأخرى التي أودعها الخالق عز وجل فيه - تجعله منبع هذه الحياة.

## القوى بين الجزيئات Intermolecular Forces

لو كان لجسيمات المادة جميعها عند درجة حرارة الغرفة متوسط الطاقة الحركية نفسه، فما سبب وجود مواد غازية وأخرى صلبة أو سائلة؟ تكمن الإجابة عن هذا التساؤل في قوى التجاذب في الجسيمات نفسها، وفيما بينها. وتسمى قوى التجاذب التي تربط بين جسيمات المادة بروابط أيونية وتساهمية وفلزية بقوى الترابط الجزيئية (intramolecular forces). ويعني المقطع intra "داخل"، بينما يعني المقطع molecular "جزيئية"، ويقصد بالجزيئية الذرات والأيونات والجزيئات. ويلخص الجدول 1-2 ما قرأته سابقاً عن قوى الترابط الجزيئية.

لا تمثل قوى الترابط الجزيئية كافة قوى التجاذب بين الجسيمات، بل هناك قوى تجاذب أخرى تسمى القوى بين الجزيئات (intermolecular forces)، وهي قوى بينية تربط بين جسيمات متشابهة، مثل تلك التي بين جزيئات الماء، أو بين جسيمات مختلفة مثل ذرات الكربون في الجرافيت، وجسيمات السليلوز في الورق. سنناقش في هذا الدرس ثلاثة أنواع من القوى بين الجزيئات، هي: قوى التشتت، والثنائية القطبية، والروابط الهيدروجينية. وعلى الرغم من اختلاف هذه القوى في قوتها بعضها عن بعض، إلا أن القوى بين الجزيئات كلها أضعف من قوى الترابط داخل الجزيئات.

المقارنة بين قوى التجاذب داخل الجزيئات			الجدول 1-2
مثال	أسس التجاذب	النموذج	نوع الرابطة
NaCl	الشحنات السالبة والموجبة.		الأيونية
H <sub>2</sub>	النواة الموجبة والإلكترونات المشتركة.		التساهمية
Fe	الأيونات الفلزية الموجبة والإلكترونات المتحركة.		الفلزية

**الشكل 9-1** تتنافر السحب الإلكترونية عند

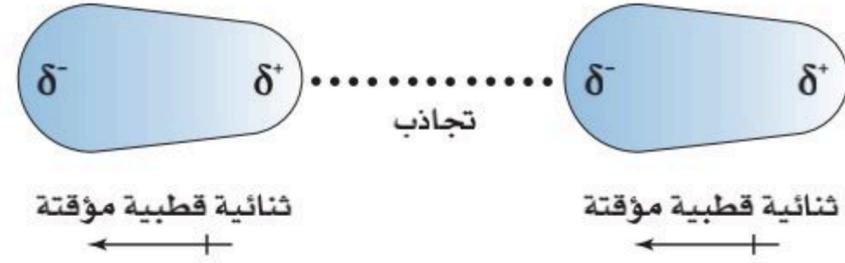
اقتراب جزيئين أحدهما من الآخر، مكونة

ثنائية قطبية مؤقتة؛ حيث تمثل إشارة  $\delta$  منطقة

الشحنة الجزئية على الجزيء.

**فسر** ماذا تمثل إشارة  $\delta^+$  و  $\delta^-$  الموجودتان

على الثنائية القطبية المؤقتة؟



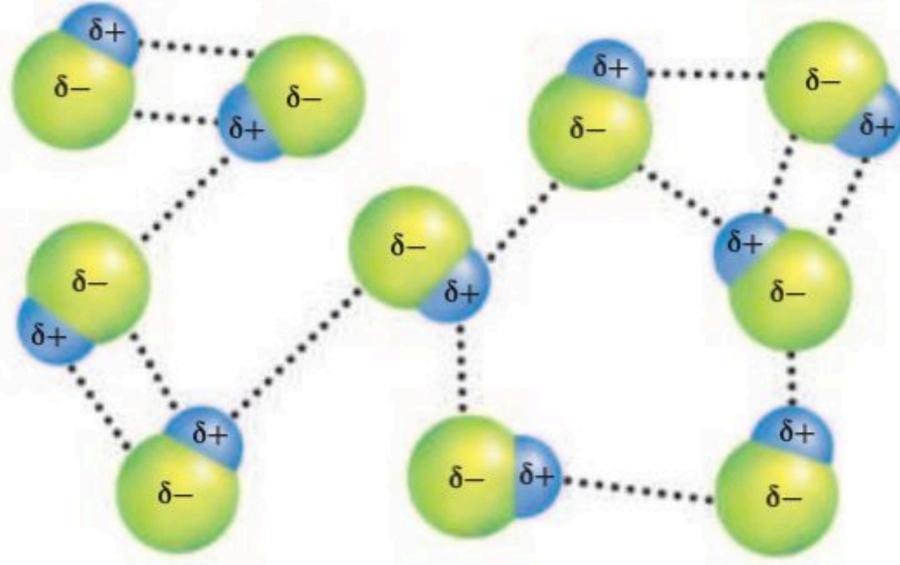
**قوى التشتت** تذكر أن جزيئات الأكسجين غير قطبية؛ لأن إلكتروناتها موزعة بالتساوي بين ذرتي أكسجين ذات الكهروسالبية المتساوية. ويمكن ضغط جزيئات الأكسجين وتحويلها إلى سائل تحت الظروف المناسبة. وحتى يتكاثف الأكسجين لا بد من قوى تجاذب بين جزيئاته.

تسمى قوة الترابط بين جزيئات الأكسجين **قوى التشتت** وهي قوى تجاذب ضعيفة تنشأ بين الجزيئات غير القطبية، وتنتج هذه القوى الضعيفة عن إزاحة مؤقتة في كثافة الإلكترونات في السحب الإلكترونية، وتعرف قوى التشتت أحياناً بقوى (لندن)؛ نسبة إلى الفيزيائي الألماني- الأمريكي فريتز لندن الذي كان أول من وصف هذه القوى.

تذكر أيضاً أن حركة الإلكترونات دائمة داخل السحب الإلكترونية. وعندما يقترب جزيئان أحدهما من الآخر - ولا سيما عند تصادمهما - فإن السحب الإلكترونية لأحدهما تتنافر مع السحب الإلكترونية للجزيء الآخر، فتصبح كثافة الإلكترونات حول كل نواة - ولو لحظة - لكل سحابة إلكترونية أكبر في جهة عن الأخرى، فيشكل كل جزيء ثنائية قطبية مؤقتة. وعند اقتراب ثنائيات الأقطاب المؤقتة بعضها من بعض تنشأ قوى تشتت ضعيفة بين مناطق الشحنات المختلفة لثنائية الأقطاب، كما هو موضح في الشكل 9-1.

**ماذا قرأت؟** فسر سبب تكون قوى التشتت.

تنشأ قوى التشتت بين الجسيمات كافة، ولكنها قوى ضعيفة بالنسبة إلى الجسيمات الصغيرة، ويزداد تأثيرها مع ازدياد عدد الإلكترونات. لذلك كلما زاد حجم الجسيم تصبح قوى التشتت أكثر قوة، وبالتالي فإن قوى التشتت بين جزيئات اليود أقوى من قوى التشتت بين جزيئات البروم في مجموعة الهالوجينات.



**الشكل 1-10** توجّه الجزيئات القطبية المجاورة نفسها، بحيث تصطف الشحنات المتعاكسة معاً.

**حدّد أنواع القوى الممثلة في الشكل.**

وهذا الفرق في قوى التشتت يفسر سبب وجود كلٍّ من الفلور والكلور في الحالة الغازية، والبروم سائلاً، واليود صلباً عند درجة حرارة الغرفة .

✓ **ماذا قرأت؟** استنتج الحالة الفيزيائية لعنصر الأستاتين (At) عند درجة حرارة الغرفة، مبيّناً سبب ذلك.

**قوى ثنائية القطبية** تحتوي الجزيئات القطبية على ثنائية قطبية دائمة، أي أن بعض المناطق في الجزيء القطبي تكون دائماً سالبة جزئياً، وبعضها الآخر يكون موجباً جزئياً، مما يخلق تجاذباً بين هاتين المنطقتين المختلفتي الشحنة، وهذا ما يسمى **ثنائية القطبية** . أما الجزيئات القطبية المجاورة فتوجه نفسها، بحيث تصطف الشحنات المتعاكسة معاً .

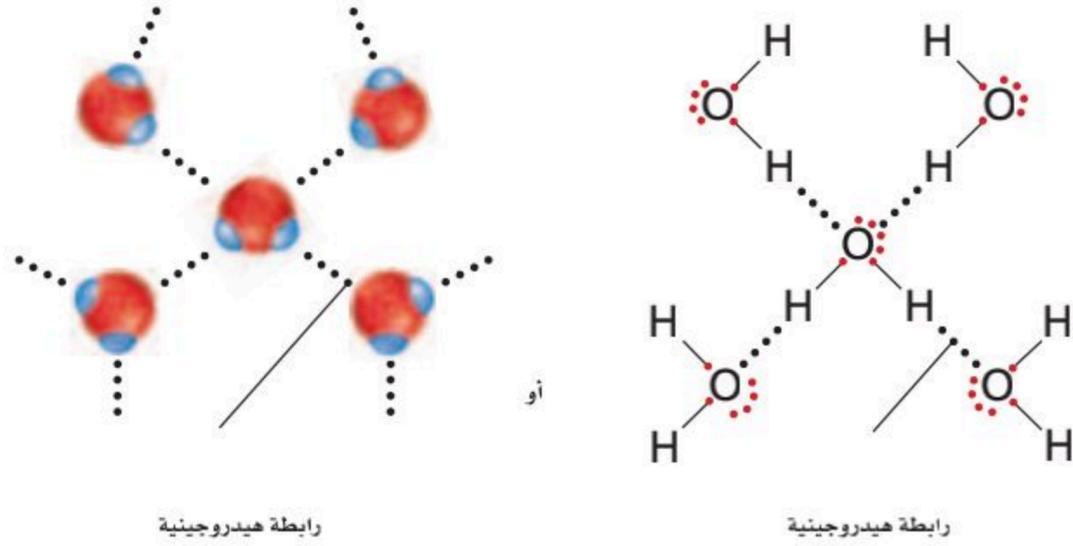
عندما تقترب جزيئات غاز كلوريد الهيدروجين بعضها من بعض تنجذب ذرة الهيدروجين الموجبة جزئياً في الجزيء نحو ذرة الكلور في جزيء آخر، والتي تكون سالبة جزئياً. يوضح الشكل 1-10 تجاذبات متعددة بين جزيئات كلوريد الهيدروجين؛ لأن ثنائية القطبية دائمة في هذا الجزيء القطبي، فمن المتوقع أن تكون القوى الثنائية القطبية أقوى من قوى التشتت. ويمكن أن يكون هذا التوقع صحيحاً في الجزيئات القطبية الصغيرة؛ إذ إن لها ثنائية قطبية كبيرة. ومع ذلك فالكثير من الجزيئات القطبية - ومنها جزيئات كلوريد الهيدروجين HCl الموضحة في الشكل 1-10 - تبقى قوى التشتت فيها أكبر من القوى الثنائية القطبية.

✓ **ماذا قرأت؟** قارن بين القوى الثنائية القطبية وقوى التشتت.

**الروابط الهيدروجينية** نوع خاص من القوى الثنائية القطبية، وتحدث بين الجزيئات التي تحتوي على ذرة هيدروجين مرتبطة مع ذرة صغيرة ذات كهروسالبية كبيرة تحتوي على الأقل على زوج واحد من الإلكترونات غير الرابطة.



**الشكل 1-11** الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء أقوى من تجاذب الشائبة القطبية؛ وذلك لأن الرابطة بين الهيدروجين والأكسجين ذات قطبية كبيرة.



وتتغلب عادة الروابط الهيدروجينية على كل من قوى التشتت والقوى الشائبة القطبية. ولكي تتكوّن الرابطة الهيدروجينية لا بد للهيدروجين أن يرتبط إما مع ذرة فلور أو أكسجين أو نيتروجين؛ حيث تكون كهروسالبيه هذه الذرات كافية لجعل ذرة الهيدروجين ذات شحنة جزئية موجبة، وتكون هذه الذرات في الوقت نفسه صغيرة بقدر كاف يسمح لأزواج الإلكترونات غير الرابطة فيها بالاقتراب من ذرات الهيدروجين. فعلى سبيل المثال، لذرات الهيدروجين في جزيء الماء شحنة جزئية موجبة كبيرة، ولذرة الأكسجين شحنة جزئية سالبة كبيرة، وعند اقتراب جزيئات الماء تنجذب ذرة الهيدروجين في الجزيء نحو زوج الإلكترونات غير الرابطة مع ذرة أكسجين في جزيء آخر، كما هو موضح في الشكل 1-11.

تفسر الرابطة الهيدروجينية سبب وجود الماء في الحالة السائلة عند درجة حرارة الغرفة، بينما تكون المركبات المشابهة للماء في كتلتها المولية في الحالة الغازية. انظر إلى البيانات الواردة في الجدول 1-3. من السهل تفسير الفرق بين الماء والميثان؛ فجزيئات الميثان غير قطبية، والقوى الوحيدة التي تربط بين جزيئاتها هي قوى

خواص بعض المركبات الجزيئية			الجدول 1-3
درجة الغليان (C°)	الكتلة المولية (g/mol)	الشكل الفراغي	المركب
100	18.0		الماء (H <sub>2</sub> O)
-164	16.0		الميثان (CH <sub>4</sub> )
-33.4	17.0		الأمونيا (NH <sub>3</sub> )

التشتت الضعيفة. أما الفرق بين الماء والأمونيا فغير واضح؛ حيث يمكن لجزيئات هذين المركبين تكوين روابط هيدروجينية. ولأن الأمونيا تكون غازاً عند درجة حرارة الغرفة فذلك يدل على أن قوى الترابط بين جزيئات الأمونيا ليست قوية. ولأن ذرات الأكسجين أكثر كهروسالبية من ذرات النيتروجين فإن الرابطة بين O-H في جزيء الماء أكثر قطبية من الرابطة بين N-H في الأمونيا. ونتيجة لذلك فإن الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء أكثر قوة من الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الأمونيا.

## التقويم 1-2

### الخلاصة

- قوى الترابط داخل الجزيئات أقوى من القوى بين الجزيئات.
- قوى التشتت أقوى بين الجزيئات غير القطبية تحدث بين أقطاب مؤقتة.
- تحدث قوى ثنائية القطبية بين الجزيئات القطبية.

14. **الفكرة الرئيسية** فسر ما الذي يحدّد حالة المادة عند درجة حرارة معينة؟

15. قارن بين القوى بين الجزيئات والقوى الجزيئية.

16. قوّم أيّ الجزيئات الآتية يستطيع تكوين روابط هيدروجينية، وأيها يحتوي على قوى التشتت فقط بوصفها قوى بين الجزيئات؟ فسر إجابتك.

a.  $H_2$     b.  $H_2S$     c.  $HCl$     d.  $HF$

17. **تفسير البيانات** هناك أربع روابط تساهمية أحادية في جزيء الميثان  $CH_4$ ، بينما يوجد 25 رابطة تساهمية أحادية في جزيء الأوكتان  $C_8H_{18}$ . كيف يؤثر عدد الروابط في قوى التشتت في كلا المركبين؟ وأي المركبين يكون في الحالة الغازية عند درجة حرارة الغرفة، وأيها في الحالة السائلة؟





# 1-3

## الأهداف

- تقارن بين ترتيب الجسيمات في كل من المواد الصلبة والسائلة.
- تصف العوامل التي تؤثر في اللزوجة.
- تفسر العلاقة بين وحدة البناء والشبكة البلورية.

## مراجعة المفردات

الشكل الهلالي؛ سطح السائل المنحني (مقعر أو محدب).

## المفردات الجديدة

- اللزوجة
- التوتر السطحي
- عوامل خافضة للتوتر السطحي
- المادة الصلبة المتبلورة
- وحدة البناء
- التأصل
- المواد الصلبة غير المتبلورة

## المواد السائلة والمواد الصلبة

### Liquids and Solids

**الفكرة الرئيسية** لجسيمات المواد الصلبة والسائلة قدرة محدودة على الحركة، كما يصعب ضغطها بسهولة.

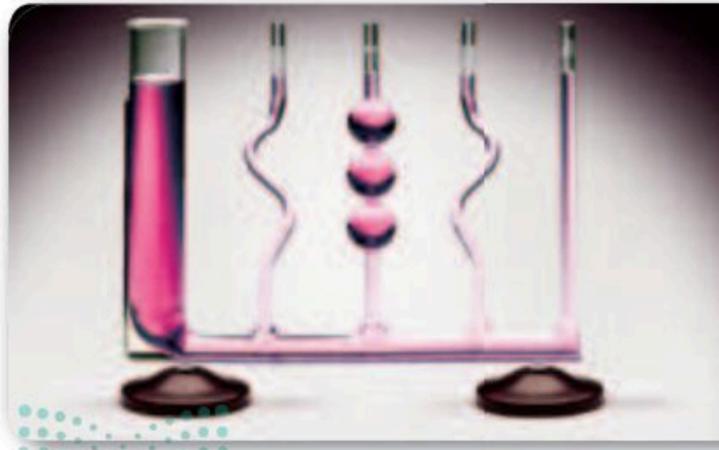
**الربط مع الحياة** هل فكرت يوماً لماذا يكون سكب القَطْر (مركز محلول السكر) (Syrup) المحفوظ في الثلاجة صعباً مقارنة بسكب القطر المحفوظ خارجها؟ لعلك تعلم أن تسخين القطر يجعل سكبه سهلاً. ولكن لماذا تساعد زيادة درجة الحرارة على ذلك؟

### السوائل Liquids

على الرغم من أن نظرية الحركة الجزيئية قد طُورت لتفسير سلوك الغازات، إلا أنه يمكن تطبيقها أيضاً على السوائل والمواد الصلبة، آخذين في عين الاعتبار قوى الترابط بين جسيماتها، إضافة إلى الطاقة الحركية لجسيماتها.

تعلم مما درست سابقاً أن السوائل تأخذ شكل الوعاء الذي توجد فيه، ولكنها تحتفظ بحجمها ثابتاً، أي أن جسيماتها تناسب لتتكيف مع شكل الوعاء، ولكن السوائل لا تتمدد لتماماً الوعاء تماماً، كما هو موضح في الشكل 1-12. وبالرجوع إلى نظرية الحركة الجزيئية نجد أن جسيمات السوائل لا تبقى في مكان ثابت، حيث تحد قوى التجاذب بين جسيمات السائل من مدى حركتها، فتبقى جسيمات السائل متقاربة، ويوجد بينها مسافات تسمح بإنزلاقها فوق بعضها البعض.

**الكثافة والضغط** تكون السوائل أكثر كثافة من الغازات عند درجة حرارة  $25^{\circ}\text{C}$  وضغط جوي  $1\text{atm}$ . وتكون كثافة السوائل أكبر كثيراً من أبخرتها عند الظروف الجوية نفسها. فكثافة الماء السائل مثلاً أكثر 1250 مرة تقريباً من كثافة بخار الماء عند درجة حرارة  $25^{\circ}\text{C}$  وضغط جوي  $1\text{atm}$ . ونظراً إلى وجودهما عند درجة الحرارة نفسها، فإن لكل من جسيمات الغاز والسائل متوسط الطاقة الحركية نفسه. ويعود الارتفاع في كثافة السوائل إلى القوى بين الجزيئية التي تربط الجسيمات معاً. وتختلف السوائل عن الغازات في أنها تعد غير قابلة للضغط في كثير من التطبيقات، والتغير في حجمها صغير جداً؛ لأن جسيمات السائل مترابطة



**الشكل 1-12** تتساب السوائل لتأخذ شكل الوعاء الذي توجد فيه، ولكنها لا تتمدد كالغازات لتماماً الوعاء. **استنتج** سبب وجود السائل عند المستوى نفسه في كل من الأنابيب المتصلة معاً.

بإحكام، ويتطلب الأمر ممارسة ضغط هائل عليه لتقليل حجمه مقداراً ضئيلاً جداً. **الميوعة** تصنف الغازات والسوائل على أنها موائع، بسبب قابليتها للانتشار والانسحاب. يوضح الشكل 1-13 انسياب أحد السوائل عبر سائل آخر. وتنساب السوائل عادة أبطأ من انتشار الغازات عند درجة الحرارة نفسها، وذلك نتيجة تدخل القوى بين الجزيئات في عملية الانسياب، ولهذا تكون السوائل أقل ميوعة من الغازات. ويمكننا توضيح هذا الفرق بالمقارنة بين الماء والغاز الطبيعي. فعند وجود تسرب في أنبوب ماء في الطابق السفلي في منزل مثلاً يبقى الماء في الطابق نفسه ما لم تكن كمية الماء المتسرب تفوق حجم الطابق السفلي كله.

ولو أن الغاز الطبيعي تسرب في الطابق السفلي مثلاً فلن يقتصر وجوده على الطابق السفلي فقط، وإنما سينتشر في كل أرجاء المنزل. ولأن الغاز الطبيعي بلا رائحة فإن الشركات تضيف إليه رائحة مميزة؛ لكي تحذر الناس، وتمكنهم من معرفة مكان تسرب الغاز، فيتمكن ساكنوا المنزل من إغلاق مصدر الغاز المتسرب، وفتح النوافذ للسماح للغاز بالانتشار، والاتصال بشركة الغاز لإصلاح مكان التسرب.

**اللزوجة** هي خاصية تلحظها كلما حاولت إخراج العسل من القارورة. واللزوجة هي مقياس مقاومة السائل للتدفق والانسحاب؛ حيث تكون جسيمات السائل قريبة بعضها من بعض، حتى أن قوى التجاذب بينها تبطئ من حركتها عندما يتجاوز بعضها بعضاً. ويمكن تحديد لزوجة السائل من خلال نوع القوى بين الجزيئات وحجم الجسيمات وشكلها، إضافة إلى درجة الحرارة.

يجب أن تعرف أنه ليست كل السوائل لزجة؛ فقد اكتشف العلماء عام 1937م ما يعرف بالميوعة الفائقة، حيث برّد العلماء سائل الهيليوم إلى درجة حرارة دون  $-270.998^{\circ}\text{C}$  فوجدوا أن خصائصه قد تغيرت؛ إذ فقد سائل الهيليوم لزوجته،

### الشكل 1-13 للغازات والسوائل

القدرة على الانتشار والانسحاب وتظهر هذه الصورة انسياب أحد السوائل عبر الآخر.



### الشكل 1-14 دراسة حالات المادة

لقد أدت الاكتشافات العلمية إلى فهم أكبر عن حالات المادة.

1643 بعد الميلاد برهن اختراع البارومتر على وجود وزن للهواء.

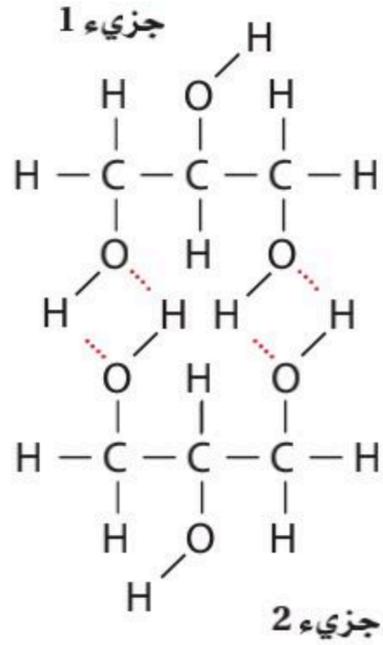
360 قبل الميلاد رفض الفيلسوف أرسطو نظرية ديمقريطس، ودعم الاعتقاد بأن المادة تتكون من نار وهواء وماء وتراب.

1734 بعد الميلاد اقترح دانيال بيرنولي أن ضغط الغاز ناتج عن تصادم جسيمات الغاز بجدران الوعاء المحصور داخله.

400 قبل الميلاد طور الفيلسوف ديمقريطس النظرية القائلة على أن المواد كلها تتكون من أجزاء صغيرة لا تتجزأ سها ذرات.

460 قبل الميلاد وضع الفلاسفة نظرية تنص على أن المواد تتكون من أربعة عناصر هي النار والهواء والماء والتراب.





**الشكل 1-15** يوضح الشكل جزيئين من الجليسرول والرابطة الهيدروجينية بينهما.

**حدّد** عدد الروابط الهيدروجينية التي يمكن لجزيء من الجليسرول تكوينها مع جزيء آخر.

أي مقاومته للانسياب. ويوضح الشكل 1-14 اكتشاف مفهوم الميوعة الفائقة، ومعلومات أخرى عن حالات المادة.

**قوى التجاذب** كلما كانت القوى بين الجزيئات في السوائل كبيرة زادت درجة لزوجتها. فمثلا تعد مادة الجليسرول التي تستخدم في المختبر في تشحيم الأدوات سائلاً لزجاً. ويوضح الشكل 1-15 الصيغ البنائية للرابطة الهيدروجينية التي تجعل الجليسرول مادة لزجة جداً. حيث تستطيع ذرات الهيدروجين المرتبطة مع ذرات الأكسجين في كل جزيء جليسرول تكوين روابط هيدروجينية مع جزيء جليسرول آخر. وتوضح النقاط الحمراء في الشكل 1-15 أماكن تشكل الروابط الهيدروجينية بين الجسيمات.

**حجم الجسيمات وشكلها** يؤثر حجم جسيمات المادة وشكلها في لزوجتها. تذكر أن كتلة الجسيمات وسرعة حركتها تحددان الطاقة الحركية الكلية لها. افترض أن قوى التجاذب بين جسيمات السائل (A) مساوية لقوى التجاذب بين جسيمات السائل (B)، وإذا كانت كتلة جسيمات السائل (A) أكبر من كتلة جسيمات السائل (B)، فيكون السائل (A) أكثر لزوجة من السائل (B)، لذا فإن حركة الجسيمات في السائل (A) تكون على الأرجح أبطأ من حركة جسيمات السائل (B). وتكون لزوجة الجسيمات ذات السلاسل الطويلة في تركيبها - ومنها الزيت المستخدم في الطبخ أو زيت المحركات - أكبر من لزوجة الجسيمات ذات السلاسل القصيرة، على افتراض أن الجسيمات تبذل النوع نفسه من قوى التجاذب. ففي السلاسل الطويلة تكون المسافات بين ذرات الجسيمات المتجاورة قصيرة جداً، وبهذا تكون فرصة حدوث تجاذب بين الذرات أكبر.

**2003** أنتجت عالمة ديوراس. جن أول متكثف فرميوني (fermionic condensate)، وهو سائل له ميوعة فائقة، ويعتبر الحالة السادسة من حالات المادة.

**1937** اكتشف العلماء الميوعة الفائقة، وهي مواع غير اعتيادية بخصائص لم تُشاهد في المادة العادية.

**1808** اقترح جون دالتون أن المادة تتكون من جسيمات صغيرة

2000

1900

1800

**1995** الحالة الخامسة للمادة وهي مائع غازي له ميوعة فائقة يعرف بمكثف بوز - أينشتاين نسبة إلى العالمين ستايندرا بوز وألبرت أينشتاين.

**1927** استخدم مصطلح البلازما لأول مرة لوصف الحالة الرابعة، وهي موجودة في البرق.

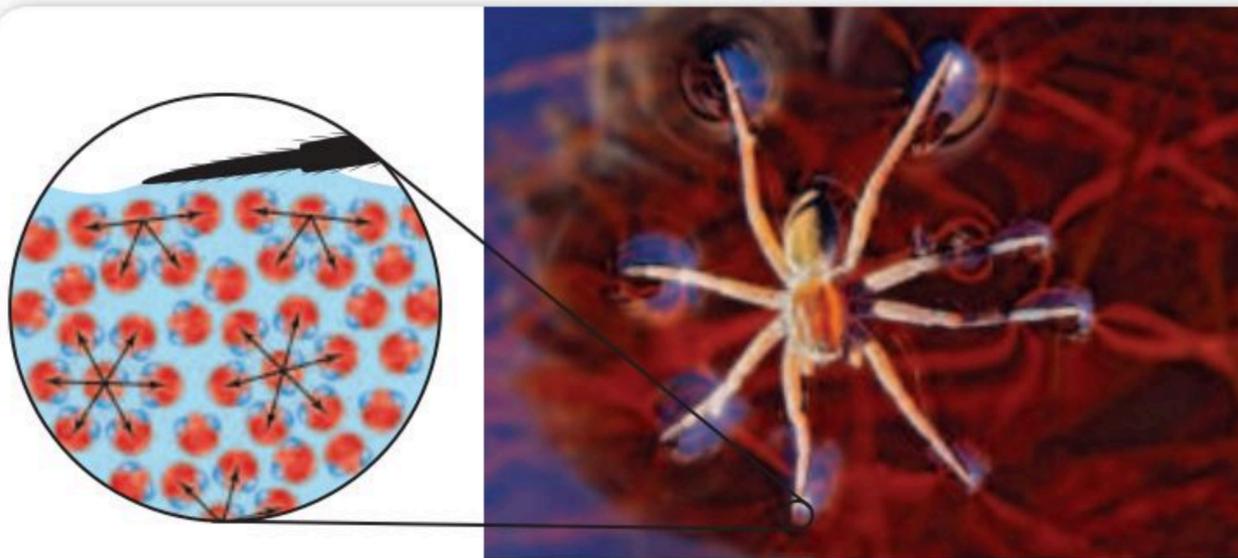


درجة الحرارة تنخفض اللزوجة مع ارتفاع درجة الحرارة، فلا ينتشر زيت الطبخ في المقلاة إلا عند تسخينه، حيث إن زيادة درجة الحرارة تزيد الطاقة الحركية لجسيمات الزيت. وتساعد هذه الطاقة الجسيمات على التغلب على القوى بين الجزيئية التي يرتبط بعضها مع بعض، وتمنعها من الانسياب.

ويعدّ زيت المحرك الذي يقلل من احتكاك الأجزاء المتحركة فيه مثلاً آخر على تأثير درجة الحرارة في اللزوجة. ولذلك استعمل الناس قديماً مزيجاً مختلفاً من زيت المحرك في الصيف والشتاء، فصُمم زيت يُستخدم في الشتاء ليناسب عند درجات حرارة منخفضة، وآخر في الصيف أكثر لزوجة ليناسب درجات الحرارة المرتفعة جداً أو في المسافات الطويلة. أما في الوقت الحاضر فيتم إضافة مواد خاصة إلى زيت المحرك لتعديل لزوجته حتى يُستخدم المزيج نفسه على مدار السنة. والجسيمات في المواد المضافة عبارة عن كرات مضغوطة ذات لزوجة منخفضة نسبياً عند درجات الحرارة المنخفضة، أما عند ارتفاع درجة الحرارة فيتحوّل شكل جسيمات المواد المضافة إلى خيوط طويلة تشابك مع جسيمات زيت المحرك لترفع لزوجته.

### ✓ ماذا قرأت؟ استنتج لماذا يجب أن يبقى زيت المحرك لزجاً؟

**التوتر السطحي** لا يتساوى تأثير القوى بين الجزيئات في جسيمات السائل جميعها، كما يوضح الشكل 1-16؛ فالجسيمات الموجودة وسط السائل تنجذب إلى تلك الموجودة فوقها، وأسفل منها وعلى جانبيها. أما الجسيمات الموجودة على سطح السائل فلا توجد قوة تجاذب من أعلى توازن التي أسفل منها، ولذلك تجذبها محصلة القوة النهائية إلى أسفل، فيحتل السطح أقل مساحة ممكنة، بحيث يبدو كأنه مشدود بإحكام مثل سطح الطبلة. ولزيادة مساحة السطح لا بد للجسيمات الموجودة في الداخل أن تتحرك نحو السطح، وهذا يتطلب طاقة للتغلب على قوى التجاذب التي تربط الجسيمات بعضها ببعض في الداخل. وتُسمى الطاقة اللازمة لزيادة مساحة سطح السائل بمقدار معين **التوتر السطحي**. وهذه الظاهرة مقياس لمقدار قوة السحب إلى الداخل بواسطة الجسيمات الموجودة داخل السائل.



تعمل القوى بين الجزيئات تحت سطح الماء على إحداث التوتر السطحي.

تسمح ظاهرة التوتر السطحي للعنكبوت بالسير على سطح الماء.

الشكل 1-16 تُجذب جسيمات الماء الموجودة عند سطحه نحو الداخل؛ حتى تتوازن قوى التجاذب والتنافر بينها.

## المفردات

### الاستخدامات العلمية

### والشائعة

### القوة

الاستخدام العلمي: الدفع أو السحب المؤثران في الجسم اتجاهًا ومقدارًا.

توجد قوة الجاذبية بين أي جسمين لهما كتلة، وتتناسب القوة طرديًا مع حاصل ضرب كتلتيهما.

الاستخدام الشائع: مجموعة من الناس لديهم القدرة على العمل لتحقيق النتائج المطلوبة. زادت قوة العمال في الشركة إنتاجها في العام الماضي.

وعمومًا كلما زادت قوى التجاذب بين الجسيمات زاد التوتر السطحي؛ فللماء توتر سطحي عالٍ؛ بسبب قدرة جسيماته على تكوين روابط هيدروجينية متعددة. وتكون قطرات الماء كروية الشكل؛ لأن مساحة سطح القطرة الكروية أصغر من مساحة سطح أي شكل آخر له الحجم نفسه. والتوتر السطحي الكبير للماء كما هو موضح في الشكل 1-16 هو الذي يساعد العنكبوت على السير والوقوف على سطح ماء البركة.

وهذه القوى التي تمكن العنكبوت من المكوث على سطح ماء البركة دون أن يغوص هي نفسها التي تجعل انتزاع الأوساخ عن الجلد والملابس باستخدام الماء وحده صعبًا؛ لأن جسيمات الأوساخ لا تستطيع اختراق سطح قطرات الماء. فالماء وحده لا يمكنه انتزاع الأوساخ. ولكن عند استخدام المنظفات والصابون مع الماء يقل التوتر السطحي للماء بتكسير الروابط الهيدروجينية بين جسيمات الماء، وعندها ينتشر الماء ويحمل الأوساخ بعيدًا. وتسمى المركبات التي تعمل على خفض التوتر السطحي للماء **عوامل خافضة للتوتر السطحي**.

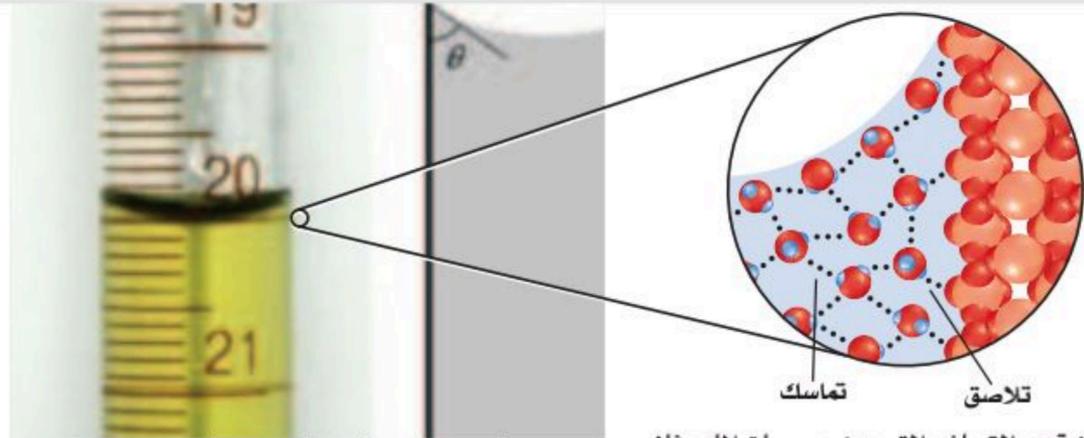
**التماسك والتلاصق** يمكنك أن تلاحظ أن سطح الماء يكون غير مستو عند وضعه في أوعية ضيقة، كالأنابيب الزجاجية، انظر الشكل 1-17؛ حيث يكون السطح على شكل هلال مقعر ينخفض في منطقة الوسط. ويوضح الشكل 1-17 ما يحدث للماء على مستوى الجزيء. فهناك نوعان مهمان من القوى، هما: التماسك والتلاصق؛ حيث يصف التماسك قوة الترابط بين الجسيمات المتماثلة. أما التلاصق فيصف قوة الترابط بين الجسيمات المختلفة. ولأن قوى التلاصق بين جسيمات الماء وثاني أكسيد السليكون في الزجاج أكبر من قوى التماسك بين جسيمات الماء، لذا يرتفع الماء على طول الجدران الداخلية للأنابيب الأسطوانية. **الخاصية الشعرية** يرتفع الماء إلى أعلى في الأنابيب الأسطوانية إذا كان رقيقًا جدًا. وتسمى هذه الأنابيب الرفيعة الأنابيب الشعرية. كما تسمى حركة ارتفاع الماء داخل هذه الأنابيب الخاصية الشعرية التي تفسر سبب امتصاص المناديل الورقية لكميات كبيرة من الماء؛ حيث يُسحب الماء داخل الفراغات الضيقة بين ألياف السليلوز الموجودة في المناديل الورقية، باستخدام الخاصية الشعرية، إضافة إلى تكوّن روابط هيدروجينية بين جسيمات الماء وجسيمات السليلوز.

### الشكل 1-17 لجسيمات الماء خاصيتها

التماسك والتلاصق.

### استنتج لماذا يكون مستوى الماء مرتفعًا

داخل الأنابيب الشعرية الدقيقة.



إن قوى التجاذب التي بين جسيمات الماء وثاني أكسيد السليكون في الزجاج تؤثر على جسيمات الماء لتدفعها نحو الأعلى وذلك نتيجة قوى التلاصق. - تماسك - وتتجاذب مع جسيمات ثاني أكسيد السليكون في الزجاج - تلاصق.

## المواد الصلبة Solids

هل تساءلت يوماً عن سبب وجود المواد الصلبة بشكل وحجم محدد؟ حسب نظرية الحركة الجزيئية فإن لمول واحد من جسيمات المادة الصلبة كمية الطاقة الحركية نفسها الموجودة في مول واحد من المادة السائلة أو الغازية عند درجة الحرارة نفسها. وحسب التعريف فإن جسيمات المادة الصلبة يجب أن تكون في حركة ثابتة. ولكي تبقى المادة في الحالة الصلبة عند درجة حرارة معينة لا بد من وجود قوى تجاذب قوية بين جسيماتها، بحيث تكون قادرة على تقييد حركة هذه الجسيمات لتجعلها تهتز إلى الأمام والخلف، مع الاحتفاظ بمكانها الثابت. ولهذا يمكن القول إن هناك نظاماً في حالة الصلابة أكثر منه في حالة السيولة، وبسبب هذا النظام لا تعتبر المادة الصلبة مائعاً بينما يمكن تصنيف السوائل والغازات على أنها موائع.

**كثافة المواد الصلبة** تكون جسيمات المادة الصلبة عموماً بعضها قريب من بعض أكثر مما هي عليه في المادة السائلة. ولهذا تكون معظم المواد الصلبة أكثر كثافة من معظم السوائل، وعند وجود مادة في الحالة الصلبة والحالة السائلة في الوقت نفسه فإن المادة الصلبة عادة ما تغرق في السائل؛ فالمكعبات الصلبة من البنزين تغرق في البنزين السائل؛ وذلك لأن البنزين الصلب أكثر كثافة من البنزين السائل. وهناك فرق حوالي 10% تقريباً في الكثافة بين المواد في الحالة الصلبة والحالة السائلة. ولأن جسيمات المواد الصلبة متقاربة ومتراصة فإن مقداراً عادياً من الضغط لن يحدث تغييراً في حجمها.

لا يمكنك توقع نسبة كثافة الثلج الصلب إلى الماء السائل معتمداً على ما ورد في حالة البنزين؛ فمكعبات الثلج والجبال الجليدية تطفو فوق الماء؛ لأن حكمة الله اقتضت أن تكون كثافة الماء في حالة الصلابة أقل من كثافته في حالة السيولة. ويوضح الشكل 1-18 السبب في هذه الحالة الاستثنائية للماء، فعندما يتجمد الماء يكون كل جزيء ماء أربع روابط هيدروجينية مع أربعة جسيمات متجاورة، ونتيجة لذلك تكون جسيمات الماء في الثلج أقل تقارباً من بعض مما في الماء السائل.

✓ **ماذا قرأت؟** صف حاول أن تصف بكلماتك سبب طفو الثلج فوق الماء؟

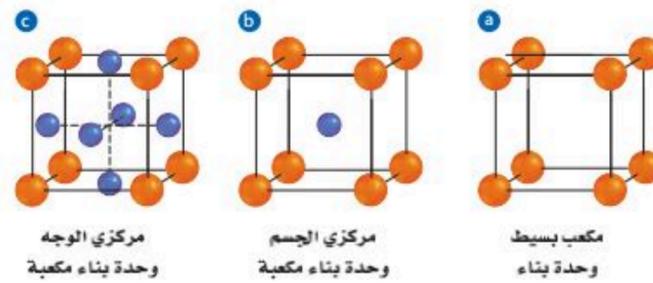
**المواد الصلبة البلورية** على الرغم من أن كثافة الثلج حالة غير عادية إلا أن جسيمات الثلج متراصة كباقي المواد الصلبة بطريقة يسهل التنبؤ بها. فالمادة الصلبة البلورية مادة ذراتها أو أيوناتها أو جزيئاتها مرتبة في شكل هندسي منتظم، ويمكن تمثيل مواقع الجسيمات في البلورة في صورة نقاط ضمن إطار يسمى الشبكة البلورية. وهناك ثلاث طرائق تترتب من خلالها الجسيمات داخل الشبكة البلورية لتكوين مكعب، كما هو موضح في الشكل 1-19.



**الشكل 1-18** يطفو جبل الجليد فوق الماء بسبب تكون أربع روابط هيدروجينية مع أربع جسيمات متجاورة، ونتيجة لهذا تكون جسيمات الماء في الثلج أقل تقارباً من بعض مما في الماء السائل.

### مهن في الكيمياء

**خبير المعادن** خبراء المعادن مهندسون يهتمون بكل مراحل تصنيع المعادن، بدءاً من استخراجها والتقيب عنها وتشكيلها على هيئتها النهائية. ولا بد لخبير المعادن في كل مرحلة من فهم الخواص الفيزيائية والكيميائية للمعادن.

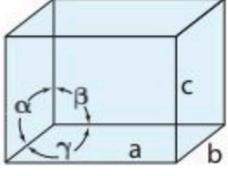
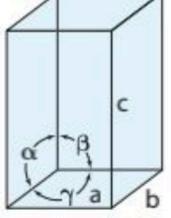
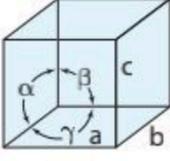
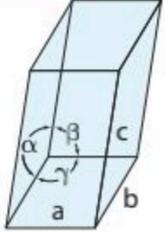
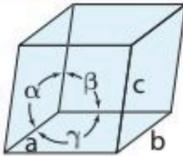
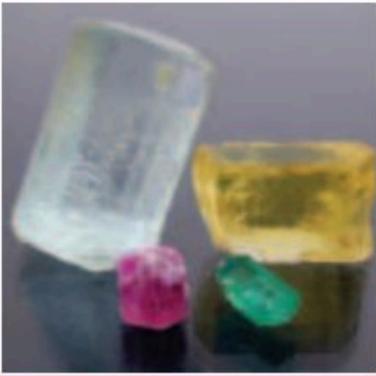
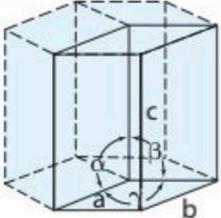
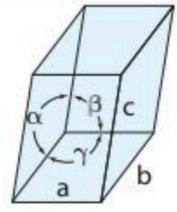


**الشكل 1-19** تبين هذه الرسوم ثلاث طرائق لترتيب الجسيمات في الشبكة البلورية، حيث تمثل كل كرة جسيماً. a. تترتب الجسيمات عند زوايا المكعب فقط. b. وجود جسيم في وسط المكعب. c. وجود جسيمات وسط الأوجه الستة للمكعب، لكن لا وجود لأي جسيم وسط المكعب نفسه.



وحدة البناء هي أصغر ترتيب للذرات في الشبكة البلورية يحمل التماثل نفسه، كما في البلورة ككل. وكما درست سابقاً، فوحدة البناء هي نموذج مصغّر من البناء الأكبر الكامل، ويمكن النظر إلى وحدة البناء على أنّ شكلها يحدد شكل البلورة كاملة.

يوضح الجدول 1-4 سبعة تصنيفات للبلورات بناءً على الشكل، وتختلف أشكال البلورات بسبب أوجه أو سطوح وحدات البناء، التي لا تلتقي دائماً في زوايا قائمة. كما أن أطراف تلك السطوح مختلفة في الطول. وقد استخدمت العلامات  $a, b, c$  في الجدول؛ لبيان الأطراف، وقد استخدمت العلامات  $\alpha, \beta, \gamma$  لبيان الزوايا التي تلتقي عندها السطوح معاً.

وحدات البناء		الجدول 1-4	
 <p>أراجونايت</p>  <p><math>a \neq b \neq c</math> <math>\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ</math></p> <p>متوازي مستطيلات</p>	 <p>فيزوفيانايت</p>  <p><math>a = b \neq c</math> <math>\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ</math></p> <p>رباعي الأوجه</p>	 <p>هالايت</p>  <p><math>a = b = c</math> <math>\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ</math></p> <p>مكعب</p>	
 <p>كروسيت</p>  <p><math>a \neq b \neq c</math> <math>\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta</math></p> <p>أحادي الميل</p>	 <p>زمرد</p>  <p><math>a = b = c</math> <math>\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ</math></p> <p>معيني</p>	 <p>تورمالين</p>  <p><math>a = b \neq c</math> <math>\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ</math></p> <p>سداسي الأوجه</p>	 <p>ميكروكلاين</p>  <p><math>a \neq b \neq c</math> <math>\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ</math></p> <p>ثلاثي الميل</p>

أنواع المواد الصلبة البلورية			الجدول 1-5
أمثلة	خصائص الحالة الصلبة	وحدة الجسيمات	النوع
عناصر المجموعة 18	ليينة إلى لينة جداً، درجة انصهار منخفضة، رديئة التوصيل.	الذرات	ذرية
$I_2, H_2O, NH_3, CO_2, C_{12}H_{22}O_{11}$	متوسطة اللين، تتفاوت درجات الانصهار بين المنخفضة والمرتفعة نسبياً، رديئة التوصيل.	جسيمات	الجزئية
الألماس C الكوارتز $SiO_2$	صلبة جداً، درجة انصهار مرتفعة، رديئة التوصيل عادة.	ترتبط الذرات بروابط تساهمية	التساهمية الشبكية
$NaCl, KBr, CaCO_3$	صلبة، هشّة، درجة انصهار مرتفعة، رديئة التوصيل.	أيونات	الأيونية
جميع العناصر الفلزية	ليينة إلى صلبة، درجة انصهار بين المنخفضة والمرتفعة، قابلة للسحب والطرق، ممتازة التوصيل.	الذرات يحيط بها إلكترونات التكافؤ الحرة الحركة	الفلزية

**تصنيف المواد الصلبة البلورية** تصنف هذه المواد تبعاً لنوع الجسيمات المكونة لها، وكيفية ارتباط هذه الجسيمات بعضها ببعض إلى خمس فئات، هي: الصلبة الذرية، الصلبة الجزئية، الصلبة التساهمية الشبكية، الصلبة الأيونية، الصلبة الفلزية. ويلخص الجدول 1-5 الخصائص العامة لكل فئة مع إعطاء مثال على كل منها. وتعد الغازات النبيلة عند تجمدها المثال الوحيد على الصلبة الذرية؛ حيث تعكس خواصها قوى التشتت الضعيفة بين ذراتها.

**المواد الصلبة الجزئية** ترتبط الجسيمات في هذه المواد إما بقوى التشتت، أو القوى الثنائية القطبية أو الروابط الهيدروجينية. ولا تكون معظم المواد الجزئية في الحالة الصلبة عند درجة حرارة الغرفة، حتى الماء الذي يستطيع تكوين روابط هيدروجينية قوية يكون سائلاً عند درجة حرارة الغرفة. إلا أن بعض المركبات الجزئية - ومنها السكر - صلبة عند درجة حرارة الغرفة؛ بسبب كتلتها الجزئية الكبيرة. تحتوي الجزيئات الكبيرة على الكثير من الروابط الضعيفة التي تجتمع معاً لربط الجزيئات بعضها ببعض، وبسبب عدم احتواء المواد الصلبة الجزئية على أيونات، تعد رديئة التوصيل للحرارة والكهرباء.

**المواد الصلبة التساهمية الشبكية** تستطيع ذرات الكربون والسليكون تكوين مواد صلبة تساهمية شبكية؛ بسبب قدرتها على تكوين روابط تساهمية متعددة. ويوضح الشكل 1-20 التركيب التساهمي الشبكي للكوارتز الذي يحتوي على السليكون. ويستطيع الكربون تكوين ثلاثة أنواع من المواد الصلبة التساهمية الشبكية، هي: الألماس والجرافيت والبكمنستر فوليرين. وتسمى ظاهرة وجود عنصر مثل الكربون بثلاثة أشكال في الحالة الفيزيائية نفسها (صلبة أو سائلة أو غازية) **التأصل**.

الشكل 1-20 أكثر أنواع الكوارتز شيوعاً هو البلوري السداسي.



## تجربة

### نمذجة وحدات بناء البلورة

كيف يمكنك تصميم نماذج فيزيائية توضح تركيب البلورة؟

### خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. أحضر مجموعة اطباق من الورق المقوى.
3. استعمل المقص لعمل مكعب من الورق المقوى وثبته بالشريط اللاصق.
4. ارجع إلى الجدول 1-4 واعمل نماذج من الورق المقوى تمثل وحدات بناء البلورات الموضحة فيه.

### تحليل النتائج

1. قوّم أي النماذج له ثلاثة محاور متساوية الطول؟ ما وجه الاختلاف بينها؟
2. حدّد أيّ النماذج تتضمن مربعاً ومستطيلاً؟
3. حدّد أيّ النماذج له ثلاثة محاور غير متساوية؟
4. استنتج هل البلورات مثالية - في رأيك - أم فيها خلل؟ فسر إجابتك.

**المواد الصلبة الأيونية** تذكر أن كل أيون في المواد الصلبة الأيونية محاط بأيونات معاكسة له في الشحنة. ويمكن تحديد شكل البلورة وتركيب الشبكة البلورية من خلال نوع هذه الأيونات ونسبة وجودها؛ إذ تعطي قوى التجاذب بين البلورات هذه المركبات الصلابة ودرجات الانصهار العالية. والبلورات الأيونية صلبة، إلا أنها هشّة، فعند طرق البلورة الأيونية تتراح الأيونات الموجبة والسالبة من مواقعها، مما يؤدي إلى تنافر بين الشحنات المتشابهة وإلى تكسر البلورة.

**المواد الصلبة الفلزية** إن الفلزات الصلبة تتكون من أيونات موجبة محاطة ببحر من الإلكترونات المتحركة. وتتفاوت قوة الروابط الفلزية بين الأيونات الموجبة والإلكترونات من فلز إلى آخر، ويفسر هذا الاختلاف الخصائص الفيزيائية للفلزات. فمثلاً، ينصهر القصدير عند  $232^{\circ}\text{C}$ ، بينما ينصهر النيكل عند  $1455^{\circ}\text{C}$ . وتجعل الإلكترونات المتحركة الفلزات قابلة للطرق والسحب، وعند تسليط قوة على الفلز تتحرك الإلكترونات لتجعل الأيونات مترابطة في مواقعها الجديدة. كما أن الإلكترونات المتحركة هي السبب أيضاً في جعل الفلزات موصلات جيدة للحرارة والكهرباء. وتستخدم الأسلاك الفلزية لتوصيل الكهرباء إلى البيوت، كما هو موضح في الشكل 1-21.

✓ **ماذا قرأت؟** صف خصائص الفلزات التي تستعمل لصناعة المجوهرات.

**الشكل 1-21** تستخدم في البيوت والأعمال والمعدات أسلاكاً فلزية لنقل الكهرباء. والفلز المستخدم في العادة هو النحاس، إلا أن بعض الفلزات الأخرى تستخدم في تطبيقات خاصة.





**الشكل 1-22** استخدم الناس قديماً الزجاج غير المتبلور (الزجاج البركاني) لعمل رؤوس السهام والسكاكين؛ لأنه يكوّن حواف حادة عند كسره. يتكون الزجاج البركاني عندما تبرد الحمم البركانية بسرعة كبيرة.

**المواد الصلبة غير المتبلورة** يمكن تعريف **المواد الصلبة غير المتبلورة** بأنها المواد التي لا تترتب فيها الجسيمات بنمط مكرّر ومنتظم، ولا تحتوي على بلورات. وتتكون هذه المواد عادة عندما تبرد المواد المنصهرة بسرعة كبيرة، بحيث لا تسمح للبلورات بالتكون. يبين الشكل 1-22 مواد صلبة غير متبلورة.

يمثل الزجاج والمطاط والكثير من المواد البلاستيكية مواد صلبة غير متبلورة. وقد بيّنت بعض الدراسات الحديثة احتمال وجود تركيب بلوري للزجاج، فعند استخدام انحراف أشعة X في دراسة الزجاج لم يظهر وجود نمط معين في توزيع الذرات، ولكن عند استخدام النيوترونات بدلاً من أشعة X أمكن تعرّف عدة أنماط منتظمة من وحدات السليكات في بعض المناطق. ويأمل الباحثون في استخدام هذه المعلومات للتحكم في تركيب الزجاج في التطبيقات البصرية وإنتاج الألياف البصرية.

#### المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

## التقويم 1-3

### الخلاصة

- تفسر نظرية الحركة الجزيئية سلوك المواد الصلبة والسائلة.
- تؤثر قوى التجاذب بين الجزيئات في المواد السائلة في الزوجية والتوتر السطحي والتلاصق والتماسك.
- تصنّف المواد الصلبة البلورية حسب الشكل والتركيب.

- الفكرة الرئيسية** قارن بين ترتيب الجسيمات في المواد الصلبة والسائلة.
- صف العوامل المؤثرة في الزوجية.
- فسّر سبب استخدام الماء والصابون معاً لتنظيف الملابس، وليس الماء وحده.
- قارن بين وحدة البناء والشبكة البلورية.
- صف الفرق بين المواد الصلبة الجزيئية والمواد الصلبة التساهمية الشبكية.
- فسّر سبب تكوين سطح الماء بشكل هلامي في المخبر المدرج.
- استنتج سبب تكون سطح الزئبق في المخبر المدرج على صورة سطح محدب.
- توقع أيّ المواد الصلبة تكون غير متبلورة: المادة الصلبة التي يتم تبريد مصهورها ببطء شديد حتى درجة حرارة الغرفة، أم المادة الصلبة التي يتم تبريد مصهورها بسرعة كبيرة في حوض من الثلج؟
- صمّم من الألعاب المشهورة للأطفال رمي الحجارة الصغيرة بقوة وبشكل مواز وملامس لسطح ماء البحر أو البحيرة وملاحظة أطول مسافة يقطعها الحجر قبل أن يغرق. صمّم تجربة تقارن فيها أطول مسافة يمكن أن يقطعها الحجر إذا استخدم الماء مرة وأيزوبروبيل الكحول مرة أخرى.



## 1-4

## تغيرات الحالة الفيزيائية Phase Changes

## الأهداف

- تفسر كيف يؤدي إضافة الطاقة أو انتزاعها إلى تغير الحالة الفيزيائية للمادة.
- تفسر مخطط الحالة الفيزيائية للمادة.

**الفكرة الرئيسية** تتغير حالة المادة عند إضافة الطاقة إليها أو انتزاعها منها.

**الربط مع الحياة** هل تساءلت يوماً أين تذهب المادة الصلبة الموجودة في ملطف الجو؟ تكون مادة ملطف الجو صلبة، وتعطي رائحة قوية عند فتحها لأول مرة، ومع الأيام تقل المادة الصلبة، وفي النهاية لا يتبقى منها شيء تقريباً، ويكون قد حان وقت وضع قطعة أخرى مكانها. لماذا لم تلاحظ تكون كمية من السائل، كتلك التي تنشأ عن الانصهار؟

## تغيرات الحالة الفيزيائية الماصة للطاقة

## Phase Changes That Require Energy

توجد معظم المواد في ثلاث حالات؛ اعتماداً على درجة الحرارة والضغط. وتوجد بعض المواد، ومنها الماء، في الحالات الثلاث تحت الظروف الطبيعية. وعند وجود حالتين للمادة ممزوجتين معاً بصورة غير متجانسة يقال إن هناك طورين للمادة. فالماء الثلج عبارة عن خليط غير متجانس من طورين، الماء السائل والثلج الصلب.

وعند إضافة أو انتزاع الطاقة من نظام معين تتغير حالة المادة الفيزيائية إلى حالة أخرى، كما هو ظاهر في الشكل 1-23؛ وذلك لأن حالات الماء - الثلج والسائل وبخار الماء - مألوفة لديك، وقد راقبت تغيراتها، لذا يمكن استخدام الماء مثلاً أساسياً على مناقشة تغيرات حالات المادة.

**الانصهار** ماذا يحدث لمكعبات الثلج في كوب من الماء؟ عند وضع مكعب ثلج في الماء تكون درجة حرارة الماء أعلى من درجة حرارة الثلج، فتندفق الحرارة من الماء إلى مكعب الثلج. فالحرارة هي انتقال الطاقة من جسم درجة حرارته أعلى إلى جسم درجة حرارته أخفض. ولا تستخدم الطاقة التي يمتصها مكعب الثلج لرفع درجة حرارته عند درجة انصهاره، بل على عكس ذلك فهي تضعف الروابط الهيدروجينية بين جسيمات الثلج، فعندما تمتص الجسيمات على سطح مكعب الثلج طاقة كافية لتكسير الروابط الهيدروجينية التي تربط جسيمات الماء معاً في مكعبات الثلج عندها تتحرك جسيمات السطح مبتعداً بعضها عن بعض لتدخل في الحالة السائلة. وفي أثناء حركة الجسيمات تتقلص قطعة الثلج، وتستمر العملية حتى تنصهر قطعة الثلج كاملة. إذا تركت مكعبات الثلج على طاولة فمن أين تأتي الطاقة اللازمة لتنصهر المكعبات؟

## مراجعة المفردات

**تغير الحالة:** هو تغير المادة من حالة إلى أخرى.

## المفردات الجديدة

درجة الانصهار

التبخير

التبخير السطحي

ضغط البخار

درجة الغليان

درجة التجمد

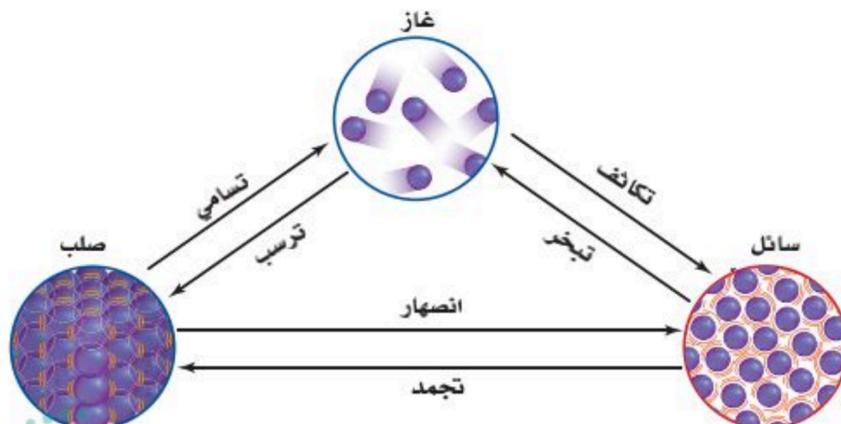
التكاثف

الترسب

مخطط الحالة الفيزيائية (الطور)

النقطة الثلاثية

النقطة الحرجة



**الشكل 1-23** يوضح الشكل التحولات الستة

المحتملة بين حالات المادة.

**حدد** ما تغيرات الحالة الفيزيائية التي

تحدث بين المواد الصلبة والمواد السائلة؟

## الكيمياء في واقع الحياة

### التبخّر



التعرق التبخر السطحي من طرائق تحكم الجسم في درجة حرارته. فعندما تشعر بالسخونة يبدأ الجسم في إفراز العرق من الغدد العرقية الموجودة على سطح الجلد، وتمتص جسيمات الماء في العرق الحرارة من سطح الجلد وتبخر، وبذلك يتم امتصاص الحرارة من أجزاء الجسم جميعها إلى الجلد عن طريق الدم.

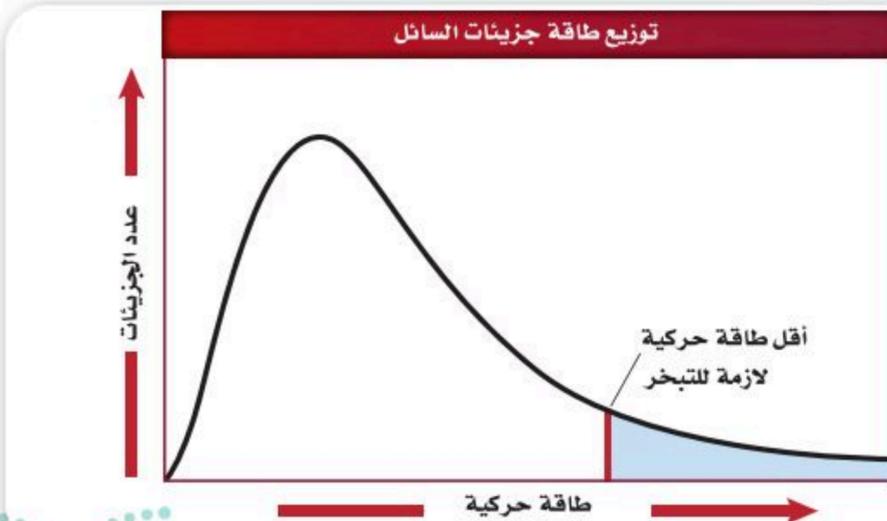
تعتمد كمية الطاقة اللازمة لصهر مول واحد من المادة الصلبة على قوة التجاذب بين جسيمات المادة. ولأن الروابط الهيدروجينية الموجودة بين جسيمات الماء قوية فإن كمية الطاقة اللازمة لصهر الثلج تكون عالية نسبياً. إلا أن الطاقة اللازمة لصهر الثلج أقل كثيراً من الطاقة اللازمة لصهر كلوريد الصوديوم (ملح الطعام)؛ حيث إن قوة التجاذب بين الأيونات أكبر كثيراً من الروابط الهيدروجينية التي في الثلج.

إن درجة الحرارة التي تكون عندها المادة في الحالة السائلة والصلبة هي من الخصائص الفيزيائية المميزة للكثير من المواد الصلبة. فدرجة انصهار المادة الصلبة المتبلورة هي درجة الحرارة التي تتكسر عندها القوى التي تربط جسيمات الشبكة البلورية بعضها ببعض، فتتحول المادة إلى الحالة السائلة. من الصعب تحديد درجة الانصهار بشكل دقيق للمواد غير المتبلورة؛ لأنها تنصهر عند درجات حرارة أعلى من درجات انصهارها، وذلك لأن الانصهار لا يتم عند درجة حرارة ثابتة بسبب عشوائية تركيبها، إذ عندما يبدأ الانصهار تستمر درجة الحرارة بالارتفاع لذلك يصعب تحديد نقطة الانصهار.

**التبخّر** عندما ينصهر مكعب ثلج تبقى درجة حرارة الماء والثلج ثابتة لا تتغير. وعندما يتحول الثلج كله إلى ماء سائل ويكتسب النظام طاقة تزداد الطاقة الحركية للجسيمات، وترتفع درجة حرارة النظام. حيث تكون طاقة بعض جسيمات الماء أعلى من طاقة الجسيمات الأخرى. ويوضح الشكل 1-24 توزيع طاقة الجسيمات في سائل عند درجة حرارة  $25^{\circ}\text{C}$ ؛ حيث تدل المنطقة المظللة على الجسيمات التي لها طاقة كافية للتغلب على قوى التجاذب بين جسيمات السائل.

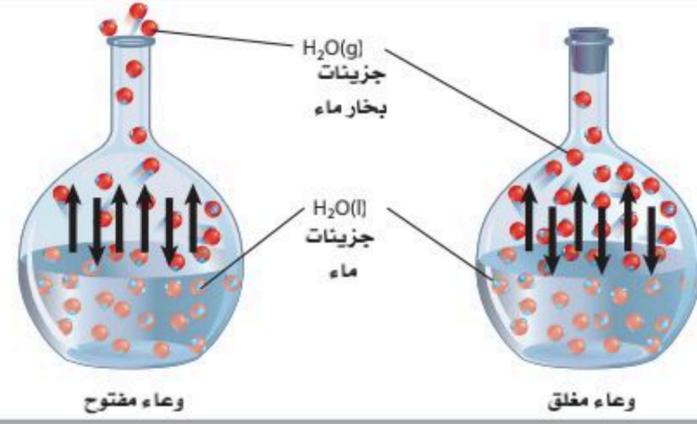
**اختبار الرسم البياني؟** صف ما يحدث للجسيمات في المنطقة المظللة في الشكل 1-24.

عندما تترك الجسيمات السائل فإنها تدخل في الحالة الغازية. وتسمى الحالة الغازية للمواد التي تكون في الحالة السائلة عند درجة حرارة الغرفة البخار.



الشكل 1-24 يوضح الرسم البياني التوزيع المثالي للطاقة الحركية للجسيمات في سائل عند درجة حرارة  $25^{\circ}\text{C}$ . وتقع أكبر طاقة محتملة للجسيمات على قمة المنحنى. صف شكل المنحنى للسائل نفسه عند  $30^{\circ}\text{C}$ .

**الشكل 1-25** يحدث التبخر في كلا الوعائين المغلق والمفتوح. تخرج جسيمات الماء المتبخرة من الوعاء المفتوح بينما تبقى في الوعاء المغلق، حيث يتكاثف الماء ويتجمع فوق السائل.



**والتبخر** هو العملية التي يتحول من خلالها السائل إلى غاز أو بخار.

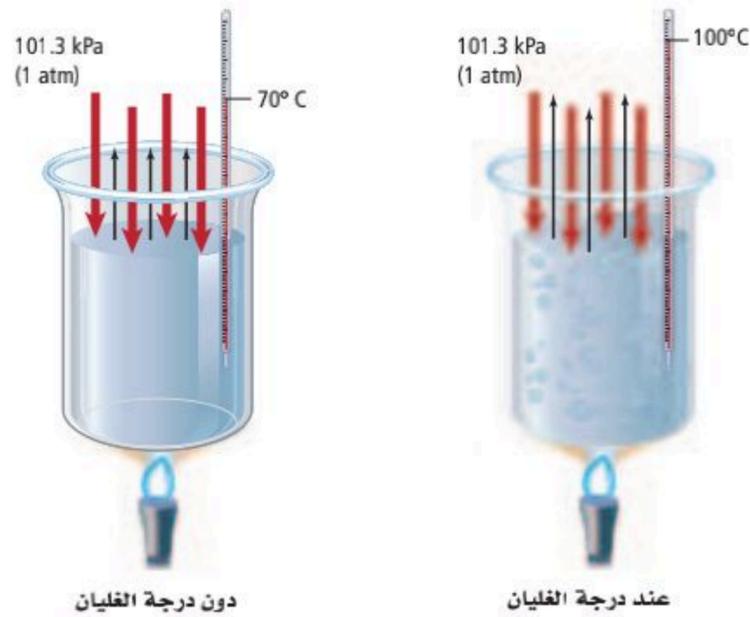
وإذا كان التسخين تدريجيًا فإن جسيمات سطح السائل تحاول الإفلات والتحول إلى غاز. تذكر أن الجسيمات عند سطح السائل تكون مرتبطة بعدد أقل من الروابط مقارنة بالجسيمات الموجودة داخل السائل.

وعندما يحدث التبخر عند سطح السائل فقط تعرف هذه العملية **بالتبخر السطحي**. ويحدث التبخر لجزيئات الماء على السطح حتى في درجات الحرارة المنخفضة؛ لأن بعض الجزيئات تكون لها طاقة كافية للتحويل إلى بخار، ومع زيادة درجة الحرارة يزداد عدد الجسيمات التي تتحول إلى الحالة الغازية.

يوضح الشكل 1-25 مقارنة بين التبخر في وعاء مغلق وآخر مفتوح. فالماء الذي في الوعاء المفتوح يتبخر كافة جزيئاته من السطح ويختفي في النهاية. ويعتمد الزمن اللازم لتبخر هذه الجزيئات كافة من السطح على كمية الماء والطاقة المتوافرة. أما الذي يكون في الوعاء المغلق فتكون الحالة مختلفة تمامًا؛ حيث يتجمع بخار الماء فوق سطح السائل، ويولد ضغطًا على سطحه يعرف **بضغط البخار**.

تسمى درجة الحرارة التي يتساوى عندها ضغط بخار السائل مع الضغط الخارجي أو الضغط الجوي **درجة الغليان**. استخدم الشكل 1-26 لمقارنة ما يحدث للسائل عند درجة غليانه بما يحدث له عند درجات حرارة أقل من درجة غليانه. للجسيمات جميعها عند درجة الغليان طاقة كافية للتبخر، وتتكون فقائيع بخار السائل تحت سطح السائل، ثم ترتفع إلى السطح.

**الشكل 1-26** عندما ترتفع درجة الحرارة تكتسب جسيمات الماء طاقة حركية، فيزداد ضغط البخار (الأسهم السوداء) ولكنه أقل من الضغط الجوي (الأسهم الحمراء). ويصل السائل إلى درجة غليانه عندما يصبح ضغط البخار مساويًا للضغط الجوي. وتكون درجة غليان الماء عند سطح البحر  $100^{\circ}\text{C}$



تجربة عملية

درجات الغليان

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



**التسامي** هو تحول المادة مباشرة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة. فمثلاً، يتسامى كلاً من اليود الصلب وثاني أكسيد الكربون الصلب (الجليد الجاف) عند درجة حرارة الغرفة. ويستخدم الجليد الجاف الظاهر في الشكل 1-27 للحفاظ على برودة المواد في أثناء الشحن، وبخاصة المواد التي تتلف من انصهار الثلج. وتتسامى كرات العث التي تحتوي على مادة النفتالين أو بيتا ثنائي كلورو البنزين، وكذلك معطرات الجو الصلبة.

## تغيرات الحالة الفيزيائية الطاردة للطاقة Phase Changes That Release Energy

هل استيقظت صباح يوم بارد فلاحظت صقيعاً على نافذة منزلك، أو نقاطاً من الندى تغطي زجاج السيارات؟ هل لاحظت قطرات من الماء تتكون على سطح كأس ماء ثلج من الخارج؟ هذه الظواهر مثال على تغيرات الحالة التي تطلق الطاقة إلى محيطها.

**التجمد** افترض أنك وضعت كأس ماء في مجمد الثلاجة، فخلال عملية التبريد يفقد الماء الحرارة، فتفقد جسيمات الماء طاقتها الحركية، وتقل سرعتها، ويصبح انزلاق بعضها حول بعض أقل. وعندما تُفقد طاقة حركية كافية تُبقي الروابط الهيدروجينية التي بين جسيمات الماء الجسيمات ثابتة في مواقعها ومتجمدة. والتجمد عكس الانصهار. وتعرف **درجة التجمد** بأنها درجة الحرارة التي يتحول عندها السائل إلى صلب بلوري.

**التكاثف** عندما تفقد جسيمات بخار الماء الطاقة فإن سرعتها تقل وتصبح قدرتها على تكوين روابط هيدروجينية بين بعضها مع البعض أكبر. وينتج عن تكون الروابط الهيدروجينية طاقة حرارية، مما يعني تغير حالة البخار إلى الحالة السائلة. وتعرف عملية تحول البخار إلى سائل **بالتكاثف**، وهي عكس عملية التبخر. هناك العديد من العوامل المساهمة في التكاثف، إلا أن عملية التكاثف تتضمن انتقال الطاقة الحرارية. فعلى سبيل المثال، عندما تلامس جسيمات بخار الماء سطحاً بارداً مثل سطح كأس ماء ثلج تنتقل الطاقة الحرارية من جسيمات بخار الماء إلى الكأس الباردة، فتتكاثف هذه الجسيمات على السطح الخارجي للكأس. وتحدث العملية نفسها في أثناء الليل عندما تتكاثف جسيمات بخار الماء الموجودة في الهواء مكونة قطرات الندى على زجاج السيارة وأوراق النباتات أو الأعشاب أو أي سطح بارد.

**الربط مع علم الأرض** تنتج السحب والضباب والأمطار جميعها عن التكاثف. وتتكون كل هذه الظواهر عندما يمر الهواء المشبع ببخار الماء فوق أرض باردة أو مسطح مائي. ويحتاج تكوينها إلى عامل آخر، هو جسيمات صلبة صغيرة جداً معلقة في الهواء تسمى نوى التكاثف. يمكن أن تكون هذه الجسيمات غباراً أو سناًجاً أو رذاذاً (aerosols)، ومن ذلك ثاني أكسيد الكبريت أو أكسيد النيتروجين الذي يتكاثف عليه بخار الماء. وقد يستقر الهواء الدافئ في بعض الحالات فوق الهواء البارد، وهو ما يعرف بالانقلاب الحراري. ويبين الشكل 1-28 ضباباً ناتجاً عن هذا الانقلاب.

**ماذا قرأت؟** صف تكاثف بخار الماء في الجو.



**الشكل 1-27** تحفظ قطع اللحم مبردة بوساطة الجليد الجاف.

**وضّح لماذا يفضل الجليد الجاف على الثلج العادي في تبريد اللحوم ومشتقاتها في أثناء الشحن؟**

**الشكل 1-28** عادة يصبح الهواء أكثر برودة مع الارتفاع. يحدث انقلاب درجة الحرارة عندما تنعكس الحالة ويصبح الهواء أكثر دفئاً عند المرتفعات وهذا الانقلاب قد يحصر الدخان فوق المدن والضباب في وديان الجبال.



**الترسب** عندما يلامس بخار الماء سطح نافذة باردة في الشتاء تتكون قطرات صلبة على النافذة تسمى الصقيع. **فالترسب** هو عملية تحول المادة من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة دون المرور بالحالة السائلة، وهي عكس التسامي، فتتكون رقائق الثلج عندما يتحول بخار الماء الموجود في طبقات الجو العليا إلى بلورات من الثلج الصلب، وتنبعث الطاقة خلال تكونها.

## مخطط الحالة الفيزيائية (الطور) Phase Diagram

يتحكم متغيران معاً في حالة المادة، هما: الضغط ودرجة الحرارة. ولهذين المتغيرين تأثيرات عكسية على المادة. حيث تعمل زيادة درجة الحرارة مثلاً على رفع معدل تبخر الماء، بينما تعمل زيادة الضغط على رفع معدل تكاثف البخار. **ومخطط الحالة الفيزيائية (الطور)** رسم بياني للضغط مقابل درجة الحرارة يوضح حالة المادة تحت ظروف مختلفة من درجة الحرارة والضغط. يظهر الشكل 1-29 مخطط الطور للماء، حيث يمكن استخدامه لتخمين حالة الماء عند أي درجة حرارة وضغط. لاحظ وجود ثلاث مناطق تمثل الحالة الفيزيائية: صلب وسائل وغاز، إضافة إلى وجود ثلاثة منحنيات تفصل هذه المناطق بعضها عن بعض. يوجد عند أي نقطة على امتداد خط المنحني حالتان فيزيائيتان معاً للماء. يوضح المنحني الأصفر القصير ظروف الضغط والحرارة التي يوجد عندها بخار وثلج معاً. أما المنحني الأزرق الطويل فيوضح ظروف الضغط ودرجة الحرارة التي يوجد عندها الماء في صورة سائل وبخار معاً، في حين يوضح المنحني الأحمر الضغط ودرجة الحرارة التي يوجد عندها الماء في صورة ثلج وسائل معاً.

تسمى النقطة (A) التي تتقاطع عندها المنحنيات الحمراء والزرقاء والصفراء النقطة الثلاثية للماء. **والنقطة الثلاثية** نقطة على الرسم البياني تمثل درجة الحرارة والضغط؛ حيث يوجد عندها الماء في حالاته الثلاث معاً.

ويمكن للتغيرات الستة كلها أن تحدث عند النقطة الثلاثية: التجمد والانصهار والتبخر والتكاثف والتسامي والترسب. وتعرف النقطة (B) **بالنقطة الحرجة**، وهي النقطة التي تمثل كلاً من الضغط ودرجة الحرارة التي لا يمكن للماء بعدها أن يكون في الحالة السائلة. وإذا وجد بخار الماء عند درجة الحرارة الحرجة فلا يمكن لزيادة الضغط أن تحول بخار الماء إلى سائل.

الشكل 1-29 يوضح هذا الرسم

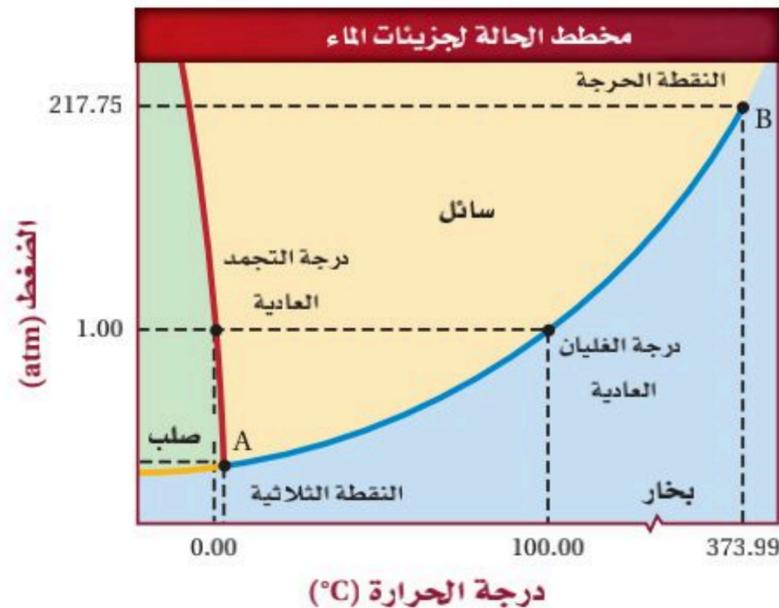
مخطط الطور للماء عند درجات حرارة وضغوط مختلفة.

اختبار الرسم البياني؟

حدد حالة الماء الفيزيائية

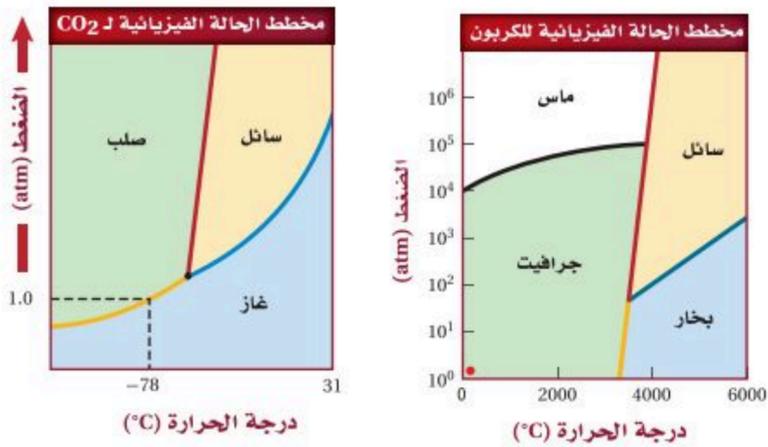
عند درجة حرارة  $100.00^{\circ}\text{C}$

وضغط  $(2.00\text{atm})$ .



## اختبار الرسم البياني؟ قارن بين ميل المنحني الأحر في

كلا الرسمين البيانيين لكل من الماء وثاني أكسيد الكربون. كيف يختلف تأثير كل من الماء وثاني أكسيد الكربون في التفاعلات بارتفاع الضغط عند المنحني صلب/ سائل؟



الشكل 1-30 يظهر مخطط الطور معلومات مفيدة، منها: لماذا يتسامى ثاني أكسيد الكربون في الظروف العادية؟ وسبب وجود نوعين من الكربون الصلب.

يختلف مخطط الطور للمواد؛ وذلك بسبب اختلاف درجات تجمدها وجليانها. ومع ذلك يعطي كل مخطط المعلومات نفسها عن الحالة الفيزيائية والنقطة الثلاثية. لذا فإنك ستغير اختيار مدى درجات الحرارة ليعكس الخصائص الفيزيائية للمادة.

يُظهر مخطط الطور معلومات مهمة عن المواد. فعلى سبيل المثال، يوضح مخطط الطور لثاني أكسيد الكربون في الشكل 1-30 سبب تسامي ثاني أكسيد الكربون تحت الظروف العادية. إذا بحثت عن 1.0 atm على منحني ثاني أكسيد الكربون، وتتبع الخط المنقط للمنحني الأصفر فستجد أن ثاني أكسيد الكربون يتغير من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية عند 1 atm فقط. وإذا مددت الخط المنقط إلى ما بعد المنحني الأصفر فسُيظهر الشكل أن ثاني أكسيد الكربون لا يتحول إلى سائل مع زيادة درجة الحرارة، بل يبقى في الحالة الغازية.

يظهر الشكل الأيمن مخطط الطور للكربون. لاحظ احتواء الرسم على متآصلين للكربون في منطقة الحالة الصلبة: الجرافيت وهو الحالة المستقرة للكربون عند درجة الحرارة والضغط العاديين والمحددة بالنقطة الحمراء. والألماس الأكثر استقراراً عند درجات الحرارة والضغط العالين. والألماس الموجود عند درجة حرارة الغرفة وضغطها يتكوّن في الأصل عند درجة حرارة وضغط عالين.

تجربة  
عملية

نوى التجمد

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة

عين الإثرائية



## التقويم 1-4

الخلاصة

27. الفكرة الرئيسية اشرح كيف يؤدي إضافة الطاقة أو انتزاعها إلى تغير الحالة الفيزيائية؟
28. فسر الاختلاف بين عمليتي الانصهار والتجمد.
29. قارن بين الترسيب والتسامي.
30. قارن بين التسامي والتبخر.
31. صف المعلومات التي يوضحها مخطط الطور.
32. فسر ماذا تمثل كل من النقطة الثلاثية والنقطة الحرجة الموجودة على مخطط الطور؟
33. حدد الحالة الفيزيائية للماء، بالاعتماد على الشكل 1-29، عند درجة حرارة 75.00°C وضغط (3.00 atm).

- تسمى حالات المادة بالأطوار عندما توجد معاً كأجزاء مستقلة لمخلوط.
- تحدث تغيرات الطاقة خلال تغيرات حالات المادة الفيزيائية.
- يوضح مخطط الطور تأثير اختلاف درجات الحرارة والضغط في حالة المادة.

# الكيمياء في واقع الحياة

## كيمياء الكاكاو



**الشكل 2** تتم معالجة الشوكولاتة ببطء، حتى يظهر التركيب البلوري فيها مما يعطي للشوكولاتة المظهر الخاص به.

تتطلب جسيمات الشوكولاتة الأصغر حجماً كمية أكبر من زبد الكاكاو لتغطية سطحها الصلب، ويسمح المزيد من زبد الكاكاو بين الجسيمات الصلبة بانسياب الشوكولاتة.

**الملمس السلس** إذا احتوت الشوكولاتة على كمية قليلة من زبد الكاكاو بين جسيماتها الصلبة فإنها تصبح لزجة جداً ما يمنع انسيابها في القالب. ولتحسين انسياب الشوكولاتة دون تكبير مساحة السطح يقوم المصنعون بإضافة المزيد من زبد الكاكاو، أو مستحلب الليستين إلى المزيج، وهو مادة دهنية تستخرج من حبوب الصويا، تساعد على إبقاء جسيمات الزبد معلقة بتجانس في الشوكولاتة.

**التبلور** والخطوة الأخرى المهمة في عملية تصنيع الشوكولاتة هي الرّج. ويتم التحكم خلال هذه العملية في درجة حرارة الشوكولاتة بحرص؛ للتأكد من تكون البلورات المطلوبة. وإذا لم يتم رج الشوكولاتة بصورة مناسبة تتكون بلورات تعطي نوعاً رديئاً من الشوكولاتة. ويؤدي تشكيل الشوكولاتة بصورة بلورات - كما هو ظاهر في الشكل (2) - إلى جعلها أكثر صلابة ولمعاناً، ويسهل قضمها، وتنصهر عند درجة حرارة الجسم.

### الكتابة في الكيمياء

ابحث عن معلومات أخرى عن الشوكولاتة، ثم اكتب تقريراً قصيراً.

الشوكولاتة مادة غذائية، موطنها الأصلي أمريكا الوسطى والمكسيك. وقد نقل هنري كورتز حبوب الكاكاو وطريقة صناعة مشروب الشوكولاتة إلى إسبانيا، بعدما قدم حاكم الأزتيك مونتيوزوما في عام 1519م المشروب المر لحبوب الكاكاو، حيث أصبح مشروب الشوكولاتة من المشروبات المشهورة والغالية. بقيت الشوكولاتة من المنتجات الغذائية الخاصة بالأغنياء حتى منتصف القرن التاسع عشر، عندما أصبح ثمنها في متناول عامة الناس، وقد تحسنت تقنيات معالجتها.

لا تشبه الشوكولاتة المقدمة الآن ما تم تقديمه في قصر مونتيوزوما؛ فقد أعطت تقنيات المعالجة، وكذلك المواد المضافة إلى الشوكولاتة، ما نستمتع به اليوم من سلاسة وحلاوة ولذة.

**تنصهر في فمك** تتكون الشوكولاتة من مزيج من الكاكاو، وزبد الكاكاو، ومكونات أخرى تشكل مزيجاً صلباً عند درجة حرارة الغرفة، ولكنه ينصهر في الفم. لماذا؟ يعود ذلك إلى أن أهم مكونات الشوكولاتة هو زبد الكاكاو، وهو دهن ينصهر عند درجة حرارة الجسم.

**حجم الجسيمات** تكون الشوكولاتة سائلة في أثناء عملية التحضير، ويغلف زبد الكاكاو المنصهر جسيمات الكاكاو الصلبة، إضافة إلى السكر والحليب. ويجب ألا تكون هذه الجسيمات الصلبة كبيرة وإلا أصبحت الشوكولاتة على هيئة حبيبات في الفم. ويجب أن يكون قطر الجسيمات بصورة عامة ما بين  $2.0 \times 10^{-5} \text{ m}$  و  $3.0 \times 10^{-5} \text{ m}$  تقريباً.

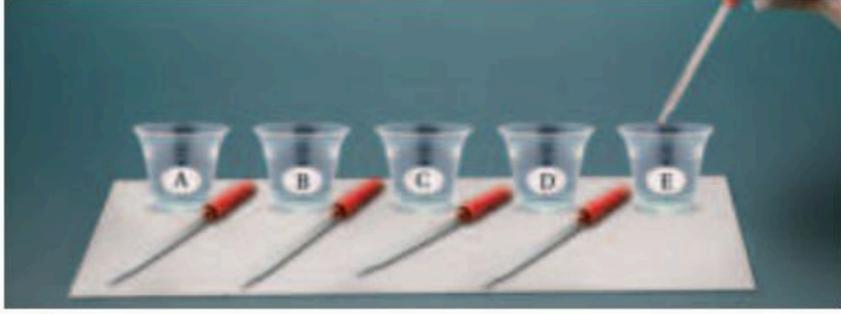
**السيطرة على التدفق** وكما تلاحظ من الشكل (1) للعدد الكبير من الجسيمات الصغيرة مساحة سطحية أكبر من قطعة واحدة لها الكتلة نفسها.



**الشكل 1** على الرغم من أن كتلة الجسيمات متساوية إلا أن زيادة مساحة سطح الجسيمات تسمح بزيادة كمية زبد الكاكاو الذي يغطي الجسيمات، مما يزيد من تدفق الشوكولاتة.

# مختبر الكيمياء

## مقارنة معدلات التبخر



8. استخدم الخطوات السابقة لتصميم تجربة لتلاحظ تأثير الحرارة في سرعة التبخر السطحي للإيثانول. سوف يزودك معلمك بعينة من الإيثانول الدافئ.
9. التنظيف والتخلص من النفايات نظف أدوات المختبر كما يرشدك معلمك.

### حلل واستنتج

1. صنف أي السوائل تتبخر بسرعة، وأيها ببطء؟
2. قوّم اعتمادًا على البيانات، أي السوائل كانت فيها قوى التجاذب بين الجزيئية قوى تشتت؟
3. فكر ما العلاقة بين التوتر السطحي وبين شكل نقطة السائل؟ ما قوى التجاذب التي تزيد من التوتر السطحي للسائل؟
4. قوّم كحول الأيزوبروبيل الذي استخدمته مزيج من كحول وماء. هل يتبخر الكحول النقي أسرع من خليط الكحول والماء، أم أبطأ منه؟ فسر إجابتك.
5. قوّم الأمونيا المنزلية مزيج من الأمونيا والماء. اعتمادًا على البيانات التي جمعتها، هل يوجد أمونيا أم ماء أكثر في المزيج؟ فسر إجابتك.
6. قوّم كيف يمكن مقارنة سرعة تبخر الإيثانول الساخن مع الإيثانول عند درجة حرارة الغرفة؟
7. شارك بياناتك مع زملائك في الصف.
8. تحليل الخطأ ما التغييرات التي يمكن إدخالها على الإجراءات السابقة لتجعل التجربة أكثر دقة؟

### استقصاء

تصميم تجربة كيف يؤثر اختلاف مساحة السطح في نتائج التجربة؟ صمّم تجربة للتحقق من فرضيتك.

**الخلفية النظرية:** تحدد عدة عوامل سرعة التبخر السطحي لعينة من السائل. ويعد حجم السائل العامل الرئيس؛ حيث تحتاج قطرة واحدة من الماء لكي تتبخر إلى زمن أقل من الزمن اللازم لتبخر لتر من الماء. أما كمية الطاقة المعطاة للعينة فهي عامل آخر.

**سؤال:** كيف تؤثر القوى بين الجزيئية في سرعة تبخر السوائل؟

### المواد والأدوات اللازمة

ماء مقطر	5 قطارات
إيثانول	5 أكواب بلاستيكية صغيرة
أيزوبروبيل الكحول	قلم تخطيط
أسيتون	ورقة شمعية
أمونيا (منزلية)	ساعة إيقاف

### احتياطات السلامة



### الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. صمم جدول بيانات لتسجيل البيانات.
3. عنون الأكواب بالرموز A، B، C، D، E؛ حيث A: ماء مقطر، B: إيثانول، C: أيزوبروبيل الكحول، D: أسيتون، E: أمونيا منزلية).
4. ضع 1 mL من الماء المقطر في الكوب (A) باستخدام قطارة، ثم ضع القطارة بجانب الكوب، وكرر العملية نفسها مع السوائل الأخرى.
5. ضع ورقة شمعية على الطاولة، وحدد عليها خمس نقاط لتضع عليها القطرات التي ستفحصها.
6. أعد ساعة إيقاف، وضع قطرة واحدة من الماء المقطر على المكان المحدد على الورقة الشمعية، ثم احسب الوقت اللازم لتبخر نقطة الماء. وإذا احتاجت النقطة إلى أكثر من 5 دقائق (300 s) فسجل ذلك في جدولك في صورة (< 300 ثانية).
7. كرر الخطوة 6 مع السوائل الأربعة الأخرى.

الفكرة العامة تفسر نظرية الحركة الجزيئية الخصائص المختلفة للمواد الصلبة والسائلة والغازية.

## 1-1 الغازات

### المفاهيم الرئيسية

- تفسر نظرية الحركة الجزيئية خصائص الغازات، اعتمادًا على حجم جسيماتها وحركتها وطاقاتها.
- يستخدم قانون دالتون للضغوط الجزيئية لتحديد ضغط كل غاز في خليط الغازات.
- يستخدم قانون جراهام للمقارنة بين معدل سرعة انتشار غازين.

$$\frac{\text{معدل انتشار A}}{\text{معدل انتشار B}} = \sqrt{\frac{\text{الكتلة المولية لـ B}}{\text{الكتلة المولية لـ A}}}$$

**الفكرة الرئيسية** تتمدد الغازات وتنتشر، كما أنها قابلة للانضغاط؛ لأنها ذات كثافة منخفضة، وتتكون من جسيمات صغيرة جدًا دائمة الحركة.

### المفردات

- نظرية الحركة الجزيئية
- التصادم المرن
- درجة الحرارة
- الانتشار
- قانون جراهام للتدفق
- الضغط
- الضغط الجوي
- البارومتر
- المانومتر
- باسكال
- قانون دالتون للضغوط الجزيئية

## 1-2 قوى التجاذب

### المفاهيم الرئيسية

- القوى الجزيئية أقوى من القوى بين الجزيئات.
- قوى التشتت قوى بين الجزيئات غير القطبية تحدث بين أقطاب مؤقتة.
- تحدث القوى الثنائية القطبية بين الجزيئات القطبية.

**الفكرة الرئيسية** تحدّد القوى بين الجزيئات - ومنها قوى التشتت، والقوى الثنائية القطبية، والروابط الهيدروجينية - حالة المادة عند درجة حرارة معينة.

### المفردات

- قوى التشتت
- القوى الثنائية القطبية
- الرابط الهيدروجينية

## 1-3 المواد السائلة والمواد الصلبة

### المفاهيم الرئيسية

- تفسر نظرية الحركة الجزيئية سلوك المواد السائلة والصلبة.
- تؤثر قوى التجاذب بين الجزيئات في المواد السائلة في اللزوجة والتوتر السطحي والتلاصق والتماسك.
- تصنف المواد الصلبة البلورية حسب الشكل والتركيب.

**الفكرة الرئيسية** لجسيمات المواد الصلبة والسائلة قدرة محدودة على الحركة، كما يصعب ضغطها بسهولة.

### المفردات

- اللزوجة
- التوتر السطحي
- عوامل خافضة للتوتر السطحي
- المادة الصلبة المتبلورة
- وحدة البناء
- التأصل
- المواد الصلبة غير المتبلورة

## 1-4 تغيرات الحالة الفيزيائية

**الفكرة الرئيسية** تتغير حالة المادة عند إضافة الطاقة إليها أو انتزاعها منها.

**المفردات**

- درجة الانصهار
- التبخر
- التبخر السطحي
- ضغط البخار
- درجة الغليان
- درجة التجمد
- التكاثر
- الترسيب
- مخطط الحالة الفيزيائية (الطور)
- النقطة الثلاثية
- النقطة الحرجة

**المفاهيم الرئيسية**

- تسمى حالات المادة بالأطوار عندما توجد معًا كأجزاء مستقلة لمخلوط.
- تحدث تغيرات الطاقة خلال تغيرات حالات المادة الفيزيائية.
- يوضح مخطط الطور تأثير اختلاف درجات الحرارة والضغط في حالة المادة الفيزيائية.



## 1-1

## إتقان المفاهيم

45. ما الضغط الجزئي لبخار الماء الموجود في عينة هواء، إذا كان الضغط الكلي لها 1.00 atm والضغط الجزئي للنيتروجين 0.799 atm وللأكسجين 0.20 atm وللغازات الأخرى المتبقية 0.0044 atm؟
46. ما ضغط الغاز الكلي في دورق مغلق يحتوي على أكسجين له ضغط جزئي يساوي 0.41 atm وبخار ماء له ضغط جزئي يساوي 0.58 atm؟
47. تبلغ قيمة الضغط عند قمة أعلى جبل في العالم، قمة إفرست، 33.6 kPa تقريباً، حول قيمة الضغط إلى وحدة ضغط جوي atm، ثم قارن بين هذا الضغط والضغط عند سطح البحر.
48. ارتفاعات عالية يساوي الضغط الجوي عند قمة أحد جبال المملكة 84.0 kPa تقريباً. ما قيمة الضغط بوحدتي atm و torr؟
49. يساوي الضغط على عمق 76.21 m في المحيط 8.4 atm تقريباً. ما قيمة الضغط بوحدتي kPa و mmHg؟
50. يمثل الشكل 1-32 تجربة؛ إذ يملأ الدورق الأيسر فيها بغاز الكلور، ويملاً الدورق الأيمن بغاز النيتروجين. صف ما يحدث عند فتح الصمام بينهما. افترض أن درجة حرارة النظام ثابتة خلال التجربة.



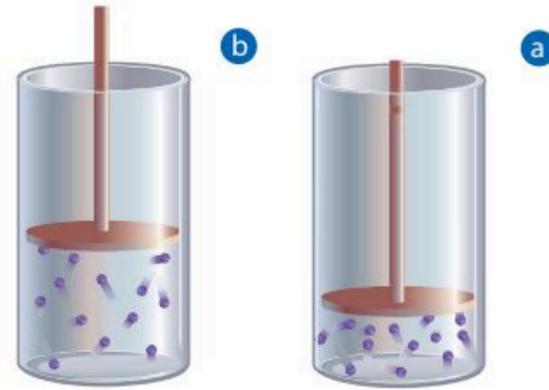
الشكل 1-32

## 1-2

## إتقان المفاهيم

51. وضح الفرق بين القطبية المؤقتة و القطبية الدائمة.
52. لماذا تعد قوى التشتت أضعف من القوى الشنائية القطبية؟

34. ما التصادم المرن؟
35. كيف تتغير الطاقة الحركية للجسيمات تبعاً لدرجات الحرارة؟
36. استخدم نظرية الحركة الجزيئية لتفسير قابلية الغازات للتمدد والانضغاط.
37. اذكر افتراضات نظرية الحركة الجزيئية.
38. صف الصفات العامة للغازات.
39. قارن بين الانتشار والتدفق، ثم فسّر العلاقة بين سرعة هذه العمليات والكتلة المولية للغاز.
40. في الشكل 1-31، ماذا يحدث لكثافة جسيمات الغاز في الأسطوانة عندما يتحرك المكبس من الموقع a إلى الموقع b؟



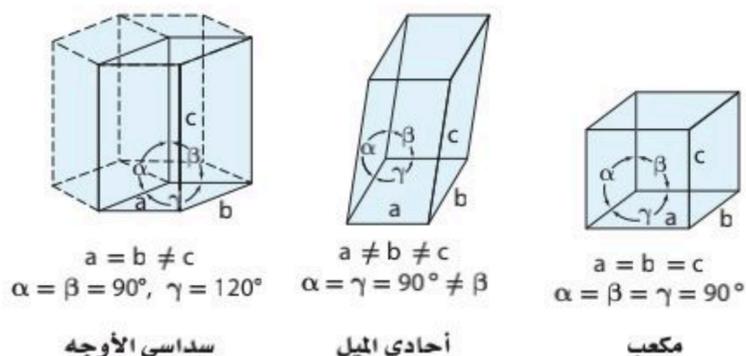
الشكل 1-31

41. صناعة الخبز فسّر لماذا تختلف تعليمات طريقة عمل الخبز الموجودة على علبة المكونات في المناطق المنخفضة والمرتفعة؟ وهل تتوقع أن يكون الزمن اللازم لعمل الخبز أطول أم أقصر عند الارتفاعات العالية؟

## إتقان المسائل

42. ما الكتلة المولية لغاز يتدفق 3 مرات أبطأ من الهيليوم؟
43. ما نسبة سرعة تدفق الكريبتون إلى النيون عند نفس درجة الحرارة والضغط؟
44. احسب الكتلة المولية لغاز سرعة تدفقه أسرع 3 مرات من الأكسجين تحت الظروف نفسها.

64. استعن بالشكل 1-33 للمقارنة بين البلورات المكعبة والأحادية الميل والسداسية الأوجه.



الشكل 1-33

65. ما الفرق بين المادة الصلبة الشبكية والمادة الصلبة الأيونية؟
66. فسّر لماذا يمكن ثني الفلزات عند ضربها، بينما تتكسر المواد الأيونية؟
67. عدّد أنواع المواد المتبلورة التي تعدّ موصلات جيدة للحرارة والكهرباء.
68. كيف تؤثر قوى التجاذب بين الجزيئات في لزوجة المادة؟
69. فسّر لماذا يكون التوتر السطحي للماء أكبر منه للجازولين ذي الجسيمات غير القطبية؟
70. قارن بين عدد الجسيمات لكل وحدة بناء لكل مما يأتي:
- a. المكعب البسيط  
b. المكعب المركزي الجسم.
71. توقع أي المواد الصلبة من المرجح أن تكون غير متبلورة: مادة تكونت من تبريد مصهورها عند درجة حرارة الغرفة خلال 4 ساعات، أم مادة تكونت من تبريد مصهورها بسرعة في حوض من الثلج؟
72. التوصيل الكهربائي أيّ المواد الصلبة الآتية يمكن أن توصل محاليلها التيار الكهربائي أفضل: السكر أم الملح؟
73. فسّر لماذا يطفو مكعب الثلج فوق الماء، بينما يغرق مكعب البنزين الصلب في البنزين السائل؟ أي السلوكين طبيعي أكثر؟

53. فسّر لماذا تكون الروابط الهيدروجينية أقوى من معظم القوى الثنائية القطبية؟

54. قارن بين قوى التجاذب بين الجزيئات وقوى التجاذب الجزيئية.

55. لماذا تتجاذب الجزيئات الطويلة غير القطبية بعضها مع بعض أقوى من تجاذب الجزيئات الكروية غير القطبية التي لها التركيب نفسه؟

### إتقان المسائل

56. الجزيئات القطبية استخدم الاختلاف في الكهروسالية لتحديد الأطراف الموجبة والسالبة للجزيئات القطبية الآتية:



57. ارسم تجاذبًا ثنائي القطبية بين جزيئين من CO.

58. أي المواد الآتية تكوّن روابط هيدروجينية؟



59. أي الجسيمات الآتية يكوّن روابط هيدروجينية؟ ارسم عدة جسيمات منها موضحةً ترابطها معًا بواسطة الروابط الهيدروجينية.



### 1-3

### إتقان المفاهيم

60. ما التوتر السطحي؟ وما الشروط الواجب توافرها لحدوثه؟

61. فسّر سبب انحناء سطح الماء في المخبر المدرج؟

62. أي السائلين أكثر لزوجة عند درجة حرارة الغرفة: الماء أم الدبس؟ فسّر إجابتك

63. فسّر كيف تؤدي قوتان مختلفتان دوريهما في الخاصية الشعرية؟



81. انسخ الشكل 1-34 ثم حدّد عليه منطقة الحالة الصلبة والسائلة والغازية، والنقطة الثلاثية والنقطة الحرجة.
82. لماذا تكون الطاقة التي نحتاج إليها لجلي 10 g من الماء السائل أكبر من الطاقة اللازمة لصهر الكتلة نفسها من الثلج؟

## مراجعة عامة

83. استخدم نظرية الحركة الجزيئية لتفسير تصنيف السوائل والغازات من الموائع؟
84. استخدم قوى التجاذب بين الجزيئية لتفسير سبب تواجد الأكسجين في الحالة الغازية عند درجة حرارة الغرفة، بينما يوجد الماء في الحالة السائلة.
85. استخدم نظرية الحركة الجزيئية لتفسير لماذا يمكن ضغط الغاز بينما لا يمكن ضغط السائل أو الصلب؟
86. تساوي كثافة الزئبق عند درجة حرارة 25°C وضغط 760 mmHg 13.5 g/mL بينما تساوي كثافة الماء عند نفس درجة الحرارة والضغط (1.00 g/mL). فسر هذا الاختلاف، اعتماداً على قوى التجاذب بين الجزيئات ونظرية الحركة الجزيئية.
87. إذا كان هناك وعاءان متماثلان يحويان الغاز نفسه عند درجة الحرارة نفسها ولكن الضغط في أحدهما ضعف الضغط في الآخر فما كمية الغاز الموجودة في كل وعاء؟
88. عدّد ثلاثة أنواع من قوى التجاذب بين الجزيئات.
89. عندما تذوب بلورات صلبة من السكر في كوب من الماء يتكون محلول متجانس، بحيث لا يمكن رؤية البلورات. وإذا ترك هذا المحلول عند درجة حرارة الغرفة لعدة أيام فسنبلاحظ تكون البلورات في القاع، وعلى جوانب الكوب مرة أخرى. فهل هذا مثال على التجمد؟

## إتقان المسائل

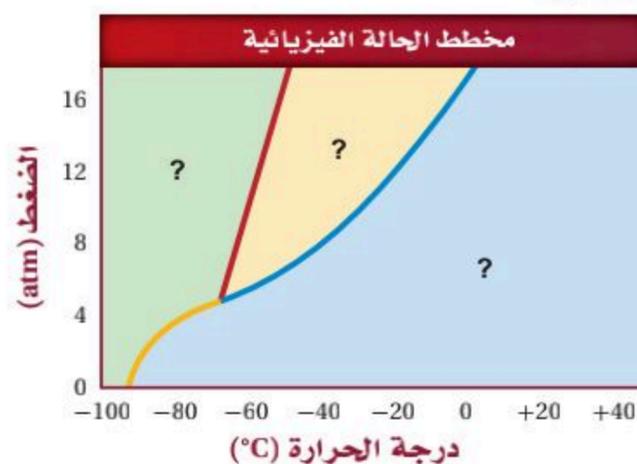
74. إذا أعطيت أطوال الأضلاع وقيم زوايا الوجه، فتوقع شكل كل بلورة مما يأتي:
- a.  $a = 3 \text{ nm}, b = 3 \text{ nm}, c = 3 \text{ nm}; \alpha = 90^\circ, \beta = 90^\circ, \gamma = 90^\circ$
- b.  $a = 4 \text{ nm}, b = 3 \text{ nm}, c = 5 \text{ nm}; \alpha = 90^\circ, \beta = 100^\circ, \gamma = 90^\circ$
- c.  $a = 3 \text{ nm}, b = 3 \text{ nm}, c = 5 \text{ nm}; \alpha = 90^\circ, \beta = 90^\circ, \gamma = 90^\circ$
- d.  $a = 3 \text{ nm}, b = 3 \text{ nm}, c = 5 \text{ nm}; \alpha = 90^\circ, \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$

## 1-4

## إتقان المفاهيم

75. كيف يختلف التسامي عن الترسيب؟
76. قارن بين التبخر والغليان.
77. ما المقصود بدرجة الانصهار؟
78. فسّر العلاقة بين كل من الضغط الجوي وضغط البخار للسائل ودرجة الغليان.
79. فسّر تكوّن الندى في الصباح البارد.
80. ثلج فسّر سبب تقلص كومة ثلج ببطء، حتى في الأيام التي لا تزيد درجة الحرارة فيها على درجة تجمد الماء.

## إتقان المسائل



الشكل 1-34

### الجدول 1-6 مخطط الحالة الفيزيائية للأمونيا

نقاط مختارة	ضغط (atm)	درجة حرارة (°C)
النقطة الثلاثية	0.060	-77.7
النقطة الحرجة	112	132.2
درجة الغليان الطبيعية	1.0	-33.5
درجة التجمد الطبيعية	1.0	-77.7

94. طبق في أثناء تسخين مادة صلبة تبقى درجة حرارتها ثابتة حتى تنصهر كلياً. ماذا يحدث للطاقة الحرارية للنظام خلال الانصهار؟

95. تواصل أي العمليتين تجعلك قادرًا على شم العطور من زجاجة مفتوحة وبعيدة عنك: الانتشار أم التدفق؟ فسر إجابتك.

96. استنتج يتضمن عرض مختبري صبَّ بخار البروم ذي اللون الأحمر الغامق في دورق يحتوي على الهواء، ثم يغلق الدورق بإحكام. يتحرك البروم في البداية نحو القاع، وبعد عدة ساعات يتوزع اللون الأحمر بالتساوي في جميع أجزاء الدورق.

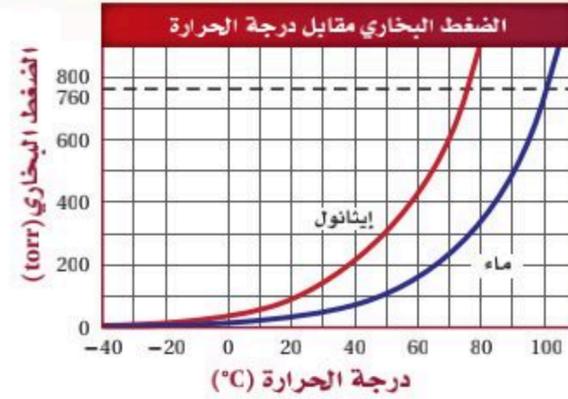
a. هل كثافة غاز البروم أكثر أم أقل من الهواء؟  
b. هل ينتشر البروم السائل أسرع أم أبطأ من البروم الغاز بعد صبه فوق سائل آخر؟

97. حلل استخدم ما تعرفه عن قوى التجاذب بين الجزيئية لتحديد ما إذا كانت الأمونيا  $NH_3$  أم الميثان  $CH_4$  أكثر ذائبية في الماء.

98. قوم عدد ثلاث تغيرات تنتج طاقة، وثلاثة أخرى تستهلكها.

99. قوم سائل ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج يستخدم في الصناعات الغذائية لانتزاع الكافيين من الشاي والقهوة والمشروبات الغازية، وكذلك في الصناعات الدوائية لتكوين جسيمات دقيقة تستخدم في أنظمة توزيع الدواء. استعن بالشكل 1-36 لتحديد الظروف التي يجب توافرها لتكوين ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج.

### التفكير الناقد



الشكل 1-35

90. تفسير الرسوم البيانية ارجع إلى الشكل 1-35 الذي يوضح ضغط بخار كل من الماء والإيثانول مقابل درجة الحرارة للإجابة عما يأتي:

a. ما درجة غليان الماء عند 1 atm؟  
b. ما درجة غليان الإيثانول عند درجة حرارة 1 atm؟  
c. إذا كان الضغط الجوي 0.80 atm، فما درجة الحرارة التي يغلي عندها الماء؟

91. فرضية أي نوع من المواد الصلبة المتبلورة تتوقع أن تتناسب مع الشروط الآتية بأفضل صورة؟

a. مادة تنصهر ويعاد تشكيلها عند درجات حرارة منخفضة.  
b. مادة يمكن سحبها إلى أسلاك طويلة ورفيعة.  
c. مادة توصل الكهرباء في الحالة السائلة.  
d. مادة صلبة جدًا وغير موصلة للكهرباء.

92. قارن استخدم ضاغط الهواء الطاقة لضغط جسيمات الهواء معًا، وعندما يترك الهواء ليتمدد تستخدم الطاقة الناتجة في تنظيف السطوح بلطف دون استخدام مواد كاشطة سائلة أو صلبة إضافية. تعمل الأنظمة الهيدروليكية بالصورة نفسها، ولكنها تضغط الموائع لنقل القوة. ما فوائد وعيوب استخدام هذين النوعين من التقنية في رأيك؟

93. رسم بياني استخدم الجدول 1-6 لرسم مخطط الطور للأمونيا.

## تقويم إضافي

## الكتابة في الكيمياء

106. المسك من المكونات الأساسية في الكثير من العطور والصابون والشامبو، وحتى في الأطعمة، ومنها الشوكولاتة وعرق السوس والحلوى الصلبة. تتكون مركبات المسك المحضرة صناعياً والطبيعية من جسيمات ذات كتلة كبيرة بالمقارنة بجسيمات المركبات الأخرى المكونة للعطور. ونتيجة لذلك تكون أبطأ في سرعة انتشارها للتأكد على إطلاق العطر بصورة بطيئة ومستمرة. اكتب تقريراً عن كيمياء مكونات العطور، مؤكداً على أهمية سرعة الانتشار، بوصفها إحدى صفات العطر.

107. غاز البروبان وقود شائع الاستخدام في مواقد الغاز وتدفئة البيوت، إلا أنه لا يعبأ في حالته الغازية، بل يُسَّيَل ويطلق عليه اسم البروبان السائل. اعمل ملصق حائط لتوضيح فوائد ومساوي تخزين ونقل البروبان سائلاً لا غازاً.

108. حالات المادة الأخرى ابحث في إحدى الموضوعات الآتية: البلازما أو الميوعة الفائقة (Superfluids). واكتب تقريراً عنها لتعرضه على بقية طلاب الصف.

## أسئلة المستندات

اليود يتسامى اليود إذا ترك عند درجة حرارة الغرفة من الصلب إلى الغاز، ولكن إذا سخن بسرعة فإن ما يحدث له يختلف تماماً، ويمكن وصفه كما يأتي:

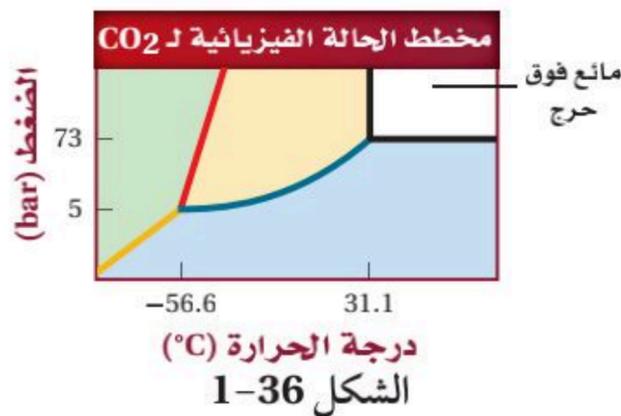
وُضع 1.0 g من اليود في أنبوب محكم الإغلاق، وسُخن على سخان كهربائي، فتكونت طبقة من الغاز الأرجواني في الأسفل، وأصبح اليود سائلاً. وعند إمالة الأنبوب تحرك السائل على طول جانب الأنبوب في مجرى ضيق، وتصلب بسرعة.

109. لماذا يتسامى اليود بسهولة؟ فسر إجابتك باستخدام ما تعرفه عن قوى التجاذب بين الجزيئات.

110. لماذا لا يمكن ملاحظة اليود السائل عند تسخينه في الهواء؟

111. لماذا يجب استخدام أنبوب محكم الإغلاق في هذا الاستقصاء؟

112. استنتج لماذا يتصلب اليود عند إمالة الأنبوب؟



الشكل 1-36

## مسألة تحفيز

100. إذا كان لديك محلول يحتوي على 135.2 g KBr ذائبة في 2.3 L ماء، فما حجم المحلول الذي تستخدمه لتحضير محلول حجمه 1.5L وتركيزه 0.1 mol /L من محلول KBr السابق؟ وما درجة غليان المحلول الناتج؟

## مراجعة تراكمية

101. صنف المواد الآتية إلى عنصر أو مركب أو مخلوط متجانس أو مخلوط غير متجانس:

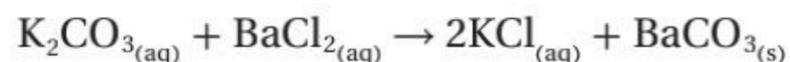
- a. الهواء  
b. الدم  
c. أمونيا  
d. الخردل  
e. الماء المقطر

102. أعطيت محلولين مائيين شفافين صافيين، وقد قيل لك إن أحد المحلولين يحتوي مركباً أيونياً، ويحتوي الثاني على مركب تساهمي. كيف تحدد أيهما أيوني؟ وأيها تساهمي؟

103. أي فروع الكيمياء يدرس المادة وحالاتها؟

- a. الكيمياء الحيوية  
b. الكيمياء الفيزيائية  
c. الكيمياء العضوية  
d. كيمياء البوليمرات

104. ما نوع التفاعل الآتي؟



- a. احتراق  
b. إذلال مزدوج  
c. إذلال بسيط  
d. تحضير

105. من أول كيميائي وضع أول جدول دوري، وكان أوسع استخداماً وأكثر قبولاً؟

- a. ديمتري مندليف  
b. هنري موزلي  
c. جون نيولاندر  
d. لوثر ماير

## أسئلة الاختيار من متعدد

1. ما نسبة سرعة انتشار أكسيد النيتروجين NO ورابع أكسيد النيتروجين  $N_2O_4$ ؟
- a. 0.326  
b. 0.571  
c. 1.751  
d. 3.066

2. أي الجمل الآتية لا تتفق مع فرضيات نظرية الحركة الجزيئية؟
- a. التصادمات بين جسيمات الغاز مرنة.  
b. جسيمات العينة جميعها لها السرعة نفسها.  
c. لا تتجاذب جسيمات الغاز أو يتنافر بعضها مع بعض بصورة ملحوظة.  
d. للغازات جميعها عند درجة حرارة معينة متوسط الطاقة الحركية نفسها.

3. يحتوي دورق مغلق بإحكام على غازات النيون والكريبتون والأرجون، فإذا كان الضغط الكلي داخل الدورق  $3.782 \text{ atm}$  وكان الضغط الجزئي لكل من Ne و Kr هو  $0.435 \text{ atm}$  و  $1.613 \text{ atm}$  على التوالي، فما الضغط الجزئي لغاز Ar؟
- a.  $2.048 \text{ atm}$   
b.  $1.734 \text{ atm}$   
c.  $1556 \text{ atm}$   
d.  $1318 \text{ atm}$

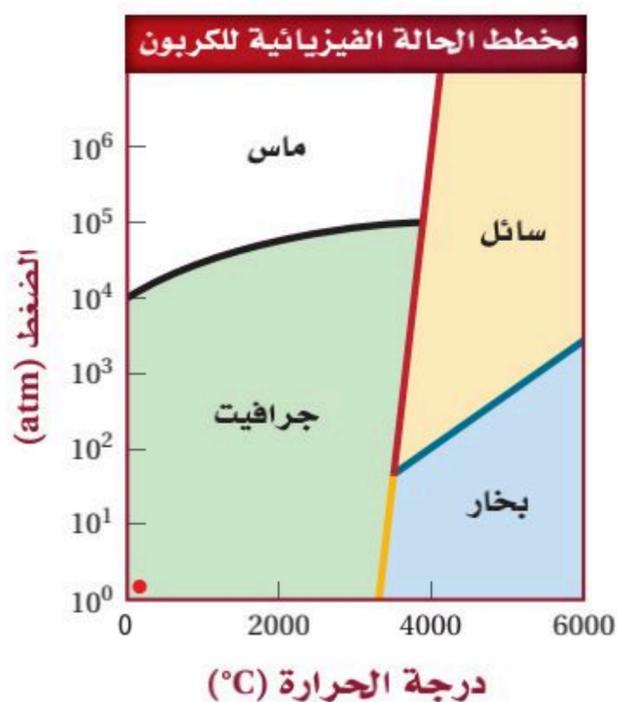
4. أي مما يأتي لا يؤثر في لزوجة السائل؟
- a. قوى التجاذب بين الجزيئات.  
b. حجم وشكل الجزيء.  
c. درجة حرارة السائل.  
d. الخاصية الشعرية.

استخدم الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 5.



5. يتفاعل الهيدروجين مع النيتروجين كما هو موضح لتكوين الأمونيا. أي العبارات الآتية صحيحة في هذا التفاعل؟
- a. يتكوّن 3 جزيئات أمونيا ولا يتبقى أي من جزيء.  
b. يتكوّن جزيئي أمونيا ويتبقى جزيئاً هيدروجين.  
c. يتكوّن 6 جزيئات أمونيا ولا يتبقى أي جزيء.  
d. يتكوّن جزيئاً أمونيا ويتبقى جزيئاً نيتروجين.

استخدم الرسم البياني الآتي للإجابة عن الأسئلة من 6 إلى 8



6. ما الظروف التي يتكون فيها الألماس؟

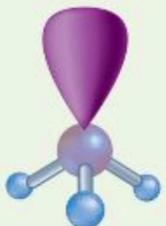
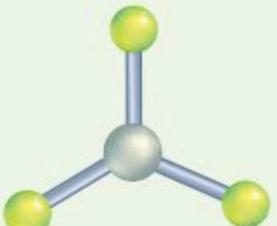
- a. درجة الحرارة  $< 5000\text{K}$  والضغط  $> 100\text{atm}$   
b. درجة الحرارة  $< 6000\text{K}$  والضغط  $> 25\text{atm}$   
c. درجة الحرارة  $> 3500\text{K}$  والضغط  $< 10^5\text{atm}$   
d. درجة الحرارة  $> 4500\text{K}$  والضغط  $> 10\text{atm}$



# اختبار مقنن

## أسئلة الإجابات المفتوحة

استخدم الجدول الآتي للإجابة عن السؤال 11.

الجدول 1-8 الشكل الهندسي لـ $PCl_3$ و $AlCl_3$		
$PCl_3$	$AlCl_3$	المركب
		شكل الجزيء

11. ما أسماء أشكال الجسيمات لكلا المركبين؟ فسر كيف يؤدي ترتيب الذرات في كل مركب إلى اختلاف أشكالها على الرغم من أن لهما الصيغة الكيميائية نفسها؟

7. ما النقطة التي يوجد عندها الكربون بثلاث حالات جرافيت صلب وألماس وكربون سائل؟ موضحًا درجة الحرارة والضغط عندها؟

a.  $4700\text{ K}$  و  $10^6\text{ atm}$   
 b.  $3000\text{ K}$  و  $10^3\text{ atm}$   
 c.  $5100\text{ K}$  و  $10^5\text{ atm}$   
 d.  $3500\text{ K}$  و  $80\text{ atm}$

8. ما الأشكال التي يوجد عليها الكربون عند  $6000\text{ K}$  و  $10^5\text{ atm}$  فقط.  
 a. ألماس فقط.  
 b. كربون سائل فقط.  
 c. ألماس وكربون سائل.  
 d. جرافيت وكربون سائل.

## أسئلة الإجابات القصيرة

استخدم الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 9 و 10

الجدول 1-7 خصائص الرابطة الأحادية		
الرابطة	طاقة الرابطة $\text{kJ/mol}$	طول الرابطة (pm)
H-H	435	74
Br-Br	192	228
C-C	347	154
C-H	393	104
C-N	305	147
C-O	356	143
Cl-Cl	243	199
I-I	151	267
S-S	259	208

9. ارسم العلاقة بين طول الرابطة وطاقة الربط بيانيًا، واضعًا طاقة الربط على المحور السيني.

10. لخص العلاقة بين طاقة الرابطة وطول الرابطة.

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

#### 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 للمتفاعلات.

#### 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 الأوكسجين 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.

## نشاطات تمهيدية

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

### المطويات

منظمات الأفكار

#### الخطوة 1 اطو

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



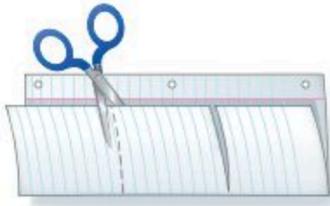
#### الخطوة 2 اطو

الورقة مرة أخرى  
مكوّناً ثلاثة أجزاء.



#### الخطوة 3 افتح

المطوية واقطع على  
خطي الطي للجزء  
الأمامي مشكلاً ثلاثة  
أشرطة.



#### الخطوة 4 عنون الأشرطة كما يأتي:

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

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

## تجربة استهلاكية

### كيف تعمل كمادة باردة؟



تستعمل الكمادات الباردة  
الكيميائية لتخفيف الألم  
الناتج عن الإصابة؛ إذ  
تحتوي المادة على مركبين  
منفصلين؛ عند اتحادهما معاً

يحدث امتصاص للحرارة. ما المركب الذي يكون أفضل كمادة  
باردة كيميائية؟

### خطوات العمل

1. املاً بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. أحضر ثلاثة أنابيب اختبار.
3. استعمل مخبراً 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  
 $\text{KNO}_3$  وضعها في أنبوب الاختبار رقم 1. تحذير: أبعده 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  
 $\text{CaCl}_2$ ، ونترات الأمونيوم  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  بدلاً من نترات  
البوتاسيوم  $\text{KNO}_3$ .

### التحليل

1. **حلل واستنتج** أي المواد الكيميائية الثلاث المستعملة في  
التجربة تعد الأفضل لعمل كمادة كيميائية باردة؟
2. **صف** استعمالاً أفضل لإحدى المادتين الأخريين المستعملتين  
في التجربة.

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



## 2-1

### الطاقة Energy

#### الأهداف

تعرف الطاقة.

تميز 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 لمتوسط الطاقة الحركية للجسيمات الموجودة في عينة من المادة.

#### المفردات الجديدة

الطاقة

قانون حفظ الطاقة

طاقة الوضع الكيميائية

الحرارة

الشعر

الجول

الحرارة النوعية

**الفكرة الرئيسية** قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائماً. **الربط مع الحياة** هل راقبت يوماً العربة الأفعوانية وهي تنتقل صعوداً ونزولاً على سكتها؟ 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 2-1a يكون للمتزلج 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 2-1b. تنجم الطاقة الحركية عن حركة الأجسام، ويمكنك ملاحظتها في حركة الأجسام والناس من حولك. وتحتوي الأنظمة الكيميائية على طاقة حركية وطاقة وضع.



#### الشكل 2-1

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

b. تتحول طاقة الوضع للمتزلج إلى طاقة حركية.

**قارن** فيم تختلف طاقة الوضع للمتزلج عند بوابة البدء عنها عند خط النهاية؟



**الشكل 2-2** يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، ولكنها محفوظة دائماً. **a.** تتحول طاقة الوضع للماء إلى طاقة حركية عندما يتدفق من فتحة الخزان؛ إذ تدير المياه المندفعة التوربين لتوليد الطاقة الكهربائية. **b.** تتحول طاقة الوضع المخزونة في روابط جزيئات البروبان إلى حرارة.

وقد عرفت من قبل أن الطاقة 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 الكيميائي، 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 **2-2a** يتحول جزء من طاقته الحركية إلى طاقة كهربائية. وعلى سبيل المثال أيضاً، يعد غاز البروبان  $C_3H_8$  وقوداً مهماً للطهو والتسخين. انظر الشكل **2-2b**؛ حيث يتحد غاز البروبان مع الأكسجين مكوناً ثاني أكسيد الكربون والماء، وتتحول طاقة الوضع المخزنة في روابط البروبان في صورة حرارة. في كلا المثالين تحولت الطاقة من شكل إلى آخر، ولكنها بقيت محفوظة، أي أن مجموع كمية الطاقة يبقى 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 تفتنى. ويعرف هذا أيضاً بالقانون الأول في الديناميكا الحرارية.

**طاقة الوضع الكيميائية** تسمى الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية للمادة **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 بينها.

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

**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 المخزنة 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  $1\text{ g}$  من الماء النقي  $1^\circ\text{C}$  **السُّعر**  $(\text{cal})$ . فعندما يحطم جسمك جزيئات السكر والدهون مكوناً ثاني أكسيد الكربون والماء ينتج عن هذا التفاعل الطارد للطاقة حرارة يمكن قياسها بالسُّعرات الغذائية  $(\text{Cal})$ .

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

تقاس الطاقة الحرارية وفق النظام الدولي للوحدات **بالجول**  $(\text{J})$ . ويعادل الجول الواحد  $0.2390\text{ cal}$ ، والسُّعر الواحد يعادل  $4.184\text{ J}$ . ويلخص الجدول 2-1 العلاقات بين السُّعر  $\text{cal}$  والسُّعر الغذائي  $\text{Cal}$  والجول  $\text{J}$  والكيلوجول  $\text{kJ}$  وعوامل التحويل التي يمكنك استعمالها للتحويل من وحدة إلى أخرى.

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

### مثال 2-1

**تحويل وحدات الطاقة** إذا كانت وجبة إفطار مكونة من الحبوب وعصير البرتقال والحليب، تحتوي على  $230\text{ Cal}$  من الطاقة، فعبّر عن هذه الطاقة بوحدة الجول  $\text{J}$ .

#### 1 تحليل المسألة

أعطيت كمية من الطاقة بوحدة السُّعر الغذائي  $\text{Cal}$ . عليك تحويل ذلك إلى سعرات  $\text{cal}$ ، ثم إلى الجول  $\text{J}$ .

#### المطلوب

الطاقة =  $\text{J}$ ؛

#### المعطيات

الطاقة =  $230\text{ Cal}$

## 2 حساب المطلوب

حوّل Cal إلى cal.

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

حوّل cal إلى J

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

## 3 تقويم الإجابة

القيمة  $10^5$  إلى  $10^6$  متوقعة؛ لأن القيمة  $10^2 \text{ Cal}$  يجب ضربها في  $10^3$  لتحويلها إلى cal. ثم تضرب في عامل تحويل J الذي يساوي 4 تقريبًا. 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 Cal؟
3. تحفيز عرّف وحدة طاقة جديدة، وسمّها باسمك، واجعل قيمتها عُشر سُعر. ما عوامل التحويل التي تربط هذه الوحدة الجديدة مع الجول J، ومع السُّعر الغذائي Kcal؟

## الحرارة النوعية Specific Heat

لقد قرأت أنه يلزم 1cal، أو 4.184 J، لرفع درجة حرارة 1g من الماء النقي  $1^\circ\text{C}$ . تعرف هذه الكمية  $4.184 \text{ J/g}^\circ\text{C}$  بأنها الحرارة النوعية c للماء. 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 تركيبًا مختلفًا عن المواد الأخرى لذا فإن لكل مادة حرارة نوعية مميزة لها.

لرفع درجة حرارة كمية من الماء  $1^\circ\text{C}$  يجب أن يمتص كل جرام واحد 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 الأرصفة الأسمنتية تسخن في أيام الصيف. وتعتمد مدى سخونة هذه الأرصفة على الحرارة النوعية للأسمنت وعوامل أخرى. إن الحرارة النوعية للأسمنت هي  $0.84 \text{ J/g}^\circ\text{C}$  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  $1 \text{ g}$  من المادة لترفع درجة حرارته  $1^\circ\text{C}$ .

يبين الجدول 2-2 الحرارة النوعية لبعض المواد. الحرارة النوعية للأسمنت مثلاً، هي  $0.84 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ ؛ إذن يمتص  $1 \text{ g}$  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  $5.00 \times 10^3 \text{ g}$ ، 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.

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

$$q_{\text{concrete}} = \frac{0.84 \text{ J}}{\text{g}^\circ\text{C}} \times (5.00 \times 10^3 \text{ g}) \times 6.0^\circ\text{C} = 25,200 \text{ J} = 25.2 \text{ kJ}$$

مجموع كمية الحرارة التي امتصتها قطعة الأسمنت هو  $25,200 \text{ J}$  أو  $25.2 \text{ kJ}$ . 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،  $4.184 \text{ J/g}^\circ\text{C}$ .

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

إذا قسمت الحرارة التي امتصها الماء  $130 \text{ kJ}$  على الحرارة التي امتصها الأسمنت يكون الناتج  $5.2$ ؛ 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:

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

$$q_{\text{concrete}} = \frac{0.84 \text{ J}}{\text{g}^\circ\text{C}} \times 5.00 \times 10^3 \text{ g} \times 34.0^\circ\text{C} = 142,800 \text{ J} = 142.8 \text{ kJ}$$

الجدول 2-2	
الحرارة النوعية لبعض المواد عند $298 \text{ k}$ ( $25^\circ\text{C}$ )	
المادة	الحرارة النوعية $\text{J/g}^\circ\text{C}$
الماء (l)	4.184
الإيثانول (l)	2.44
الماء (s)	2.03
الماء (g)	2.01
البريليوم (s)	1.825
الماغنسيوم (s)	1.023
الألومنيوم (s)	0.897
الأسمنت (s)	0.84
الجرانيت (s)	0.803
الكالسيوم (s)	0.647
الحديد (s)	0.449
الإسترانشيوم (s)	0.301
الفضة (s)	0.235
الباريوم (s)	0.204
الرصاص (s)	0.128
الذهب (s)	0.129

تجربة عملية

حرارة التفاعل وحرارة المحلول

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة

عين الإثرائية



**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 25 °C إلى 50.4 °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

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

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

## المطلوب

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

## 2 حساب المطلوب

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

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

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

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

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

احسب  $\Delta T$ .

اكتب معادلة لحساب كمية الحرارة

أوجد قيمة 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 النتيجة النهائية تقارب 0.5، وهي معقولة. كما أن القيمة المحسوبة تساوي القيمة المسجلة للحديد في الجدول 2-2.

## مسائل تدريبية

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 فارتفعت درجة حرارتها من 25 °C إلى 40.0 °C فامتصت 5696 J من الطاقة. ما الحرارة النوعية للمادة؟ عين المادة بالرجوع إلى الجدول 2-2.
6. تحفيز 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** مدرستان بالرياض (جبرين عتيق، والأمير عبد المجيد بن عبدالعزيز) تعملان بالطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة الكهربائية؛ تمهيداً لإطلاق خطة الطاقة الشمسية (2030) الأكبر في العالم بهذا المجال.

**الطاقة الشمسية** يستغل الماء أحياناً لأخذ الطاقة من الشمس؛ وذلك بسبب حرارته النوعية العالية. فبعد أن تسخن أشعة الشمس الماء 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 فترة محددة كل يوم، كما أن 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 الكهروضوئية تزود رواد الفضاء بالطاقة؛ ولكنها لا تستعمل لتوفير الطاقة اللازمة للاحتياجات العادية؛ وذلك لأن تكلفة إنتاج الكهرباء بالخلايا الكهروضوئية مرتفعة مقارنة بتكلفة حرق الفحم أو البترول.

ولذلك تُعدّ البحوث التطبيقية وسيلة فعالة لتلبية حاجة المملكة لتطوير نشاط بحثي قوي يُركّز على تحقيق أهداف حيوية محددة ذات أهمية اجتماعية واقتصادية وطنية تؤدي إلى خلق صناعات وخدمات وطنية رائدة في العالم، وتعتبر مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية (kacst) الجهة الوطنية الرائدة في مجالات البحوث التطبيقية وإحدى المجالات التي برزت فيها جهود المدينة هو مجال الطاقة كما يظهر في الشكل 2-3.



مُنح البروفيسور مايكل غراتزل جائزة الملك فيصل فرع العلوم عام 1436 هـ في مجال الكيمياء، حيث عرف باكتشافاته في العلوم الأساسية والعملية في مجال تطوير أنظمة ضوئية وكهروكيميائية لاستخدامها في تحويل الطاقة الشمسية. إن الخلايا المعروفة عالمياً بخلايا غراتزل هي أجهزة تم تطويرها من أفلام ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية مغطاة بأصباغ جزيئية.



المصدر: موقع جائزة الملك فيصل للعلوم  
<http://kingfaisalprize.org/ar/science/>

الربط مع رؤية 2030



## التقويم 2-1

### الخلاصة

7. الفكرة الرئيسية وضع كيف تتغير الطاقة من شكل إلى آخر في التفاعل الطارد للطاقة والتفاعل الماص لها.
  8. ميز بين الطاقة الحركية وطاقة الوضع في الأمثلة الآتية: مغناطيسين منفصلين؛ انهيار ثلجي، كتب موضوعة على رفوف، نهر، سباق سيارات، فصل الشحنات في بطارية.
  9. وضع علاقة الضوء والحرارة في شمعة محترقة بطاقة الوضع الكيميائية.
  10. احسب كمية الحرارة الممتصة عند تسخين 50.0 g ألو منيوم من درجة حرارة 25°C إلى درجة حرارة 95.0°C، علماً أن الحرارة النوعية للألو منيوم 0.897 J/g°C.
  11. تفسير البيانات وضعت كتل متساوية من الألو منيوم 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.
- الطاقة هي القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.
  - طاقة الوضع الكيميائية هي الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية للمادة تعتمد على عدد ونوع وترتيب الذرات والجزيئات.
  - طاقة الوضع الكيميائية تطلق أو تمتص على عدة أشكال مثل: الحرارة أو الضوء أو الكهرباء في خلال العمليات أو التفاعلات الكيميائية.



## 2-2

### الحرارة Heat

#### الأهداف

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

**الربط مع الحياة** لعلك 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.

#### المسعر 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 مسعر. 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. ويبين الشكل 2-4 نوعاً من المساعري يسمى 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 المساعري مفتوحة على الجو، ولذلك فالتفاعلات التي تحدث فيها تكون تحت ضغط ثابت. ويمكنك استخدامها لتحديد الحرارة النوعية لفلز ما.

افتراض 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 إلى 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 فقط عندما تتساوى درجة حرارة الماء مع درجة حرارة الفلز.

- تصف كيف يستخدم المسعر لقياس الطاقة الممتصة أو المنطلقة.
- توضح المقصود بالمحتوى الحراري وتغير المحتوى الحراري في التفاعلات الكيميائية والعمليات الكيميائية.

#### مراجعة المفردات

**الضغط:** القوة الواقعة على وحدة المساحة.

#### مفردات جديدة

المسعر

الكيمياء الحرارية

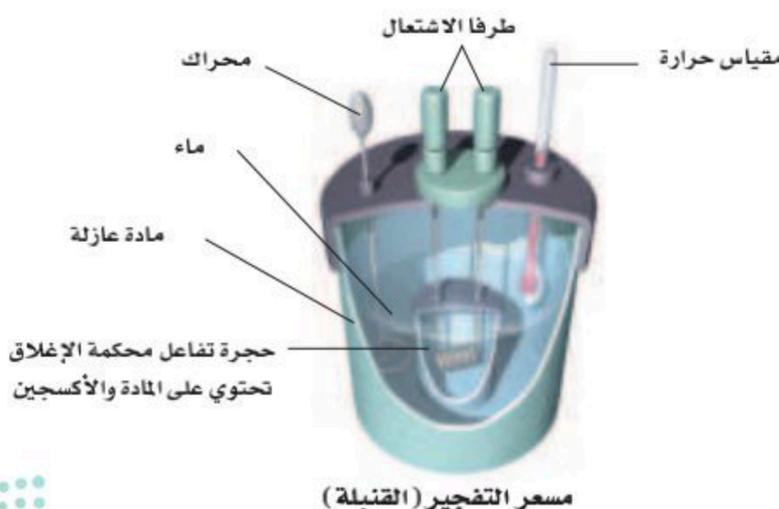
النظام

المحيط

الكون

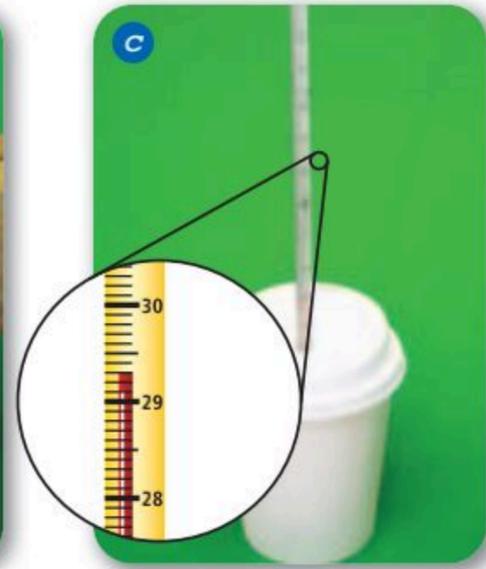
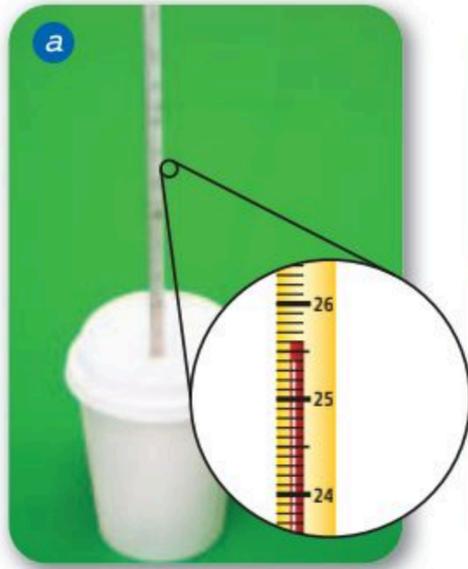
المحتوى الحراري

المحتوى الحراري للتفاعل (حرارة التفاعل)



**الشكل 2-4** وضعت عينة في حجرة فولاذية داخلية تسمى 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.

**استنتج** لماذا يعد من المهم ألا ينتج المحرك احتكاكاً؟



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  $4.184 \text{ J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

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

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

$$q_{\text{water}} = 1935.1 \text{ J}$$

إن كمية الحرارة التي اكتسبها الماء  $1935.1 \text{ J}$  تساوي كمية الحرارة التي فقدها الفلز،  $q_{\text{metal}}$ ، لذلك يمكنك كتابة المعادلة:

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

$$q_{\text{metal}} = -1935.1 \text{ J}$$

$$c_{\text{metal}} \times m \times \Delta T = -1935.1 \text{ J}$$

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

$$c_{\text{metal}} = \frac{-1935.1 \text{ J}}{m \times \Delta T}$$

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.

$$c_{\text{metal}} = \frac{-1935.1 \text{ J}}{(50.0 \text{ g})(-85.7^{\circ}\text{C})} = 0.453 \text{ J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$$

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. سخنت 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  $29.30^{\circ}\text{C}$ .

استعمال الحرارة النوعية تمتص قطعة فلز كتلتها 4.68 g 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 2-2؟

### 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

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

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

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

### المطلوب

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

### 2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كمية الحرارة  $q$

حل المعادلة لإيجاد  $C$

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

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

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

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

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

بالرجوع إلى الجدول 2-2 فإن الفلز هو الإسترانشيوم.

### 3 تقويم الإجابة

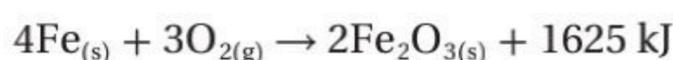
الكميات الثلاث المستخدمة في الحل تحوي ثلاثة أرقام معنوية، والإجابة تتكون من ثلاثة أرقام، وهذا صحيح. الحسابات صحيحة وتعطي الوحدة المتوقعة.

### مسائل تدريبية

- عينة من فلز كتلتها 90.0 g امتصت 25.6 J من الحرارة عندما ازدادت درجة حرارتها 1.18°C. ما الحرارة النوعية للفلز؟
- ارتفعت درجة حرارة عينة من الماء من 20.0°C إلى 46.6°C عند امتصاصها 5650 J من الحرارة. ما كتلة العينة؟
- 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  $0.803 \text{ J/(g}\cdot\text{C)}$ ؟
- تحفيز 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:



## تجربة

### تحديد الحرارة النوعية

كيف تستطيع أن تحدد الحرارة النوعية لفلز؟

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

### الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. اعمل جدولاً لتسجل فيه بياناتك.
3. اسكب 150 mL تقريباً من الماء المقطر في كأس زجاجية سعتها 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 بالمخبار المدرج.
7. اسكب الماء في كأس بوليسترين موضوعة داخل كأس زجاجية ثانية سعتها 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، علمًا بأن الحرارة النوعية للماء  $4.184 \text{ J/(g}\cdot\text{C)}$ . 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 نظامًا. 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. ولا ينصح بإجراء هذا التفاعل نظرًا للمخاطر المرافقة لاستخدام مادة ثيوسيانات الأمونيوم، إذ إنها مادة شديدة السمية ضارة عند الاستنشاق والتلامس مع الجلد أو الابتلاع.

**المحتوى الحراري وتغيراته** تعتمد كمية الحرارة الكلية التي تحتوي عليها مادة ما على عوامل كثيرة، وبعض هذه العوامل غير مفهوم تمامًا حتى الآن. لذلك من المستحيل معرفة كمية الحرارة الكلية الموجودة في المادة. ومن حسن الحظ أن

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 حتى التجمد فيمسك اللوح بالكأس.



الكيميائيين يهتمون بدراسة تغيرات الطاقة في أثناء التفاعلات الكيميائية أكثر من اهتمامهم بكمية الطاقة الموجودة في المواد المتفاعلة أو المواد الناتجة. يمكن قياس كمية الطاقة المكتسبة أو المفقودة للكثير من التفاعلات باستخدام المسعر عند ضغط ثابت، كما هو موضح في التجربة في الشكل 5-2. 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 والدوارق 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. ويعرف **المحتوى الحراري (H)** بأنه مقدار الطاقة الحرارية المخزنة في مول واحد من المادة تحت ضغط ثابت.

وعلى الرغم 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 للتفاعل الحراري (أو حرارة التفاعل) ( $\Delta H_{rxn}$ )**. 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.

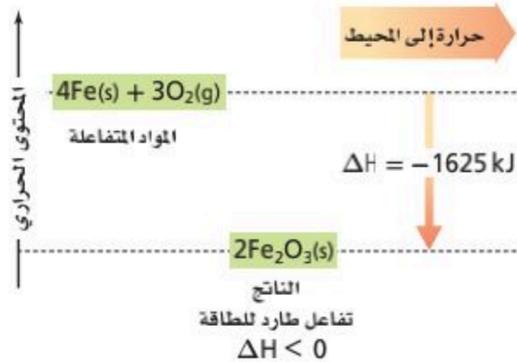


يتبين من معادلة التفاعل أن المواد المتفاعلة في هذا التفاعل الطارد للحرارة تفقد حرارة، لذلك يكون  $H_{products} < H_{reactants}$ ، لذا عند طرح  $H_{reactants}$  من  $H_{products}$  التي كميتها أصغر نحصل على قيمة سالبة لـ  $\Delta H_{rxn}$ ، ويقودنا ذلك إلى أن تغيرات المحتوى الحراري للتفاعلات الطاردة للحرارة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



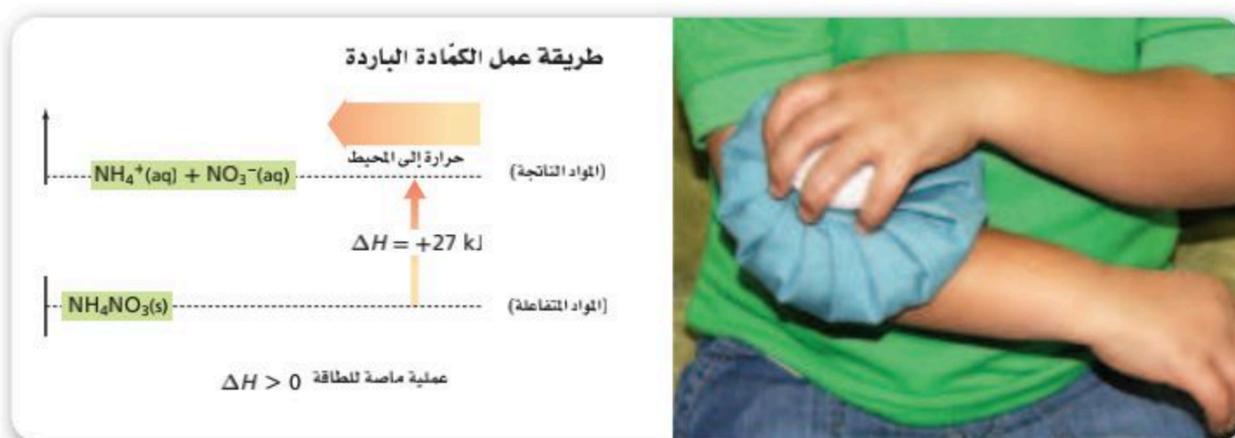
ويبين الشكل 7-2 مخطط التغير في المحتوى الحراري.

التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الكمادة الساخنة

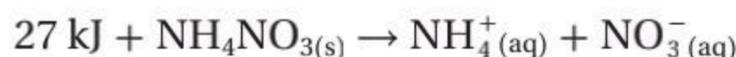


**الشكل 7-2** يشير السهم المتجه إلى أسفل إلى أن 1625 J من الحرارة انطلقت إلى المحيط، في التفاعل بين الحديد والأكسجين لتكوين Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. يمكن استخدام كمادة ساخنة من هذا النوع لتدفئة الأيدي الباردة.

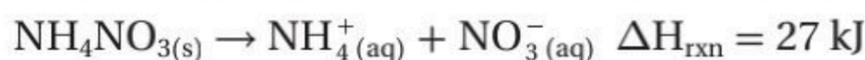
**اشرح كيف يبين المخطط أن التفاعل طارد للحرارة؟**



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 على 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 الأساس في صناعة الكمادة الباردة؛ فعند وضع الكمادة على كاحل الشخص يزود الكاحل الكمادة بالحرارة و يبرد هو بدوره.

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

## التقويم 2-2

### الخلاصة

- 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  $(\Delta H_{\text{rxn}})$ .
- عندما يكون  $\Delta H_{\text{rxn}}$  موجباً يكون التفاعل ماصاً للحرارة، أما عندما يكون  $\Delta H$  سالباً فيكون التفاعل طارداً للحرارة.

- الفكرة الرئيسية** صف كيف تحسب كمية الحرارة المكتسبة أو المنطلقة من المادة عندما تتغير درجة حرارتها؟
- اشرح لماذا تكون إشارة  $\Delta H_{\text{rxn}}$  سالبة للتفاعل الطارد للحرارة؟
- اشرح لماذا يشكل الحجم المعلوم من الماء جزءاً مهماً من المسعر؟
- اشرح لماذا يجب أن تعرف الحرارة النوعية للمادة حتى تحسب الحرارة المكتسبة أو المفقودة من المادة نتيجة تغير درجة الحرارة؟
- صف معنى النظام في الديناميكا الحرارية، وشرح العلاقة بين النظام والمحيط والكون.
- 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  $20.0^\circ C$  (استعن بالجدول 1 - 2 صفحة 58).
- صمم تجربة صف خطوات العمل التي يمكنك أن تتبعها لإيجاد الحرارة النوعية لقطعة فلز كتلتها 45.0 g.



## 2-3

### الأهداف

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

## المعادلات الكيميائية الحرارية Thermochemical Equations

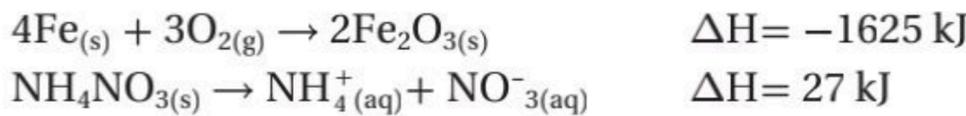
**الفكرة الرئيسية** تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصة في التفاعلات الكيميائية.

**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 الوقود.

### كتابة المعادلات الكيميائية الحرارية

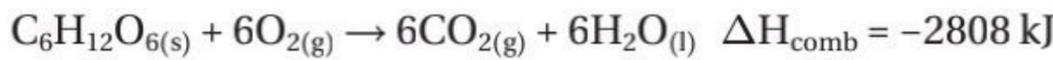
### Writing Thermochemical Equations

إن التغير في الطاقة جزء مهم من التفاعلات الكيميائية، لذلك يضمّن الكيميائيون  $\Delta H$  في الكثير من المعادلات الكيميائية. وتسمى 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 والناجمة، 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

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

الجدول 2-3		حرارة الاحتراق القياسية
$\Delta H^{\circ}_{\text{comb}}$ 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

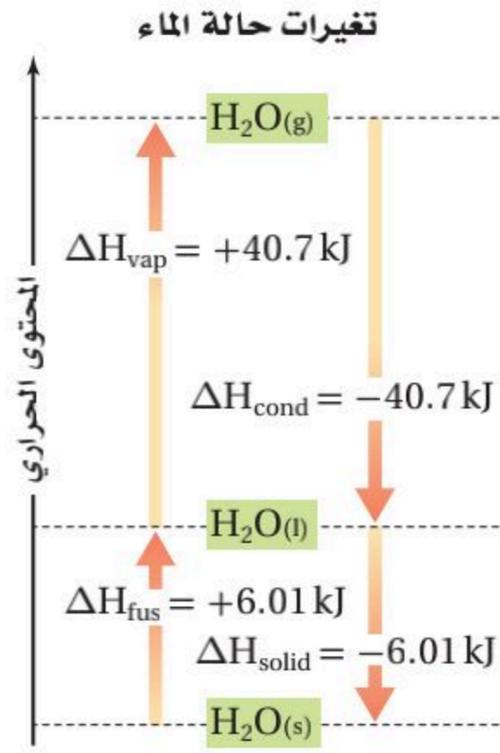
هناك الكثير من العمليات غير الكيميائية التي تمتص الطاقة فيها أو تُطلق. ففكر مثلاً فيما يحدث عندما تخرج من حمام ساخن، لا بد أنك تشعر برعشة جسمك في أثناء تبخر الماء عن جلدك؛ وذلك لأن جلدك يزود الماء بالحرارة التي يحتاج إليها لكي يتبخر، وكلما امتص الماء الحرارة من جلدك وتبخر ازدادت برودة جسمك.

تسمى الحرارة اللازمة لتبخّر 1 mol من سائل حرارة التبخر المولارية ( $\Delta H_{\text{vap}}$ ) Molar enthalpy (heat) of vaporization. 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 لصفه 1 mol من مادة صلبة حرارة الانصهار المولارية Molar enthalpy (heat) of fusion ( $\Delta H_{\text{fus}}$ ). ولأن تبخر السائل وصفه المادة الصلبة عمليتان ماصتان للحرارة، تكون  $\Delta H$  لكل من العمليتين موجبة. يبين الجدول 2-4 حرارة التبخر والانصهار القياسية لعدد من المواد المألوفة.

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



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



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



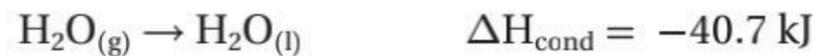
تبين المعادلة الأولى أن 40.7 kJ من الطاقة تُمتص عندما يتحول 1 mol من الماء إلى 1 mol من بخار الماء. بينما تشير المعادلة الثانية إلى أن 6.01 kJ من الطاقة تُمتص عندما ينصهر مول واحد من الجليد ليكون مولاً واحداً من الماء السائل.

ماذا يحدث في العمليتين العكسيتين عندما يتكثف بخار الماء ليكون الماء السائل أو عندما يتجمّد 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 التكثف المولارية Molar enthalpy (heat) of condensation ( $\Delta H_{\text{cond}}$ ) وقيمة حرارة التبخر المولارية متساويتان رقمياً وإن اختلفتا في الإشارة. كذلك فإن قيمة حرارة التجمّد المولارية ( $\Delta H_{\text{solid}}$ ) وقيمة حرارة الانصهار المولارية لها القيمة الرقمية نفسها، ولكنها 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 وتجمّد الماء الآتيتين بالمعادلتين المتعلقتين بتبخر الماء وصهره.



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

**ماذا قرأت؟ صنّف** عمليات كل من التكثف، والتجمّد، 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.

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

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

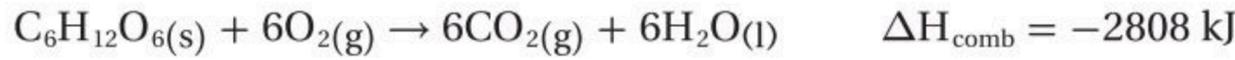
3. **استنتج** كيف يبدو شكل منحنى التسخين للإيثانول؟ ينصهر الإيثانول عند  $-114^{\circ}\text{C}$  ويغلي عند  $78^{\circ}\text{C}$ . ارسم منحنى تسخين الإيثانول في مدى درجات الحرارة من  $-120^{\circ}\text{C}$  إلى  $90^{\circ}\text{C}$ . ما العوامل التي تحدد طول الأجزاء التي تثبت فيها درجة الحرارة (الخطوط الأفقية)، وميل 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  $C_6H_{12}O_6$  بحسب المعادلة الآتية:



### 1 تحليل المسألة

لديك كتلة معروفة من الجلوكوز، ومعادلة احتراق الجلوكوز، و  $\Delta H_{\text{comb}}$ . 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  $\Delta H_{\text{comb}}$ .

### المعطيات

### المطلوب

$$q = ? \text{ kJ}$$

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

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

### 2 حساب المطلوب

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

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

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

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

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

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

### 3 تقويم الإجابة

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

### مسائل تدريبية

23. احسب الحرارة اللازمة لصهر 25.7g من الميثانول الصلب عند درجة انصهاره. استعن بالجدول 2-4.

24. ما كمية الحرارة المنطلقة عن تكثف 275g من غاز الأمونيا إلى سائل عند درجة غليانه؟ استعن بالجدول 2-4 لتحديد

$$\Delta H_{\text{cond}}$$

25. تحفيز. ما كتلة الميثان  $CH_4$  التي يجب احتراقها لإطلاق 12880 kJ من الحرارة؟ استعن بالجدول 2-3.

### تجربة عملية

حرارة احتراق مادة الشمع

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة

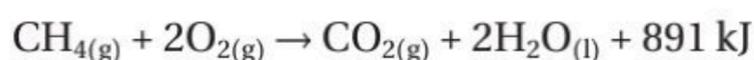
عين الإثرائية



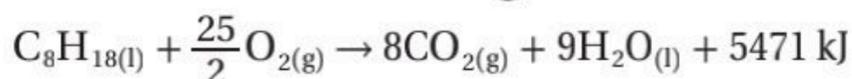
**الرابط علم الأحياء** عند احتراق 1 mol من الجلوكوز في مسعر ينطلق 2808 kJ من الحرارة. وتنطلق الكمية نفسها من الحرارة في عملية أيض كتلة مساوية من الجلوكوز خلال عملية التنفس الخلوي. وتحدث هذه العملية في كل خلية داخل جسمك في سلسلة من الخطوات المعقدة؛ حيث يتكسر الجلوكوز وينطلق ثاني أكسيد الكربون والماء اللذان 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

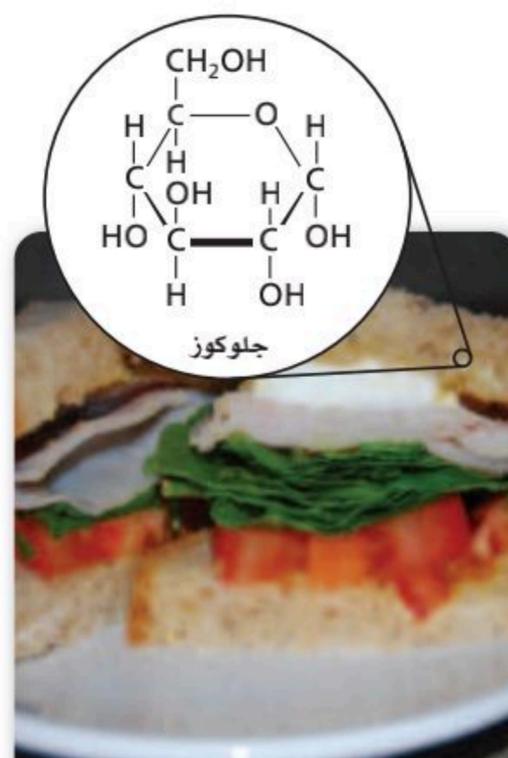
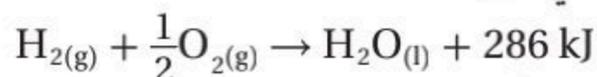
تفاعل الاحتراق عبارة عن تفاعل الوقود مع الأكسجين. وفي الأنظمة الحيوية يعد الطعام الوقود اللازم للاحتراق. يبين الشكل 10-2 بعض الأغذية العديدة التي تحتوي على الجلوكوز بالإضافة إلى أغذية أخرى تحتوي على الكربوهيدرات، والتي تتحول بدورها إلى جلوكوز داخل جسمك. كما أنك تعتمد على تفاعلات الاحتراق في تدفئة منزلك. 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 الجاوزلين، والذي يتكون غالباً من الأوكتان  $\text{C}_8\text{H}_{18}$ . ويبين الجدول 3-2 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.



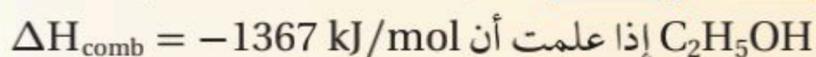
الشكل 10-2 هذه الأغذية هي وقود للجسم. فهي تزود الجسم بالجلوكوز الذي يحترق لإنتاج 2808 kJ/mol ليقوم الجسم بأنشطته الحيوية.

## التقويم 2-3

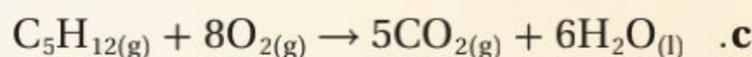
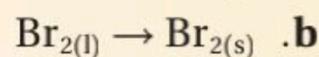
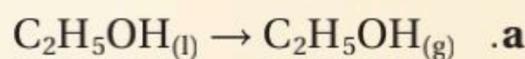
### الخلاصة

- تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الطبيعية للمواد المتفاعلة والنواتج، 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.

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

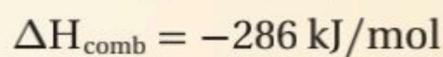


27. **حدد** أي العمليات الآتية طاردة للحرارة، وأيها ماصة لها؟



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

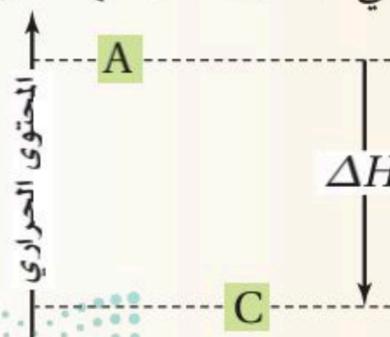
29. **احسب** كمية الحرارة المنطلقة عند احتراق 206 g من غاز الهيدروجين؟



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

31. **تفسير الرسوم العلمية** بين الرسم المجاور

المحتوى الحراري للتفاعل  $A \rightarrow C$ . هل التفاعل طارد أم ماص للحرارة؟ فسر إجابتك.





## 2-4

### الأهداف

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

### مراجعة المفردات

**التأصل:** ظاهرة وجود شكل أو أكثر لعنصر بتراكيب وخصائص مختلفة عند الحالة الفيزيائية نفسها.

### المفردات الجديدة

قانون هس  
حرارة التكوين القياسية

## حساب التغير في المحتوى الحراري Calculating Enthalpy Change

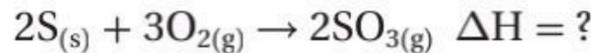
**الفكرة الرئيسية** يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الكيميائية باستعمال قانون هس.

**الربط مع الحياة** لعلك قرأت قصة من فصلين أو من جزأين، بحيث يخبر كل جزء ببعض أحداث القصة. عليك أن تقرأ الجزأين معاً 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 من المستحيل أحياناً أو من غير العملي أن تقيس التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$  لتفاعل باستعمال المسعر. يبين الشكل 11-2 تغير الكربون في صورته المتأصلة (الأماس)، إلى الكربون في صورته المتأصلة (الجرافيت). (جرافيت، C(s) → (الأماس، C(s).

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.

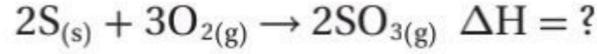


لسوء الحظ، إن التجارب المخبرية التي تجرى لإنتاج ثالث أكسيد الكبريت لتحديد  $\Delta H$  للتفاعل ينتج عنها مخلوط من النواتج، معظمها يتكون من ثاني أكسيد الكبريت  $SO_2$ . في مثل هذه الحالة يمكنك حساب  $\Delta H$  باستعمال قانون هس للجمع الحراري. ينص **قانون هس** على أن حرارة التفاعل أو التغير في المحتوى الحراري تتوقف على طبيعة المواد الداخلة في التفاعل والمواد الناتجة منه، وليس على الخطوات أو المسار الذي يتم فيه التفاعل.

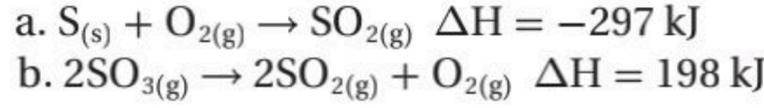


**الشكل 11-2** إن التعبير الذي يقول إن "الأماس يبقى إلى الأبد" *"diamonds are forever"* يدل على أن عملية تحويل الأماس إلى جرافيت عملية بطيئة جداً حتى أنه من المستحيل أن تقيس التغير في محتواه الحراري.

**تطبيق قانون هس** كيف يمكن استعمال قانون هس لحساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل الذي ينتج ثالث أكسيد الكبريت  $SO_3$ ؟



**الخطوة 1** نحتاج إلى الاطلاع على معادلات كيميائية حرارية معلومة تُظهر التغير في المحتوى الحراري للمواد الداخلة والناجمة في التفاعل المطلوب حساب التغير في المحتوى الحراري له. المعادلتان الآتيتان تحتويان على  $SO_3$  و  $O_2$  و  $S$ :



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

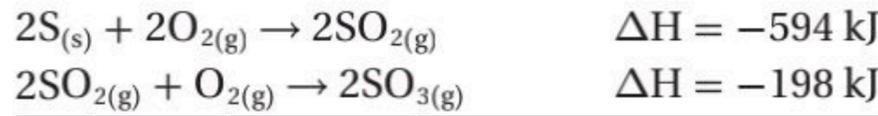


**الخطوة 3** تبين معادلة التفاعل المطلوب حساب التغير في المحتوى الحراري له أن ثالث أكسيد الكبريت هو ناتج وليس مادة متفاعلة، لذا اعكس المعادلة b.

عندما تعكس المعادلة يجب عليك أيضاً أن تغير إشارة  $\Delta H$ ، فتصبح المعادلة b كما يأتي:



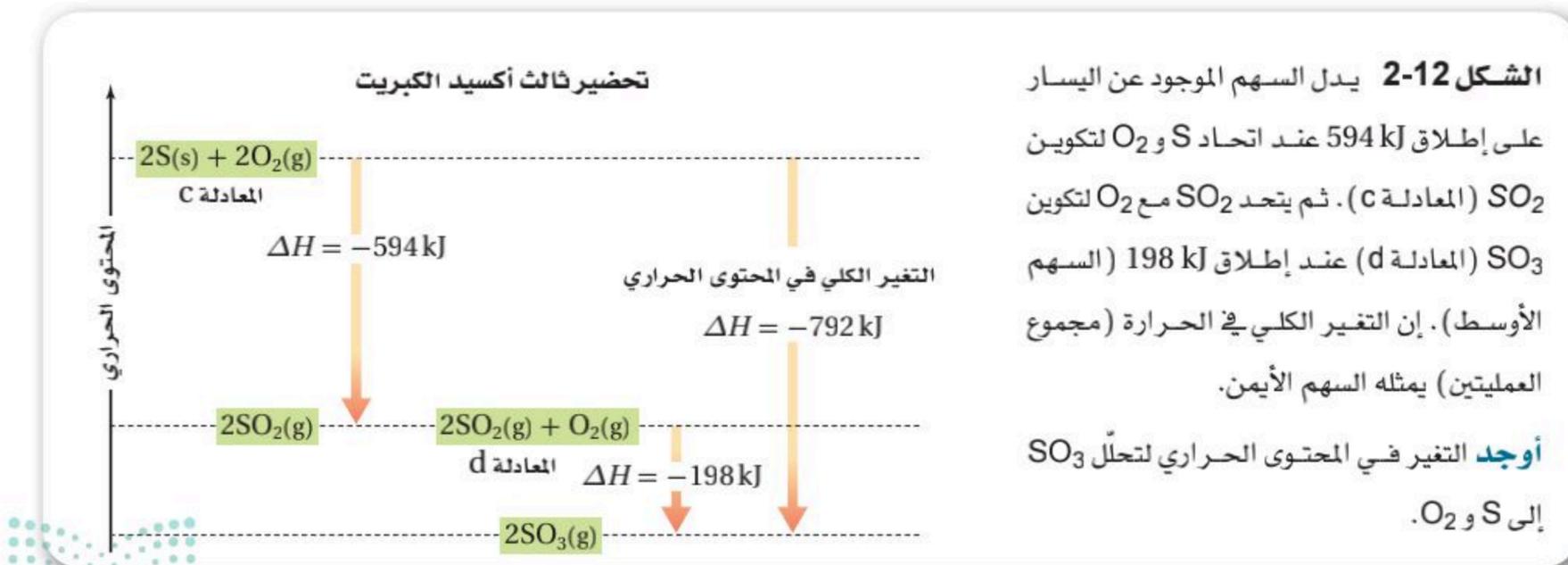
**الخطوة 4** اجمع المعادلتين c و d لتحصل على المعادلة المطلوبة.



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



ويبين الشكل 12-2 تغيرات الطاقة في هذا التفاعل.



**الشكل 12-2** يدل السهم الموجود عن اليسار على إطلاق  $594 \text{ kJ}$  عند اتحاد  $S$  و  $O_2$  لتكوين  $SO_2$  (المعادلة c). ثم يتحد  $SO_2$  مع  $O_2$  لتكوين  $SO_3$  (المعادلة d) عند إطلاق  $198 \text{ kJ}$  (السهم الأوسط). إن التغير الكلي في الحرارة (مجموع العمليتين) يمثله السهم الأيمن. **أوجد** التغير في المحتوى الحراري لتحلل  $SO_3$  إلى  $S$  و  $O_2$ .

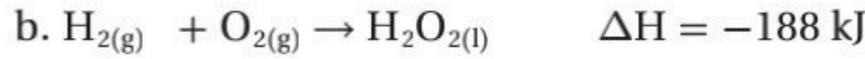
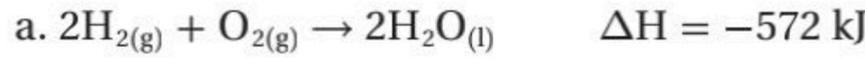
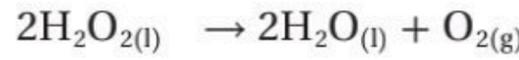
تكون المعادلات الكيميائية الحرارية عادةً موزونة لمول واحد من الناتج. لذا نجد أنه في الكثير من هذه المعادلات استعمال معاملات كسرية. مثلاً تُكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لتفاعل الكبريت مع الأكسجين لإنتاج مول واحد من ثالث أكسيد الكبريت كما يأتي:



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 فوق أكسيد الهيدروجين  $H_2O_2$ ، وهو مركب له عدة استعمالات، منها إزالة لون الشعر، وتزويد محركات الصواريخ بالطاقة.



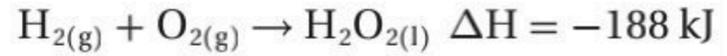
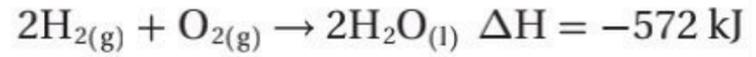
### 1 تحليل المسألة

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

### المعطيات

### المطلوب

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

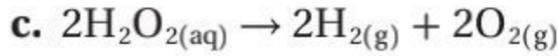
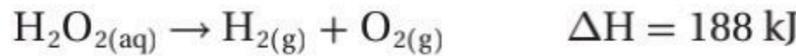


### 2 حساب المطلوب

$H_2O_2$  هو مادة متفاعلة

اعكس المعادلة b وغير إشارة  $\Delta H$

يلزم 2 mol من  $H_2O_2$



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

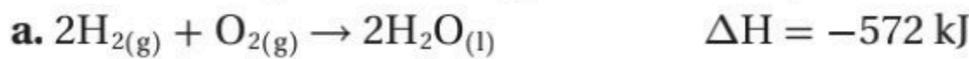


اضرب المعادلة b بعد عكسها في 2 لتحصل على المعادلة c

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

اكتب المعادلة c متضمنة  $\Delta H$

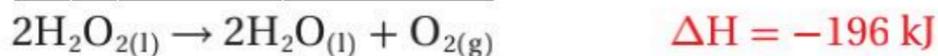
اجمع المعادلة a مع المعادلة c، واحذف كل حدّين موجودين على طرفي المعادلة المدججة. اجمع المحتوى الحراري للمعادلتين a و c.



اكتب المعادلة a



اكتب المعادلة c

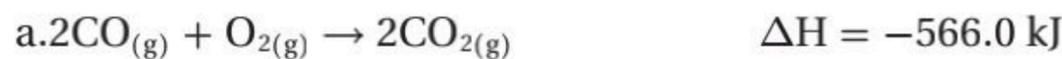
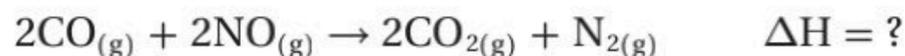


اجمع المعادلتين a و c

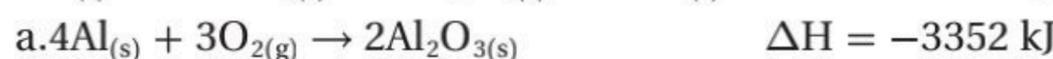
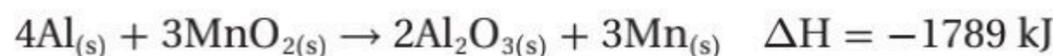
### 3 تقويم الإجابة

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

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



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



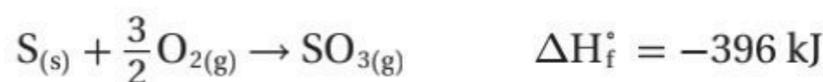
### حرارة التكوين القياسية

### 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.

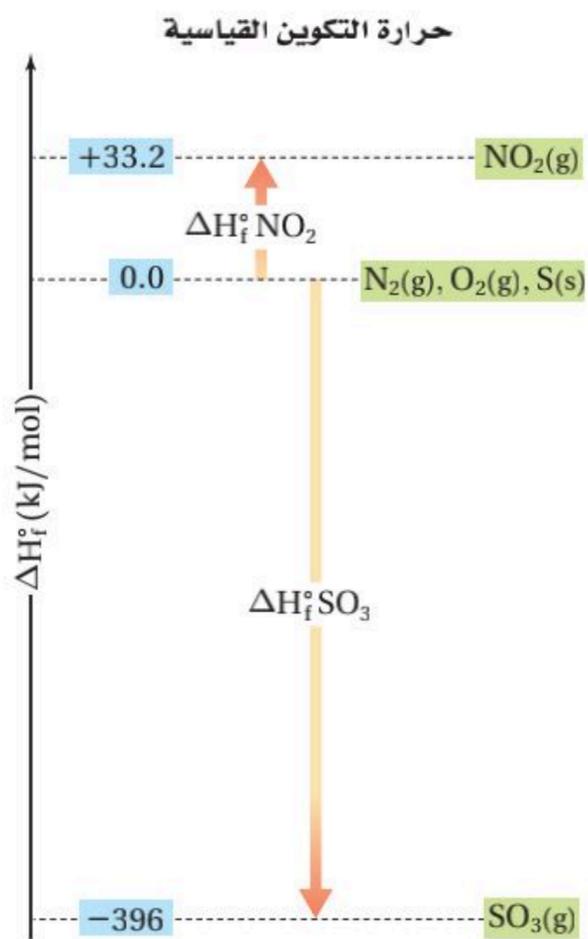


ينتج عن هذا التفاعل ثالث أكسيد الكبريت  $\text{SO}_3$ ، وهو غاز خانق يتسبب في إنتاج المطر الحمضي عندما يختلط بالرطوبة الموجودة في الجو. والشكل 13-2 يبين النتائج المدمرة للمطر الحمضي.



الشكل 13-2 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 2-14**  $\Delta H_f^\circ$  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 -369 kJ/mol.

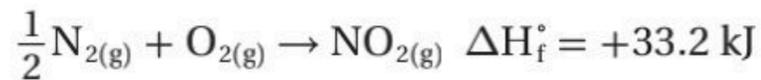
**توقع صف الموقع التقريبي للماء على الرسم أعلاه.**



$$\Delta H_f^\circ = -286 \text{ kJ/mol}$$

**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 يمكننا أن ننظم تدريجاً قيم حرارة التكوين للمركبات، والتي تم إيجادها عملياً. يمكنك التفكير في الصفر على هذا التدرج بما يشبه الصفر المئوي  $0.0^\circ C$  الذي حُدّد درجة لتجمد الماء. وهكذا كل مادة أدفأ 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 ثنائيّ الذرة، لذا تكون حرارة التكوين لكل منهما صفراً. وعند تفاعل النيتروجين مع الأكسجين لتكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين وجد عملياً أن  $\Delta H$  يساوي +33.2 kJ.

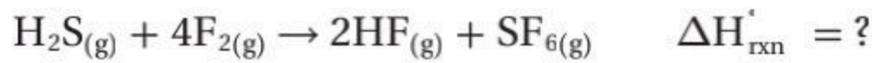
وهذا يعني أن +33.2 kJ من الطاقة قد امتصت في هذا التفاعل الماصّ للحرارة. أي أن المحتوى الحراري للناتج  $NO_2$  أعلى من المحتوى الحراري للمتفاعلات بمقدار +33.2 kJ. يبين الشكل 2-14 أنه على تدرج حرارة التكوين القياسية يوضع  $NO_2$  فوق العناصر المكونة له بمقدار +33.2 kJ. ويوضع ثالث أكسيد الكبريت  $SO_3$  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 2-5 على قيم حرارة التكوين القياسية لبعض المواد الشائعة.

حرارة التكوين القياسية		الجدول 2-5
$\Delta H_f^\circ$ (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	$S(s) + 3F_2(g) \rightarrow SF_6(g)$	$SF_6(g)$

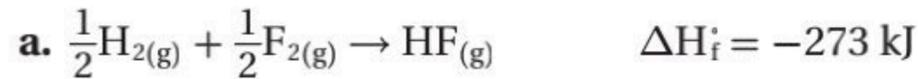


**الشكل 2-15** يستعمل سادس فلوريد الكبريت في الحفر على رقائق السليكون في عملية إنتاج الأجهزة شبه الموصلة. تعد أشباه الموصلات أجزاء مهمة في الأجهزة الإلكترونية الحديثة ومنها الحواسيب والهواتف الخلوية ومشغلات MP3، وغيرها.

**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، أحدها مبين في الشكل 2-15.

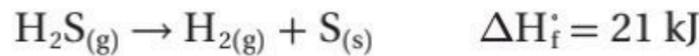


**الخطوة 1** ارجع إلى الجدول 2-5 لتجد معادلة تفاعل تكوين كل من المركبات الثلاثة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$ .

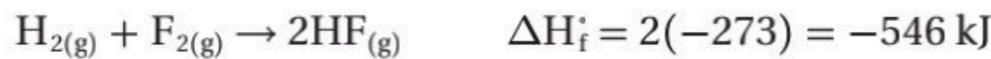


**الخطوة 2** المعادلتان **a** و **b** تصفان تكوّن الناتجين HF و  $\text{SF}_6$  في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$ ، لذا استعمل المعادلتين **a** و **b** كما هما.

المعادلة **c** تصف تكوّن  $\text{H}_2\text{S}$ ، ولكن  $\text{H}_2\text{S}$  هو أحد المواد المتفاعلة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية. لذا اعكس المعادلة **c** وغيّر 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، واجمع قيم حرارة التكوين القياسية.



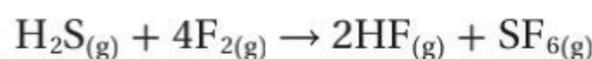
يمكن تلخيص خطوات حساب حرارة التفاعل القياسية  $\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ}$  بالصيغة أدناه:

### معادلة التجميع

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = \sum \Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{products}) - \sum \Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{reactants})$$

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

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



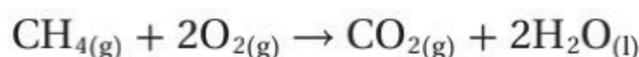
$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = [(2)\Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{HF}) + \Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{SF}_6)] - [\Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{H}_2\text{S}) + (4)\Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{F}_2)]$$

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

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

### مثال 2-6

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



### 1 تحليل المسألة

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

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = \sum \Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{products}) - \sum \Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{reactants})$$

### المطلوب

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

### المعطيات

$$\Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{CO}_2) = -394 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O}) = -286 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{CH}_4) = -75 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{O}_2) = 0.0 \text{ kJ}$$

### 2 حساب المطلوب

استعمل العلاقة الرياضية:

$$\Delta H_{\text{rxn}}^{\circ} = \sum \Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{products}) - \sum \Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{reactants})$$

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

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

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

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

عوض في قيم حرارة التكوين في المعادلة

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

### 3 تقويم الإجابة

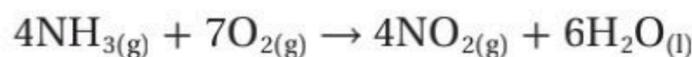
القيمة التي تم حسابها هي القيمة المعطاة في الجدول 2-3 نفسها.



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



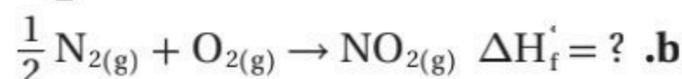
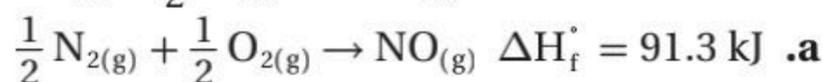
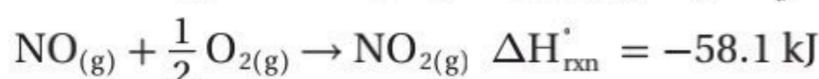
35. مستعيناً بجدول قيم حرارة التكوين القياسية في صفحة (79)، احسب  $\Delta H_{\text{rxn}}^\circ$  للتفاعل الآتي.



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. تحفيز بدمج معادلتَي حرارة التكوين a و b تحصل على معادلة تفاعل أكسيد النيتروجين مع الأكسجين، الذي ينتج عنه ثاني أكسيد النيتروجين. ما قيمة  $\Delta H_f^\circ$  للتفاعل b؟



## التقويم 2-4

### الخلاصة

38. الفكرة الرئيسية > وضع 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 تدرج حرارة التكوين القياسية؟
41. تفحص البيانات في الجدول 2-5. 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:
- $$\text{NO}(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = ?$$
- $$\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = +495 \text{ kJ}$$
- $$2\text{O}_3(\text{g}) \rightarrow 3\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -427 \text{ kJ}$$
- $$\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -199 \text{ kJ}$$
43. تفسير الرسوم العلمية استعمال البيانات أدناه لعمل رسم حرارة التكوين القياسية مشابه للشكل 2-14، 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 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.

# كيف تعمل الأشياء؟

## المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود

قد لا تزودنا محطات الوقود في المستقبل غير البعيد بأنواع من الجازولين فقط، ولكنها ستضخ أيضًا وقودًا 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% جازولين، 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 و85% إيثانول. والإيثانول  $C_2H_5OH$  ووقود متجدد يمكن إنتاجه منزليًا.

2 فائدة بيئية 2 - فائدة بيئية يقلل احتراق E85 من إطلاق غازات تسبب الاحتباس الحراري 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. حاقتات الوقود في FFV يجب أن يكون لديها القدرة على حقن كمية وقود أكبر من 30%.

4 منع التلف إن محتوى الإيثانول في E85 عالٍ 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.

## الكيمياء

### الكتابة في

اكتب معادلات كيميائية حرارية تمثل الاحتراق الكامل لكل من  $1 \text{ mol}$  من الأوكتان  $C_8H_{18}$ ، وهو أحد مكونات البنزين، و  $1 \text{ mol}$  من الإيثانول.

$\Delta H_{\text{comb}} C_8H_{18} = -5471 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta H_{\text{comb}} C_2H_5OH = -1367 \text{ kJ/mol}$

أيها يطلق كمية أكبر من الطاقة لكل  $1 \text{ mol}$  من الوقود؟  
أيها يطلق كمية أكبر من الطاقة لكل  $1 \text{ Kg}$  من الوقود؟

# مختبر الكيمياء

## قياس السُّعرات الحرارية



**الخلفية** يطلق حرق شريحة بطاطس الحرارة المختزنة في المواد الموجودة في الشريحة. استعمل المسعر لتجد 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 معدني 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

8. حرك الماء في الكأس بلطف في أثناء احتراق الشريحة. قس أعلى درجة حرارة يصل إليها الماء وسجلها.
9. التخلص من النفايات اتبع تعليمات المعلم للتخلص من المواد المستعملة في التجربة.

### التحليل والاستنتاج

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) كلياً؟ ما الدليل الذي يؤيد إجابتك؟
3. احسب كتلة الماء والتغير في 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 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 أواني زجاجية مكسورة أو جزء منها مكسور، أو متصدعة. اربط الشعر الطويل إلى الخلف. لا تأكل أي شيء يستعمل في المختبر.

### خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
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. استعمل المخبار المدرج، لقياس 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.

### الاستقصاء

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

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

### 2-1 الطاقة

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

#### المفردات

- الطاقة
- قانون حفظ الطاقة
- طاقة الوضع
- الحرارة النوعية
- الشُّعر
- الجول
- الحرارة النوعية

#### الأفكار 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 مطروحاً منه المحتوى الحراري للمتفاعلات.

#### المفردات

- المسعر
- الكيمياء الحرارية
- النظام المحيط
- الكون
- المحتوى الحراري
- المحتوى الحراري للتفاعل

#### الأفكار الرئيسية

- تعرّف 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** تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصة في التفاعلات الكيميائية.

#### المفردات

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

#### الأفكار الرئيسية

- تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الطبيعية للمواد المتفاعلة والنواتج، كما تبين التغير في المحتوى الحراري.
- حرارة التبخر المولارية  $\Delta H_{\text{vap}}$  هي كمية الطاقة اللازمة لتبخير 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 الكيميائية باستعمال قانون هس.

#### المفردات

- قانون هس
- حرارة التكوين القياسية

#### الأفكار 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 ماصّ 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

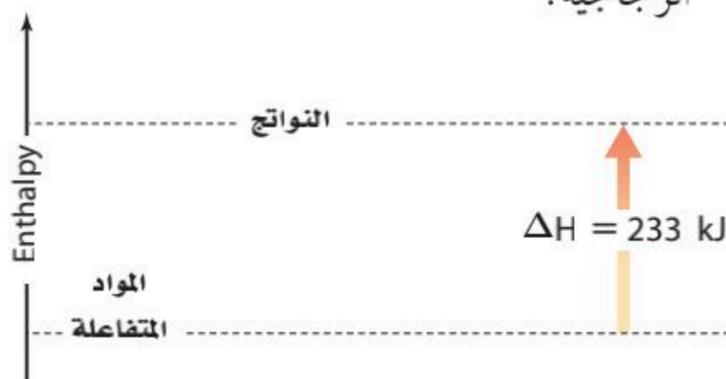
53. التغذية يحتوي أحد أصناف الطعام على 124 Cal. كم cal يوجد في هذا الصنف من الطعام؟

54. كم جولاً J من الطاقة يتم امتصاصه في عملية يمتص خلالها 0.5720 Kcal من الطاقة؟
55. المواصلات 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 Cal من الطاقة. ما مقدار هذه الكمية بـ kJ؟
58. التعدين 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؟

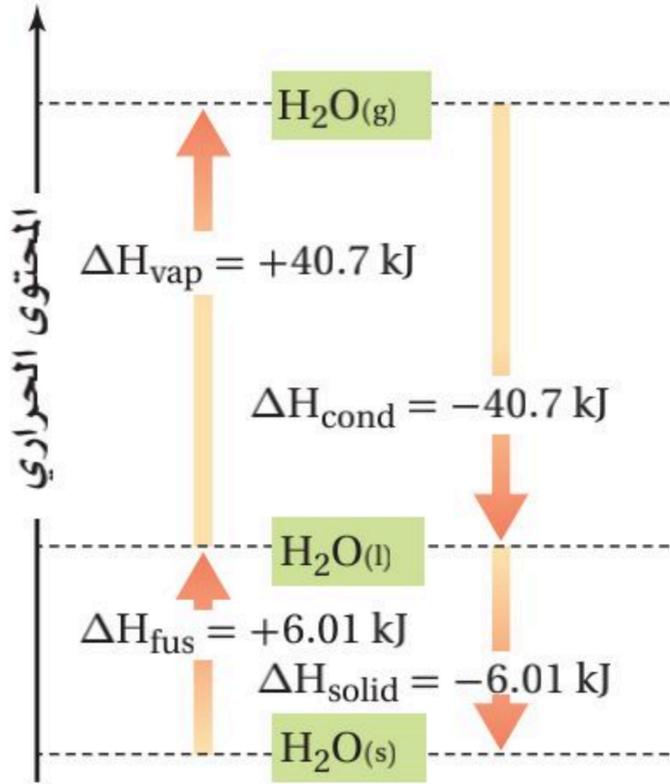


الشكل 17-2

60. هل التفاعل المبين في الشكل 17-2 ماصّ 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  $\Delta H$ ؟

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

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 يتكوّن منها 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  $NH_3$  5.66 kJ من الحرارة عندما تصلبت عند درجة انصهارها. فما كتلة العينة؟

63. إذا كانت قيمة التغير في المحتوى الحراري  $\Delta H$  لتفاعل 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 ملى 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، فما 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 زادت 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

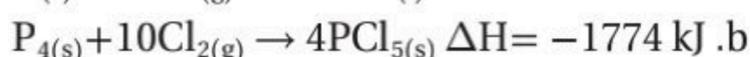
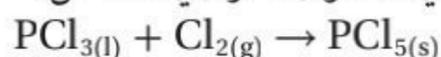
## إتقان المفاهيم

70. حرارة الانصهار المولارية للميثانول  $CH_3OH$  هي  $3.22 \text{ kJ/mol}$ . ماذا يعني ذلك؟

71. اكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق الميثان  $CH_4$ .

## التفكير الناقد

84. طبق 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 تحفيز

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 kJ / mol، و ينتج عن احتراقه غاز ثاني أكسيد الكربون  $\text{CO}_2$  وماء سائل  $\text{H}_2\text{O}$ ، فاكتب 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 2-3، في حساب الطاقة المنطلقة عن احتراق 1 kg من الغاز الطبيعي.

## مراجعة تراكمية

87. ما التركيز المولاري لمحلول تم تحضيره بإذابة 25.0 g من ثيو سيانات الصوديوم (NaSCN) في كمية كافية من الماء لعمل 500 mL من المحلول؟

88. عدد ثلاث خصائص جامعة للمحاليل.

## 2-4

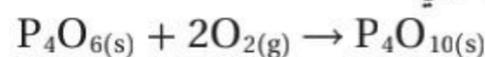
## إتقان المفاهيم

77. مالذي تصفه حرارة التكوين القياسية لمركب معين؟

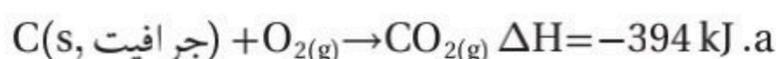
78. كيف تتغير  $\Delta H$  في معادلة كيميائية حرارية إذا تضاعفت كميات المواد جميعها ثلاث مرات وعكست المعادلة؟

## إتقان حل المسائل

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



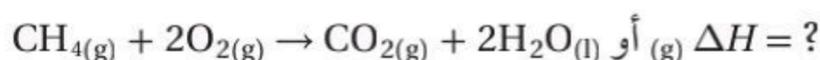
80. استعمل قانون هس والمعادلتين الكيميائيتين الحراريتين الآتيتين لإيجاد المعادلة الكيميائية الحرارية للتفاعل (جرافيت،  $\text{C}(\text{s}) \rightarrow \text{C}(\text{s}, \text{ألماس})$ ). ما مقدار  $\Delta H$  للتفاعل؟



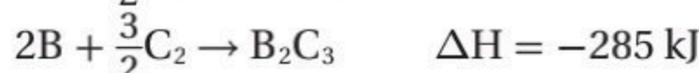
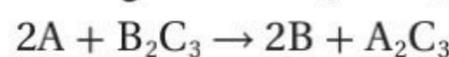
## مراجعة عامة

81. إذا أردت أن تحفظ الشاي ساخناً فإنك تضعه في ترمس. وضح لماذا قد تغسل الترمس بالماء الساخن قبل حفظ الشاي الساخن فيه؟

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 للسائل في المعادلة الكيميائية الحرارية الآتية:



83. استعمل قانون هس والتغيرات في المحتوى الحراري للتفاعلين الآتين لحساب  $\Delta H$  للتفاعل:



## تقويم إضافي

## الكتابة في الكيمياء

89. **الوقود البديل** ابحث من خلال المصادر وشبكة الإنترنت كيف يمكن إنتاج الهيدروجين وشحنه واستعماله وقوداً للسيارات؟ لخص فوائد وعوائق استعمال الهيدروجين وقوداً 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 المخبرية المستعملة.

الجدول 2-6 نتائج حرق الزيوت

نوع الزيت	$\Delta H_{comb}$ kJ/g
زيت الصويا	40.81
زيت الكانولا	41.45
زيت الزيتون	39.31
زيت الزيتون البكر الممتاز	40.98

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، فما درجة الحرارة النهائية للماء؟



# اختبار مقنن

## أسئلة الاختيار من متعدد

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

- a.  $10.7 \text{ KJ}$
- b.  $8.30 \text{ KJ}$
- c.  $2.44 \text{ KJ}$
- d.  $5.86 \text{ KJ}$

2. إذا سُخِّنت رقاقة ألومنيوم كتلتها  $3.00 \text{ g}$  في فرن، فارتفعت درجة حرارتها من  $20.0^\circ\text{C}$  إلى  $662.0^\circ\text{C}$ ، وامتصت  $1728 \text{ J}$  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.  $2.61 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$

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

4. تكون إشارة قيمة حرارة التفاعل الماص للحرارة:

- a. موجبة أو سالبة
- b. تعتمد على طاقة الروابط في المواد المتفاعلة
- c. موجبة دائماً
- d. سالبة دائماً

5. ادرس العبارات الآتية:

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 الآتي:



6. ما الضغط المتوقع للغاز B عند  $310 \text{ K}$ ؟

- a.  $500 \text{ kPa}$
- b.  $600 \text{ kPa}$
- c.  $700 \text{ kPa}$
- d.  $900 \text{ kPa}$



# اختبار مقنن

## 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 التعرق 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

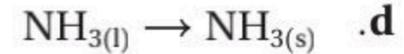
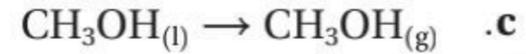
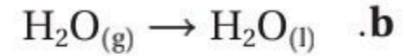
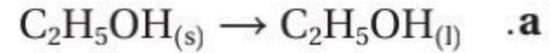
b. 125 g

c. 3589609 g

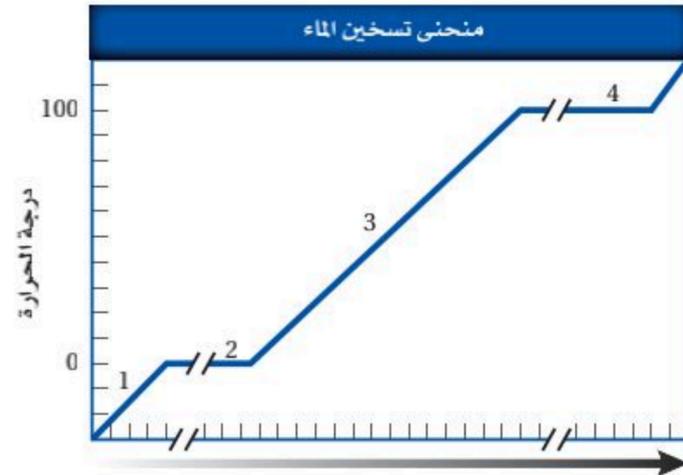
d. 143.56 g

## 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. حدّد ماذا يحدث في المقاطع 1، 2، 3، 4، 5 الموضحة على المنحنى؟

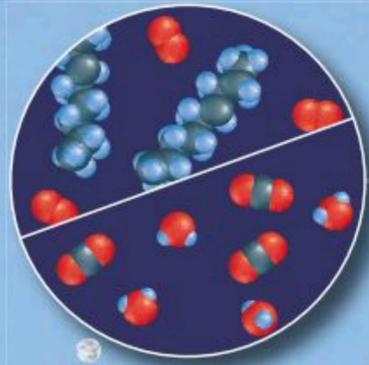


# سرعة التفاعلات الكيميائية

## Reaction Rates

# 3

# الفصل



متفاعلات ونواتج الاحتراق



مكبس وأسطوانة



محرك

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

### 3-1 نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي

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

### 3-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

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

### 3-3 قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

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

## حقائق كيميائية

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

## نشاطات تمهيدية

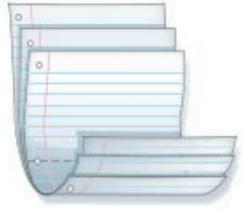
سرعة التفاعل اعمل  
المطوية الآتية لتساعدك  
على تنظيم المعلومات حول  
العوامل المؤثرة في سرعة  
التفاعل الكيميائي.

### المطويات

منظمات الأفكار



**الخطوة 1** ضع ثلاث  
أوراق بعضها فوق بعض،  
بحيث تبعد حافة كل منها  
عن الأخرى 2 cm تقريبًا  
من أعلى. حافظ على بقاء الحواف عن اليمين  
واليسار متطابقة.



**الخطوة 2** اطو الحواف  
السفلية للورق إلى أعلى  
لتكوين ستة أجزاء متساوية،  
ثم اضغط على الحواف  
لثبيتها في أماكنها.

**الخطوة 3** ثبّت الطيات، كما في الشكل،

المحفزات والمثبطات
درجة الحرارة
مساحة السطح
التركيز
طبيعة المواد المتفاعلة
العوامل المؤثرة في
سرعة التفاعل

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

**المطويات** استعمل 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. املاً بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. اعمل جدولاً لتسجيل المشاهدات والملاحظات قبل وبعد التجربة.
3. اسكب 10 mL تقريباً من فوق أكسيد الهيدروجين في كأس  
زجاجي. ثم سجّل ملاحظتك الأولية في جدول الملاحظات  
والمشاهدات.
- تحذير: فوق أكسيد الهيدروجين مادة حارقة، لذا تجنب  
ملامستها للجلد والعيون.
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.

### التحليل

1. حدد المواد الناتجة عن تحلل فوق أكسيد الهيدروجين.
  2. فسر لماذا ظهرت الفقاعات في الخطوة رقم 4، ولم تظهر في  
الخطوة رقم 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.



# 3-1

## 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

## نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي Collision Theory and Reaction Rate

**الفكرة الرئيسية** نظرية التصادم هي المفتاح لفهم الاختلاف في سرعة التفاعلات. **الربط مع الحياة** أيهما أسرع: الذهاب إلى المدرسة سيرا على الأقدام، أم ركوب الحافلة، أم السيارة؟ إن تحديد سرعة وصول شخص إلى المدرسة لا يختلف كثيراً 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 تفاعلاً سريعاً أو بطيئاً. فالمصطلحان (سريع و بطيء) مصطلحان غير دقيقين؛ إذ يجب أن يكون تعبيرنا أكثر دقة وتحديداً.

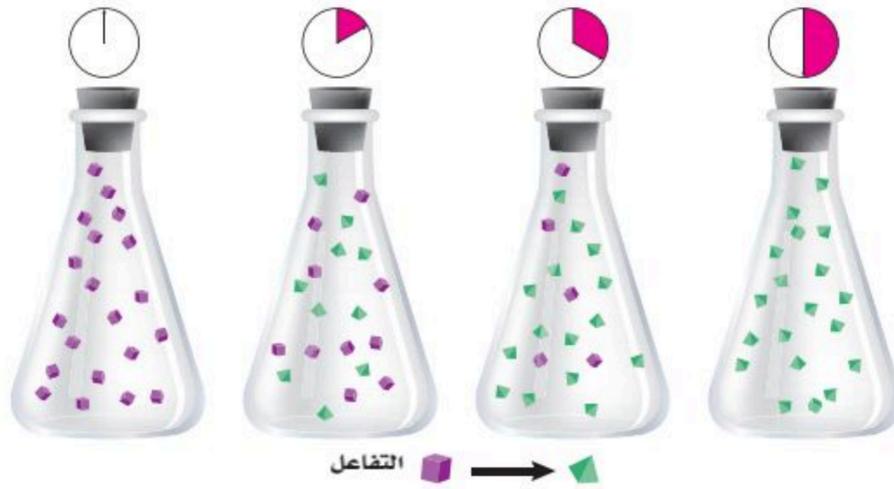
فكر في كيفية التعبير عن سرعة أو متوسط سرعة الأشياء المتحركة. فمثلاً، يبين عداد السرعة في الشكل 3-1 أن سيارة السباق تتحرك بسرعة مقدارها 100 Km/h، بينما يمكن التعبير عن سرعة العداء في مضمار السباق بوحدة m/s. وعموماً يعرف متوسط السرعة لحدث ما أو عملية محددة بالتغير الكمي خلال زمن محدد. ولاشتقاق العلاقة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

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

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

**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.



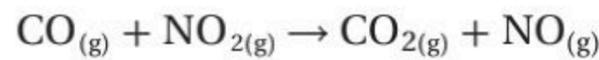


**الشكل 2-3** تتحول المواد المتفاعلة مع مرور الزمن إلى مواد ناتجة. ويمكن التعبير عن سرعة التفاعل الكيميائي بالتغير في عدد مولات المواد المتفاعلة أو الناتجة خلال فترة محددة من الزمن. **احسب سرعة التغير لكل فترة من الزمن.**

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 عملي 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 الآتي 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 تكوّن  $\text{NO}$  كما يأتي:

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

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

$$\begin{aligned} \text{Rate} &= \frac{0.010 \text{ M} - 0.000 \text{ M}}{2.00 \text{ s} - 0.00 \text{ s}} \\ &= \frac{0.010 \text{ M}}{2.00 \text{ s}} = 0.0050 \text{ mol/L}\cdot\text{s} \end{aligned}$$

لاحظ كيفية اشتقاق الوحدة:

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

## المفردات

### المفردات 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:

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

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

$$\text{Rate} = - \frac{\Delta[\text{reactants}]}{\Delta t}$$

حيث تمثل  $\Delta[\text{reactants}]$  التغير في تركيز المواد المتفاعلة.

$\Delta t$  تمثل التغير في الزمن  $t_2 - t_1$

### مثال 3-1

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

#### 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

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

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

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

$$= - \frac{-0.120 \text{ mol/L}}{4.00 \text{ s}} = 0.0300 \text{ mol/L.s}$$

اكتب معادلة متوسط سرعة التفاعل

عوض عن الزمن والتركيز الابتدائيين والنهائيين

احسب الناتج بوحدة  $\text{mol/L.s}$

#### 3 تقويم الإجابة

متوسط سرعة التفاعل  $0.0300 \text{ mol/L.s}$ ، 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

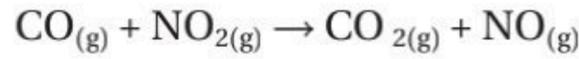
1. احسب متوسط سرعة التفاعل معبراً عنه بعدد مولات H<sub>2</sub> المستهلكة لكل لتر في كل ثانية.
2. احسب متوسط سرعة التفاعل معبراً عنه بعدد مولات Cl<sub>2</sub> المستهلكة لكل لتر في كل ثانية.
3. تحفيزاً إذا علمت أن متوسط سرعة التفاعل لحمض الهيدروكلوريك HCl الناتج هو 0.050 mol /L.s، فما تركيز HCl الذي يتكون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

### نظرية التصادم Collision Theory

في التفاعل الكيميائي؛ يجب أن تتصادم 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 تتصادم جزيئات المواد المتفاعلة معاً لتكوين جزيئات AB. لذا يوضح هذا الشكل **نظرية التصادم** التي تنص على وجوب تصادم الذرات والأيونات والجزيئات بعضها ببعض لكي يتم التفاعل.

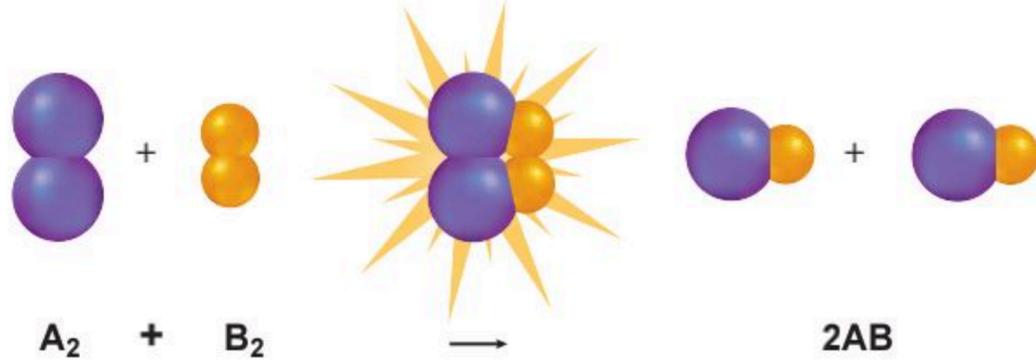
✓ **ماذا قرأت؟ توقع لماذا يجب حدوث اصطدامات بين الجسيمات لحدوث التفاعل.**

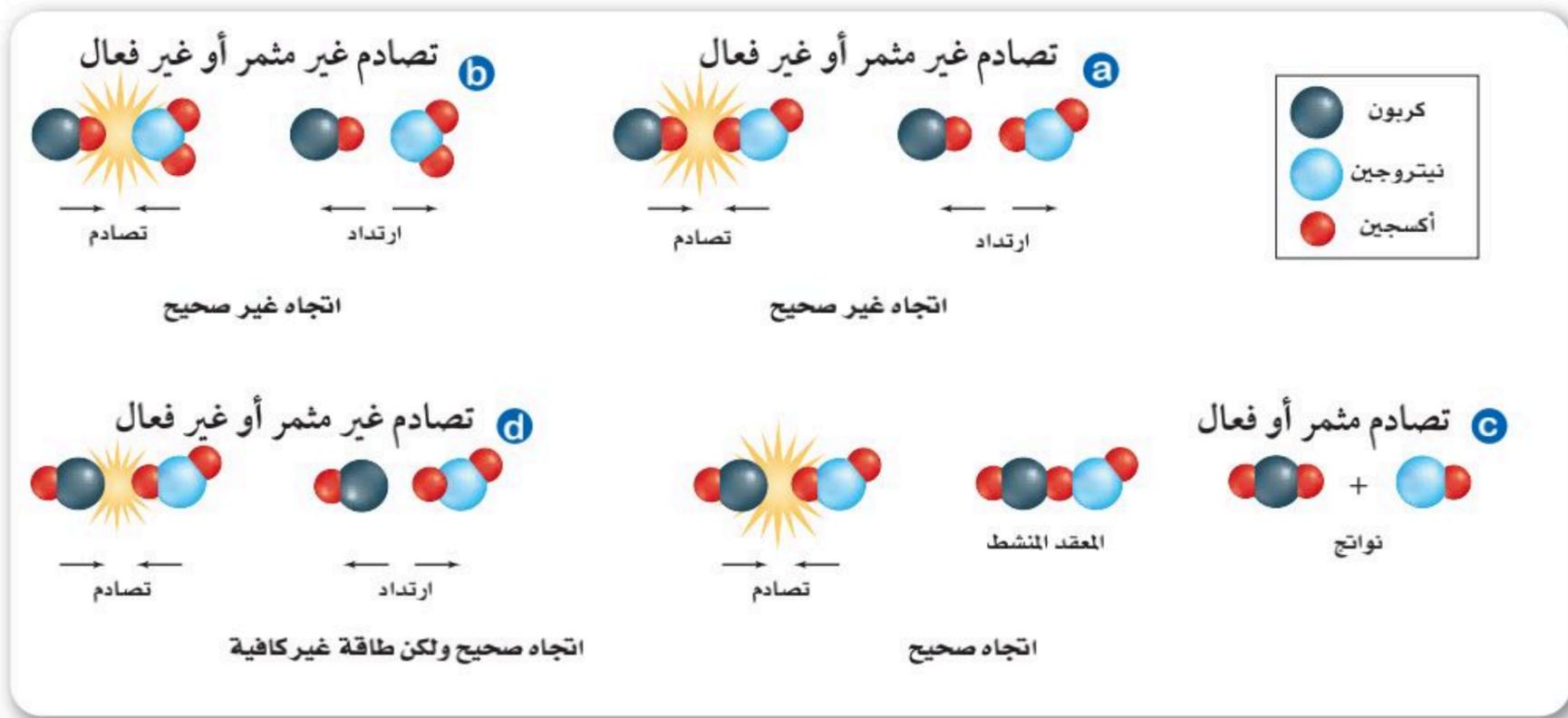
لاحظ تفاعل غاز أول أكسيد الكربون CO مع غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO<sub>2</sub> الذي يحدث عند درجة حرارة أعلى من 500 K والموضح بالمعادلة:



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.





**الشكل 3-4** يبين الشكل أربعة احتمالات مختلفة لاتجاهات التصادم بين جزيئات CO و NO<sub>2</sub>. لا تؤدي الاصطدامات في كل من الحالتين a و b إلى حدوث تفاعل؛ لأن الجزيئات لا تستطيع تكوين روابط. أما تصادم الجزيئات في الحالة c فهو في اتجاه مناسب لحدوث التفاعل. وعلى الرغم من أن تصادم الجزيئات في d في الاتجاه المناسب، إلا أن طاقتها غير كافية لحدوث تفاعل.

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 لتكوين رابطة مؤقتة. أما الاصطدامات الموضحة في الشكلين 3-4a و 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، وتسمى هذه المرحلة الحالة الانتقالية، وهي حالة غير مستقرة من تجمع الذرات، يحدث خلالها تكسير الروابط وتكوين روابط جديدة. ونتيجة لذلك قد يؤدي المعقد المنشط إلى تكوين المواد الناتجة، أو يتكسر لتكوين المواد المتفاعلة مرة أخرى.

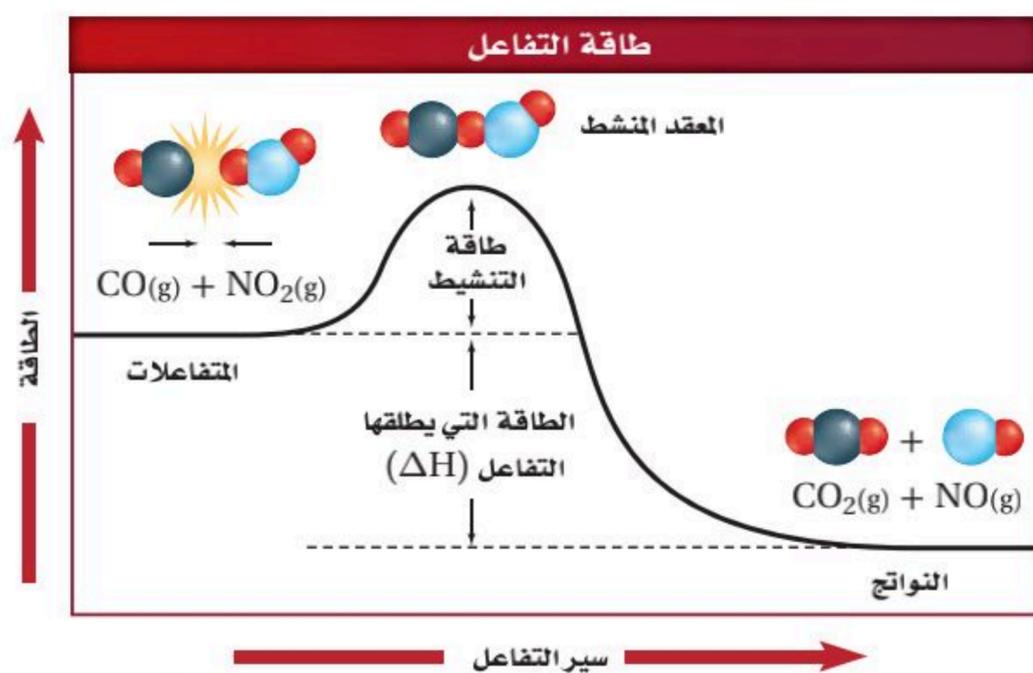
**طاقة التنشيط وسرعة التفاعل** لا يؤدي التصادم في الشكل 3-4d إلى تفاعل لعدم توافر طاقة كافية لحدوث التفاعل، لذلك لا يحدث تفاعل بين جزيئات CO و NO<sub>2</sub> ما لم تتصادم بقوة كافية. ويسمى الحد الأدنى من الطاقة لدى الجزيئات المتفاعلة واللازم لتكوين المعقد المنشط وإحداث التفاعل **طاقة التنشيط** (E<sub>a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



الجدول 3-1	فروض نظرية التصادم	شروط التصادم الفعال أو المثمر
1.	يجب أن تصادم (ذرات أو أيونات أو جزيئات) المواد المتفاعلة.	1. يجب أن تصادم المواد المتفاعلة في الاتجاه الصحيح.
2.	ليس من الضروري أن يؤدي كل تصادم بين الذرات أو الأيونات أو الجزيئات إلى حدوث تفاعل.	2. يجب أن تصادم المواد المتفاعلة بطاقة كافية لتكوين المعقد المنشط.

يلخص الجدول 3-1 الظروف الواجب توافرها لحدوث التفاعل. فعندما تكون قيمة  $E_a$  عالية فهذا يعني أن عددًا قليلاً من الاصطدامات له طاقة كافية لتكوين المعقد المنشط، ولذا تكون سرعة التفاعل بطيئة. أما إذا كانت قيمة  $E_a$  منخفضة فهذا يعني أن هناك عددًا 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.

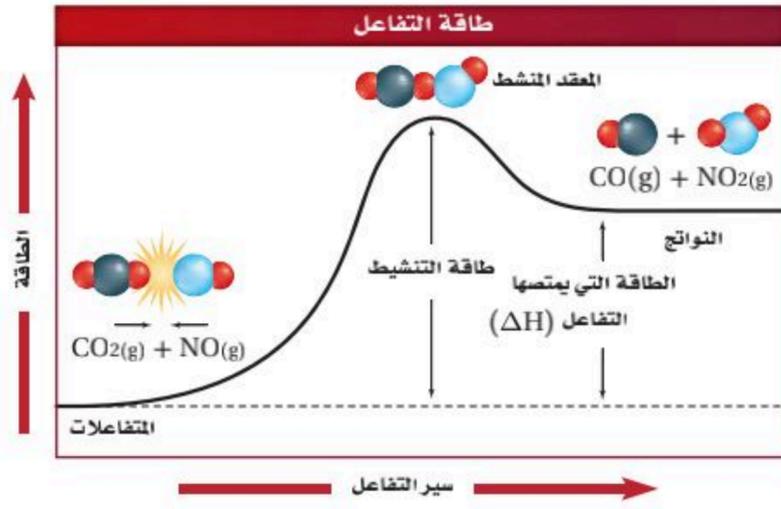
يبين الشكل 3-5 مخطط الطاقة لتفاعل أول أكسيد الكربون مع ثاني أكسيد النيتروجين. هل يختلف مخطط الطاقة هذا عما تعلمته سابقاً في فصل الطاقة والتغيرات الكيميائية؟ ولماذا؟ يبين هذا المخطط طاقة التنشيط للتفاعل التي تعد حاجزاً أمام حدوث التفاعل. لذلك يجب أن تتغلب المواد المتفاعلة عليه لتكون مواد ناتجة. وفي هذه الحالة تصادم 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.



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.

### اختبار الرسم البياني

فسر كيف يمكنك أن تعرف من خلال الرسم ما إذا كان التفاعل طارداً للحرارة.



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

### اختبار الرسم البياني

قارن بين طاقتي التنشيط، للتفاعلين الأمامي والعكسي؟

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

[N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ]	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

كيف تتغير سرعة التحلل خلال الزمن؟ يتحلل مركب خامس أكسيد ثنائي 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 بقيمة موجبة، وبوحدة mol /L.s من  $\text{N}_2\text{O}_5$ .

- أحسب متوسط سرعة التفاعل خلال كل فترة زمنية بعدد مولات  $\text{NO}_2$  الناتجة لكل لتر في الدقيقة (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 بمعدل التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن.
- غالبًا ما تحسب سرعة التفاعل الكيميائي معبرًا عنها بوحدة  $\text{mol/L}\cdot\text{s}$ .
- لا بد من تصادم الجسيمات لحدوث التفاعل.

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



## 3-2

### 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 الكيميائي Factors Affecting Reaction Rates

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

**الربط مع الحياة** ترى، ما سرعة انتشار النار في غابة إذا كانت أشجارها متباعدة 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 ليكون 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 ليكون 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، 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 المعادلات الكيميائية الموزونة التي تمثل التفاعلات الظاهرة في الشكل.**

**الشكل 8-3** 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.



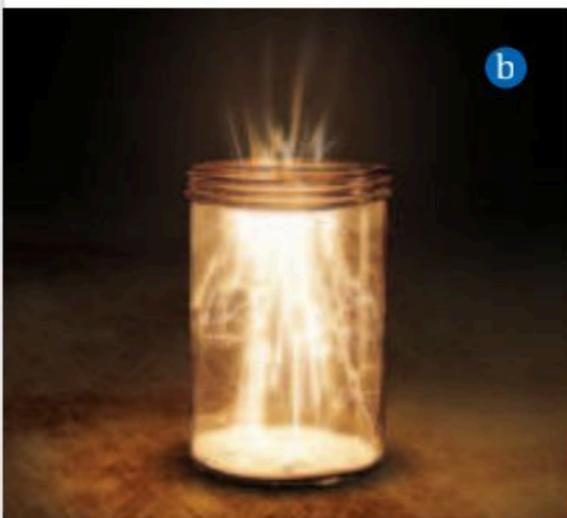
تحترق الشمعة بسرعة أكبر؛ لأن الوعاء يحتوي على أكسجين تركيزه 100% تقريباً.



يبلغ تركيز الأكسجين في الهواء حول الشمعة 20% تقريباً.

### المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.



**الشكل 9-3** توفر مساحة سطح سلك تنظيف الأواني المعدنية الكبيرة عددًا 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 تتصادم 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 يزداد عدد الاصطدامات. والشيء نفسه صحيح في التفاعلات 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 لزيادة 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 التفاعلات الموضحة في الشكل 8-3، حيث تحترق الشمعتان. 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؟ بالاعتماد 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 9-3 فستلاحظ أن المسامير الساخن يتوهج عند وجود الأكسجين، كما في الشكل 9a-3، بينما تشتعل كتلة سلك تنظيف الأواني المعدنية بشدة في الشكل 9b-3؛ 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 3-10 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 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 3-10، 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.

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

تجربة  
عملية

سرعة التفاعل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة  
عين الإثرائية



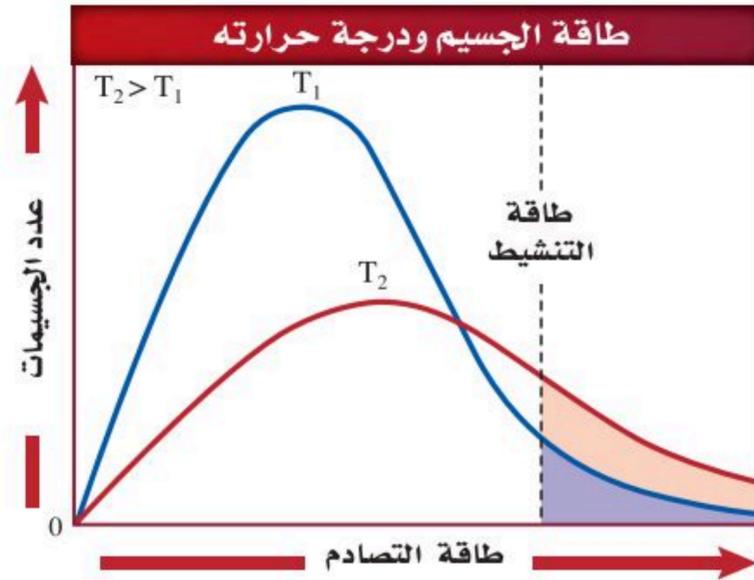
تجربة  
عملية

مساحة السطح وسرعة التفاعل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة  
عين الإثرائية



الشكل 3-10 يؤدي الارتفاع في درجة الحرارة إلى زيادة الطاقة الحركية للجسيمات، وبالتالي زيادة عدد الجسيمات التي تمتلك طاقة التنشيط، وهذا يؤدي إلى زيادة عدد الاصطدامات وزيادة سرعة التفاعل. إضافة إلى ذلك فإن للكثير من الاصطدامات طاقة كافية للتغلب على طاقة التنشيط، لذا تؤدي إلى التفاعل.



## تجربة

### دراسة العلاقة بين سرعة التفاعل ودرجة الحرارة

ما تأثير درجة الحرارة في التفاعل الكيميائي؟

#### خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
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 ( $25^{\circ}\text{C}$  تقريباً) في كأس زجاجية سعتها 250 mL. استعمل مقياس حرارة لقياس درجة حرارة الماء.
4. ضع قطعة القرص الفوّار في الماء، وسجل الوقت لحظة ملامستها للماء، ولحظة ذوبانها تماماً، باستعمال ساعة إيقاف أو ساعة يد بها عقرب ثوان.
5. كرر الخطوات 3 و 4، لكن في هذه المرة سخّن الماء تدريجياً على سخّان كهربائي حتى تصل درجة حرارته إلى  $50^{\circ}\text{C}$ .

وحافظ على درجة حرارة الماء عند هذه الدرجة طوال وقت التفاعل.

#### التحليل

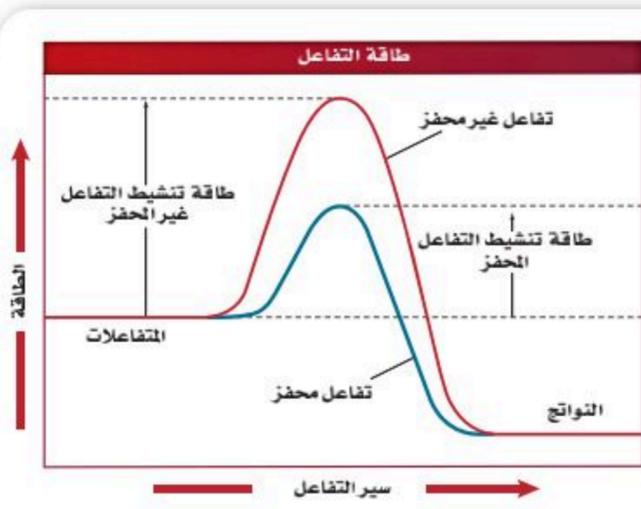
1. حدد الكتلة الابتدائية، والكتلة النهائية، والزمن الابتدائي  $t_1$  والزمن النهائي  $t_2$  لكل محاولة.
2. احسب سرعة التفاعل من خلال إيجاد كتلة المادة المتفاعلة المستهلكة لكل محاولة في الثانية الواحدة.
3. صف العلاقة بين سرعة التفاعل ودرجة الحرارة لهذا التفاعل.
4. توقع سرعة التفاعل لو تم إجراؤه عند درجة حرارة  $40^{\circ}\text{C}$ ، وفسر الأسس التي اعتمدت عليها في توقعك. وللتأكد من توقعك كرر التجربة عند  $40^{\circ}\text{C}$  باستعمال قطعة أخرى من القرص الفوّار.
5. قوّم مدى دقة وصحة توقعك لسرعة التفاعل عند  $40^{\circ}\text{C}$ ، مقارنة بالقيمة المقیسة 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 نوعان 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 تُستهلك في التفاعل. وتستعمل المحفّزات على نطاق واسع في الصناعات الكيميائية لإنتاج كمية أكبر من المنتج بسرعة كبيرة، مما يقلل من تكلفته. ولكن لا يزيد المحفّز 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 للمحفّز الذي يزيد سرعة التفاعل، تعمل المثبّطات على إبطاء سرعة التفاعل. كما تحوّل بعض المثبّطات دون حدوث التفاعل على الإطلاق.



**الشكل 11-3** 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.

### اختبار الرسم البياني

حدّد من الرسم كيف أثر استعمال العامل المحفز في الطاقة المنطلقة من التفاعل؟



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

يبين الرسم البياني في الشكل 11-3 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 12-3. 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، لذا 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 بعض المواد الحافظة آمنة للأكل، وتعطي فترة صلاحية أطول للغذاء.

## التقويم 2-3

### الخلاصة

12. **الفكرة الرئيسية** وضح سبب سرعة تفاعل فلز الماغنسيوم مع حمض الهيدروكلوريك HCl مقارنة بالحديد.
13. فسّر تأثير التركيز في سرعة التفاعل حسب نظرية التصادم.
14. قارن 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 الرئيسة التي تؤثر في سرعة التفاعل طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ومساحة السطح، والحرارة، والمحفزات.
- تؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة سرعة التفاعل؛ وذلك بزيادة عدد الاصطدامات التي تشكل المعقد المنشط.
- تزيد المحفزات من سرعة التفاعل الكيميائي بتقليل طاقة التنشيط.



### 3-3

#### 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 الكيميائي

### 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 انهار المطر تزداد سرعة جريان الماء فوق سطح الأرض. وبالطريقة نفسها، عندما يزداد الكيمياء تركيز المواد المتفاعلة تزداد سرعة التفاعل.

#### كتابة قوانين سرعة التفاعلات Writing Reaction Rate Laws

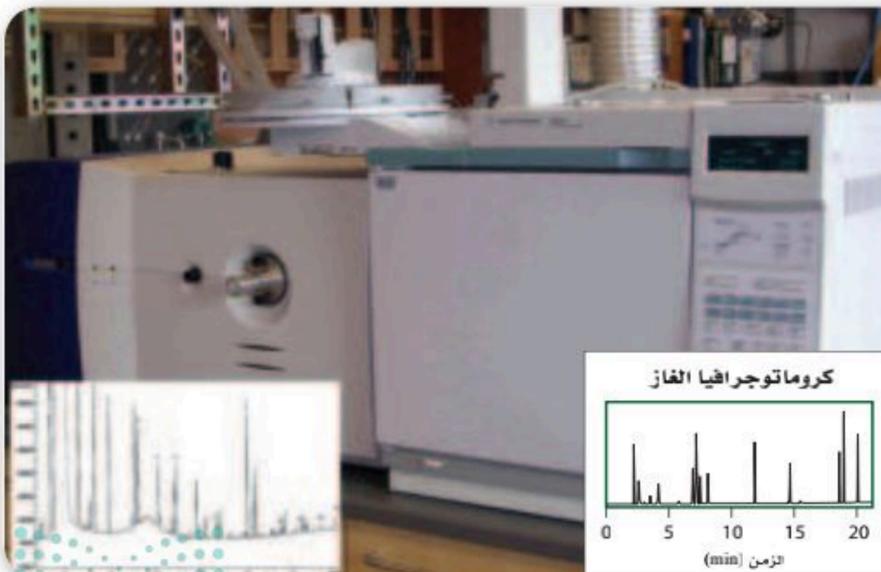
تعلمت من قبل كيفية حساب متوسط السرعة للتفاعل الكيميائي. وكلمة (متوسط rate) مهمة؛ لأن معظم التفاعلات الكيميائية تتناقص سرعتها عند استهلاك المواد المتفاعلة، ويقل عدد الجسيمات المتوافرة للتصادم. لقد وضع الكيميائيون نتائج نظرية التصادم في معادلة سميت **قانون سرعة التفاعل**، وهو يعبر عن العلاقة بين سرعة التفاعل 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 بتعرف مكوناتها، ثم فصل بعضها عن بعض.

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  $R = k[A]$  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:  $R = k [H_2O_2]$ .

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 بنفسه في تركيز  $H_2O_2$ . فإذا انخفض تركيز  $H_2O_2$  إلى النصف فإن سرعة التفاعل ستخضع 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 3-14 كيف تتغير سرعة التفاعل الابتدائية لتحلل  $H_2O_2$  مع التغير في تركيز  $H_2O_2$ .

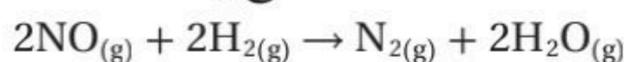
**ماذا قرأت؟ استنتج** إذا كانت رتبة المادة المتفاعلة في تفاعل كيميائي من الرتبة الأولى، فكيف تتغير سرعة التفاعل إذا تضاعف تركيز المادة المتفاعلة ثلاثة أضعاف؟

**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:

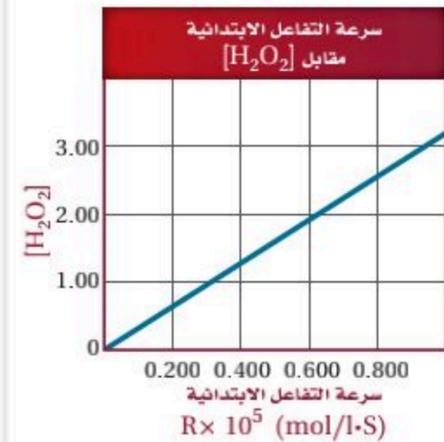
**القانون العام لسرعة التفاعل**  
 $R = k[A]^m[B]^n$   
 حيث [A] و [B] يمثلان تراكيز المواد المتفاعلة، و m و n يمثلان رتب التفاعل.

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، وتكون 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 NO والهيدروجين  $H_2$ ، الموضح في المعادلة الآتية:



**الشكل 3-14** يبين الرسم البياني العلاقة المباشرة بين تركيز  $H_2O_2$  وسرعة التحلل.



**اختبار الرسم البياني**

طبق استعمل الرسم لتحديد سرعة التفاعل عندما  $[H_2O_2] = 1.5 \text{ mol/L}$ .

يحدث هذا التفاعل في أكثر من خطوة، لذا فإن قانون سرعة التفاعل له يكون:  $R = k [H_2] [NO]^2$  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  $[H_2]$  مرة واحدة فإن السرعة تتضاعف مرة واحدة.

يوصف التفاعل بأنه من الرتبة الثانية في NO، ومن الرتبة الأولى في  $H_2$ ، وبذلك يكون التفاعل من الرتبة الثالثة. فالرتبة الكلية للتفاعل هي مجموع الرتب لكل مادة متفاعلة (مجموع الأسس)، الذي هو  $(2 + 1 = 3)$ .

✓ **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 الآتي (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 2-3. 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 2-3، 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 مع بقاء تركيز المادة A ثابتاً، 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 عموماً من الرتبة الثالثة (مجموع الأسس  $2 + 1 = 3$ ).

بيانات السرعات الابتدائية للتفاعل نواتج $aA + bB \rightarrow$			الجدول 2-3
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 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. تحفيز 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. **وضح** 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. **فسر** 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:  $aA + bB \rightarrow$  نواتج
- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعة التفاعل الكيميائي عند درجة حرارة وتركيز محددتين 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. فالقشعريرة أو الارتجاف عملية تنتج عن تقلصات سريعة للعضلات نتيجة التفاعلات الكيميائية التي تطلق الطاقة الحرارية. كما يبدأ الجسم أيضاً بإجراءات 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 تسمى أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP). وعند الحاجة إلى الطاقة يتحول ATP إلى أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) ومجموعة الفوسفات ( $\text{P}_i$ )، وتحرر طاقة.

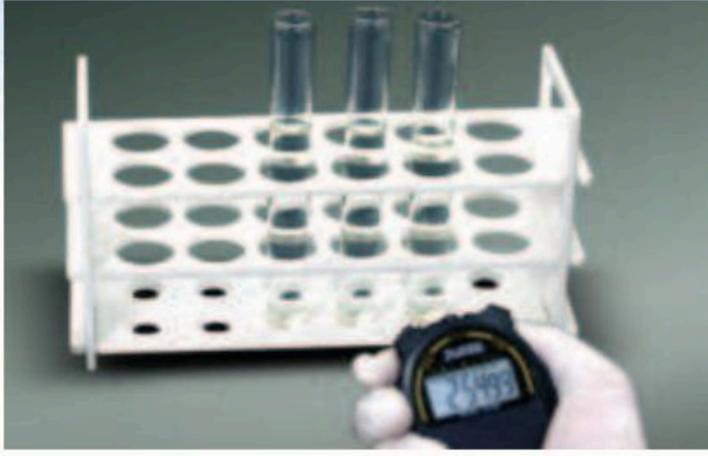


تتطلب مثل هذه التفاعلات إنزيمات خاصة لكي تنظم سرعتها. والإنزيمات بروتينات محفزة تكون أكثر كفاءة ضمن درجة حرارة جسم الإنسان الطبيعية. لا يمكن أن تحدث مثل هذه التفاعلات بسرعة تلبى احتياجات الجسم دون مساعدة الإنزيمات ودرجة حرارة قريبة من  $37^{\circ}\text{C}$ . أما خارج نطاق هذه الحرارة، فتصبح سرعة التفاعل 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 الكيميائي

**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

وأضف إليها 5 mL من الماء المقطر، وحرك المزيج، ليصبح تركيز المحلول 0.75 M HCl.

6. اسحب 5 mL من حمض HCl الذي تركيزه 0.75 M من أنبوب الاختبار رقم 4، ثم خففها 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 بحسب توجيهات المعلم. ثم أعد الأدوات المختبرية جميعها إلى أماكنها.

### التحليل والاستنتاج

1. **الرسم البياني** ارسم منحنى بيانياً يمثل تركيز الحمض (على محور السينات)، وزمن التفاعل (على محور الصادات).

2. **استنتج** 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.

### الاستقصاء

**صمم تجربة** اعتماداً على مشاهداتك والنتائج التي

حصلت عليها، هل يؤثر التغير في درجة الحرارة في

سرعة التفاعل؟ صمم تجربة لاختبار فرضيتك.

ماصة مدرجة سعتها 10 mL مائة ماصة

ماء مقطر حامل أنابيب اختبار

شريط ماغنسيوم ورق صفرة

مقص مسطرة بلاستيكية

ملاقط ساعة إيقاف

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 العيون؛ فهو مادة كاوية.

### خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.

2. استعمل الماصة المدرجة البلاستيكية لسحب 10 mL من حمض الهيدروكلوريك HCl الذي تركيزه 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 3.0 M HCl.

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 1.5 M HCl.

5. اسحب 5 mL من محلول حمض HCl الذي تركيزه 1.5 M من أنبوب الاختبار رقم 3، وضعها في أنبوب الاختبار رقم 4.

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

### 3-1 نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي

#### الفكرة الرئيسية

هي المفاتيح لفهم الاختلاف في سرعة التفاعلات.

- الأفكار الرئيسية**
- يعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي بسرعة استهلاك المواد المتفاعلة أو سرعة تكوّن المواد الناتجة.
  - متوسط سرعة التفاعل =  $\frac{\text{التغير في كمية المادة المتفاعلة أو الناتجة}}{\text{التغير في الزمن } \Delta t}$
  - تحسب سرعة التفاعل عموماً ويعبر عنها بوحدة mol/L.s.
  - لا بد من تصادم الجسيمات لحدوث التفاعل.

#### المفردات

- سرعة التفاعل الكيميائي
- نظرية التصادم
- المعقد المنشط
- طاقة التنشيط

### 3-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

#### الفكرة الرئيسية

تؤثر عوامل كثيرة في سرعة التفاعل الكيميائي، ومنها: 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.

#### المفردات

- المحفزات
- المثبطات

### 3-3 قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

#### الفكرة الرئيسية

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

- الأفكار الرئيسية**
- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعة التفاعل الكيميائي عند درجة حرارة وتركيز محددتين للمواد المتفاعلة قانون سرعة التفاعل.
  - يحدد قانون سرعة التفاعل تجريبياً باستخدام طريقة مقارنة السرعات الابتدائية.

$$R = k [A]$$

$$R = k[A]^m[B]^n$$

#### المفردات

- 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. طبق نظرية التصادم لتفسير السبب في عدم تفاعل مادتين مع بعضهما البعض؟

## إتقان حل المسائل

35. يتفاعل الماغنسيوم مع حمض الهيدروكلوريك بحسب المعادلة:
- $$\text{Mg}_{(s)} + 2\text{HCl}_{(aq)} \rightarrow \text{H}_{2(g)} + \text{MgCl}_{2(aq)}$$
- إذا كانت كتلة Mg تساوي 6 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. طبق نظرية التصادم لتفسير سبب زيادة سرعة التفاعل بزيادة تركيز المادة 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 طبق نظرية التصادم لتفسير فساد الطعام ببطء عند وضعه في الثلاجة بالمقارنة ببقائه خارجها عند درجة حرارة الغرفة.
42. طبق 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 الأكسجين بسرعة أكبر عند إضافة ثاني أكسيد المنجنيز. اشرح دور ثاني أكسيد المنجنيز في هذا التفاعل إذا علمت أنه لا يُستهلك في التفاعل.

## إتقان حل المسائل

44. لنفترض أن كمية كبيرة من محلول فوق أكسيد الهيدروجين الذي تركيزه 3% قد تحللت لإنتاج 12 mL من غاز الأكسجين خلال 100 ثانية عند درجة حرارة 298 K. قدر كمية غاز الأكسجين التي تنتج عن مقدار مماثل من المحلول في 100 ثانية وعند درجة حرارة 308 K.
45. استعمل المعلومات في السؤال 44 لتقدير كمية غاز الأكسجين التي تنتج عن كمية مماثلة من المحلول خلال 100 ثانية وعند درجة حرارة 318 K، ثم قدر الزمن اللازم لإنتاج 12 mL من غاز الأكسجين عند درجة حرارة 288 K.

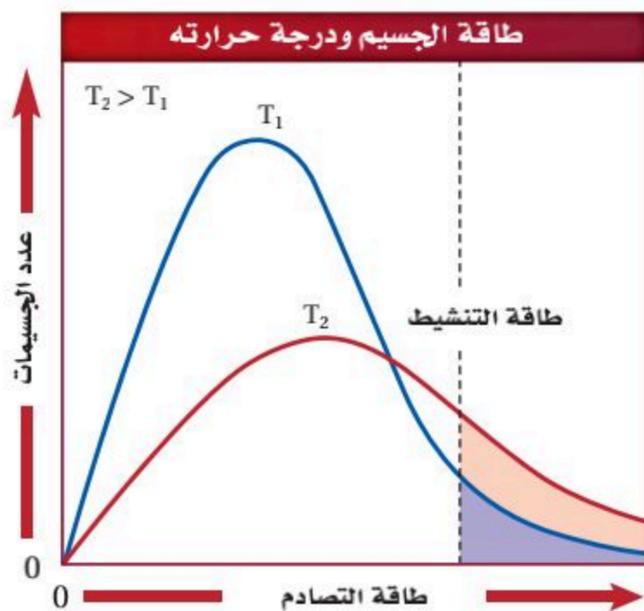


## مراجعة عامة

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 درجتَي 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

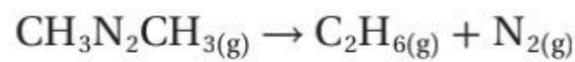
## 3-3

## 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 للمادة المتفاعلة A، فكيف تتغير سرعة التفاعل إذا انخفض تركيز المادة A إلى النصف وبقيت جميع الظروف الأخرى ثابتة؟

## إتقان حل المسائل

48. تم الحصول على البيانات التجريبية المدرجة في الجدول 3-3 من تحليل مركب الأزوميثان  $CH_3N_2CH_3$  عند درجة حرارة محددة حسب المعادلة:



- استعمل البيانات الواردة في الجدول 3-3 لتحديد قانون سرعة التفاعل.

## الجدول 3-3 تحليل مادة الأزوميثان

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 تحفيز

61. الهيدروكربونات يتحول البروبان الحلقي  $C_3H_6$  عند تسخينه إلى بروبين  $CH_2 = CHCH_3$ . فإذا علمت أن سرعة التفاعل من الرتبة الأولى للبروبان الحلقي، وكان ثابت السرعة عند درجة حرارة معينة  $6.22 \times 10^{-4} s^{-1}$ ، فما 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 يجب 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؟

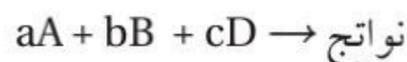
56. تأمل مخطط الطاقة لتفاعل ماص للطاقة، مكوّن من خطوة واحدة، ثم قارن ارتفاع طاقة التنشيط للتفاعل الأمامي والتفاعل العكسي.

57. طبق طريقة مقارنة السرعات الابتدائية لتحديد رتبة التفاعل الكيميائي 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 يوضحان أن الزيادة في درجة حرارة التفاعل بمقدار  $10 \text{ K}$  تؤدي غالباً إلى مضاعفة سرعة التفاعل.

59. ارسم مخططاً 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 الآتية، مبتدئاً 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 فعّال 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 3-4 انخفاض تركيز الفينولفثالين مع مرور الزمن عند إضافة محلول الفينولفثالين ذا التركيز 0.0050 M إلى محلول مركز من مادة قاعدية تركيزها 0.6 M .

الجدول 3-4 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 s معبراً عنه بوحدته  $\text{mol}/(\text{L}\cdot\text{s})$ ؟

67. ما متوسط سرعة تفاعل الفينولفثالين عندما ينخفض تركيزه من 0.0050 M إلى 0.00015 M ؟

## أسئلة الاختيار من متعدد

1. جميع العبارات الآتية 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 الآتية:

العبارة الأولى: من العوامل التي تؤثر في سرعة التفاعل طبيعة المادة المتفاعلة، والتركيز، ومساحة سطح التفاعل، ودرجة الحرارة، والمحفزات.

العبارة الثانية: تزيد المحفزات من سرعة التفاعلات بزيادة طاقة التنشيط

العبارة 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

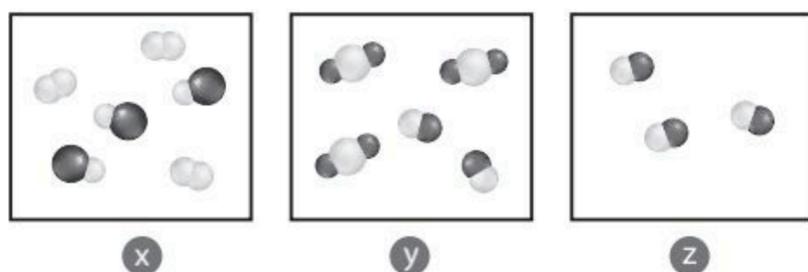
4. أي الوحدات لا تستعمل للتعبير عن سرعة التفاعل؟

- 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

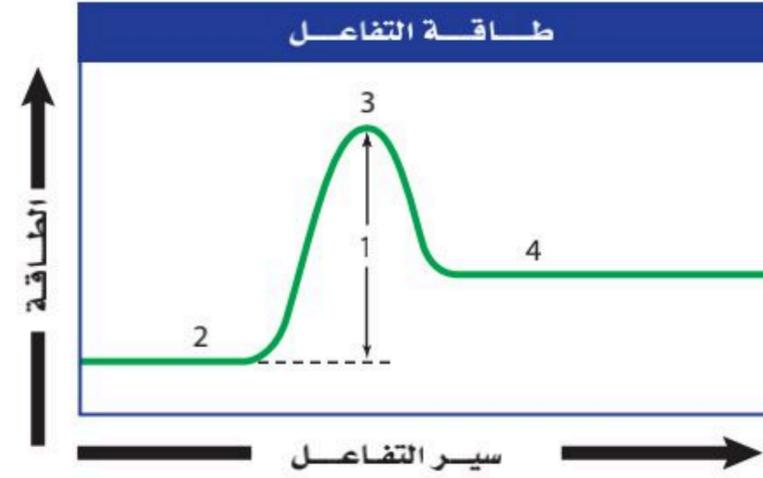
7. أي العينات تحتوي على جزيئات فلوريد الماغنسيوم؟

- a. x
- b. y
- c. z
- d. كل من x و y



## أسئلة الإجابات القصيرة

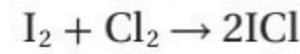
8. افترض أن قانون السرعة العام هو:  $R = [A][B]^3$ .  
ما رتبة التفاعل لكل من المادة A والمادة B؟ وما رتبة التفاعل الكلية؟



9. بين الشكل أعلاه منحنى طاقة تفاعل. إلام يشير كل رقم من الأرقام المبينة في الرسم؟
10. المعادلة  $R = K[A]$  تصف سرعة تفاعل من الرتبة الأولى. إذا تضاعف تركيز المادة المتفاعلة A فماذا 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 فاحسب متوسط سرعة التفاعل بوحدة mol / L.min.

**الفكرة العامة** يصل الكثير من التفاعلات إلى حالة من الاتزان الكيميائي؛ حيث تتكون كل من المواد المتفاعلة والناججة بسرعات متساوية.

#### 1-4 حالة الاتزان الديناميكي

**الفكرة الرئيسية** يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان، الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناججة.

#### 2-4 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

**الفكرة الرئيسية** عندما تطرأ تغيرات في نظام متزن يزاح إلى موضع اتزان جديد.

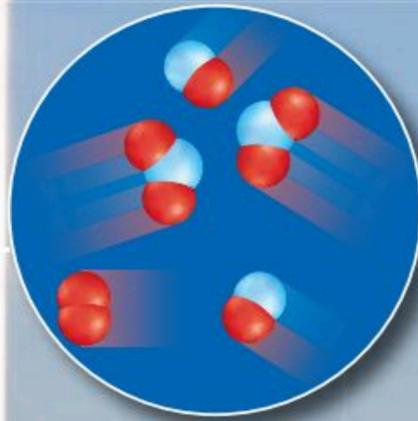
#### 3-4 استعمال ثوابت الاتزان

**الفكرة الرئيسية** يمكن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حساب تراكيز المواد في التفاعل وذوبانيتها.

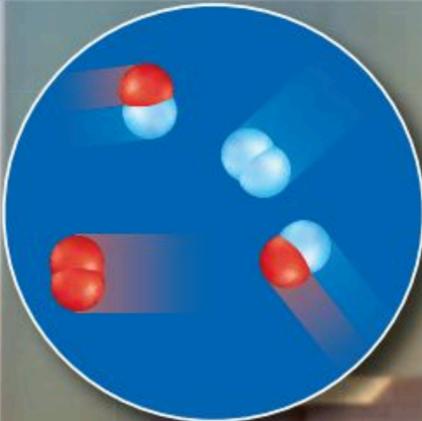
### حقائق كيميائية

- يتسبب استعمال السيارات في تلويث الهواء أكثر من أي نشاط إنساني آخر.
- لقد أسهمت المحولات المحفزة والتغيرات الناجمة عن إضافة بعض المواد إلى الجازولين في جعل السيارات أنظف 40% مما كانت عليه قبل عقد من الزمن.

من مكونات الضباب الدخاني:  $\text{NO}_2$   
 $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$



من الغازات التي تخرج من عادم المحرك:  $\text{NO}$   
 $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}$



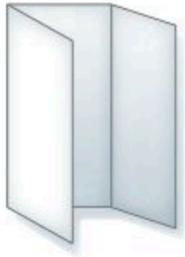
## نشاطات تمهيدية

التغيرات المؤثرة في  
الاتزان قم بعمل المطوية  
الآتية لمساعدتك على تنظيم  
المعلومات عن العوامل  
المؤثرة في الاتزان

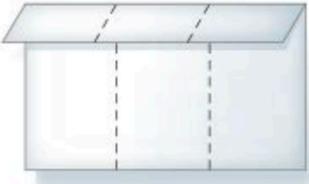
### المطويات

منظمات الأفكار

الخطوة 1 اطو ورقة إلى  
ثلاثة أقسام أفقيًا.



الخطوة 2 افتح الورقة  
ثم اطو الجزء العلوي إلى  
أسفل 2 cm.



الخطوة 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 استعمال هذه المطوية في القسم 2-4،  
ولخص ما تعلمته عن تأثير التغيرات في اتزان النظام،  
مستعملًا المعادلات.

## تجربة استهلالية

ما التساوي في الاتزان؟

الاتزان هو نقطة توازن تلغي عندها التغيرات المتعارضة بعضها  
بعضًا.



### خطوات العمل

1. املاً بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. قس 20 mL من الماء في مخبر مدرج وأفرغها في كأس  
زجاجية مدرجة سعتها 100 mL، ثم املاً المخبر المدرج  
بالماء إلى 20 mL، وأضف ثلاث نقاط من ملون الطعام إلى  
الماء في كل من الكأس والمخبر المدرج.
3. أحضر ماصتين مفتوحتي الطرفين لهما القطر نفسه.
4. بمساعدة زميلك، اغمر أحد الماصتين في الماء الملون في  
الكأس، والأخرى في الماء الملون في المخبر المدرج، وعند  
ارتفاع الماء الملون في الماصتين يغلق كل منكما الطرف  
العلوي للماصة بسبابته، وينقل محتوياته إلى الوعاء الآخر.
5. كرر عملية النقل 25 مرة، وسجل ملاحظاتك.

### التحليل

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 ماصات أو  
أنابيب زجاجية لها أقطار مختلفة؟ فسر ذلك.



## 4-1

### 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

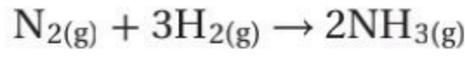
**الفكرة الرئيسية** يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان، الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والنتيجة.

**الربط مع الحياة** لعلك شاهدت شد الحبل بين فريقين. قد يبدو في بعض الأحيان وكأن الفريقين لا يسحب كلاً منهما الآخر؛ لأن الحبل بينهما 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 الاستهلالية 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 باستعمال طريقة هابر:

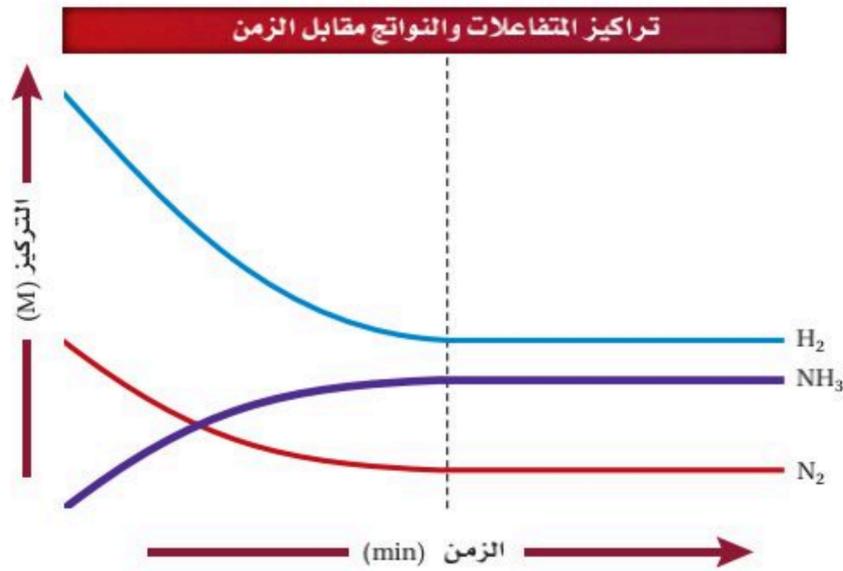


للأمونيا أهمية كبيرة في الزراعة؛ حيث تستعمل سماً ومادة إضافية في أطعمة الحيوانات. وفي الصناعة تمثل الأمونيا مادة خاماً في صناعة الكثير من المنتجات، ومنها النايلون، كما يظهر في الشكل 4-1.

يحدث تفاعل تحضير الأمونيا تلقائياً في الظروف القياسية (درجة حرارة 298 K، وضغط جوي 1 atm)، ولكن التفاعلات التلقائية ليست دائماً 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** تتفاعل الأمونيا مع نهايتي جزيء مكون من 6 ذرات كربون، لتكون 1، 6 - ثنائي أمينوهكسان. تمثل هذه إحدى خطوات تكوّن بوليمر النايلون. وتُظهر الصورة لف ألياف النايلون على ملفات حيث تستعمل في صناعة الإطارات.



الشكل 2-4 يتناقص تركيز المواد المتفاعلة  $H_2$  ،  $N_2$  في البداية، في حين يزداد تركيز الناتج  $NH_3$ ، بحيث لا تستهلك المتفاعلات تماماً وتصبح 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

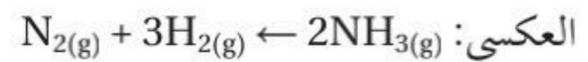
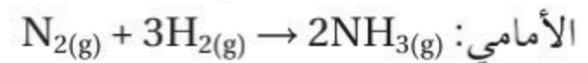
هو التغيير من شكل أو وظيفة إلى أخرى.  
حولت الغرفة الزائدة في منزلنا إلى مكتب.

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 والهيدروجين تلقائياً. يوضح الشكل 2-4 سير التفاعل. لاحظ أن تركيز الأمونيا  $NH_3$  الناتجة يساوي صفراً في البداية، ويزداد مع الوقت، وأن المتفاعلات  $H_2$  و  $N_2$  تستهلك في أثناء التفاعل، لذلك يقل تركيزها تدريجياً. وبعد مرور فترة من الزمن لا تتغير تراكيز  $H_2$  و  $N_2$  و  $NH_3$  (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 صفراً، 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؟

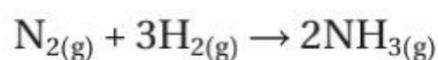
**التفاعلات العكسية والاتزان الكيميائي** عندما تتحول المتفاعلات كاملة إلى نواتج يصف العلماء التفاعل بأنه مكتمل. إلا أن معظم التفاعلات لا تكتمل، بل تظهر وكأنها توقفت. التفاعل العكسي هو التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الاتجاهين الأمامي والعكسي.



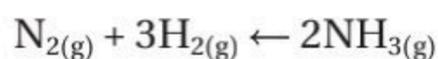
يدمج الكيميائيون المعادلتين في معادلة واحدة يستعمل فيها السهم الثنائي ليشير إلى اتجاهي التفاعلين الحادتين.  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

تكون المتفاعلات للتفاعل الأمامي في 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.

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.



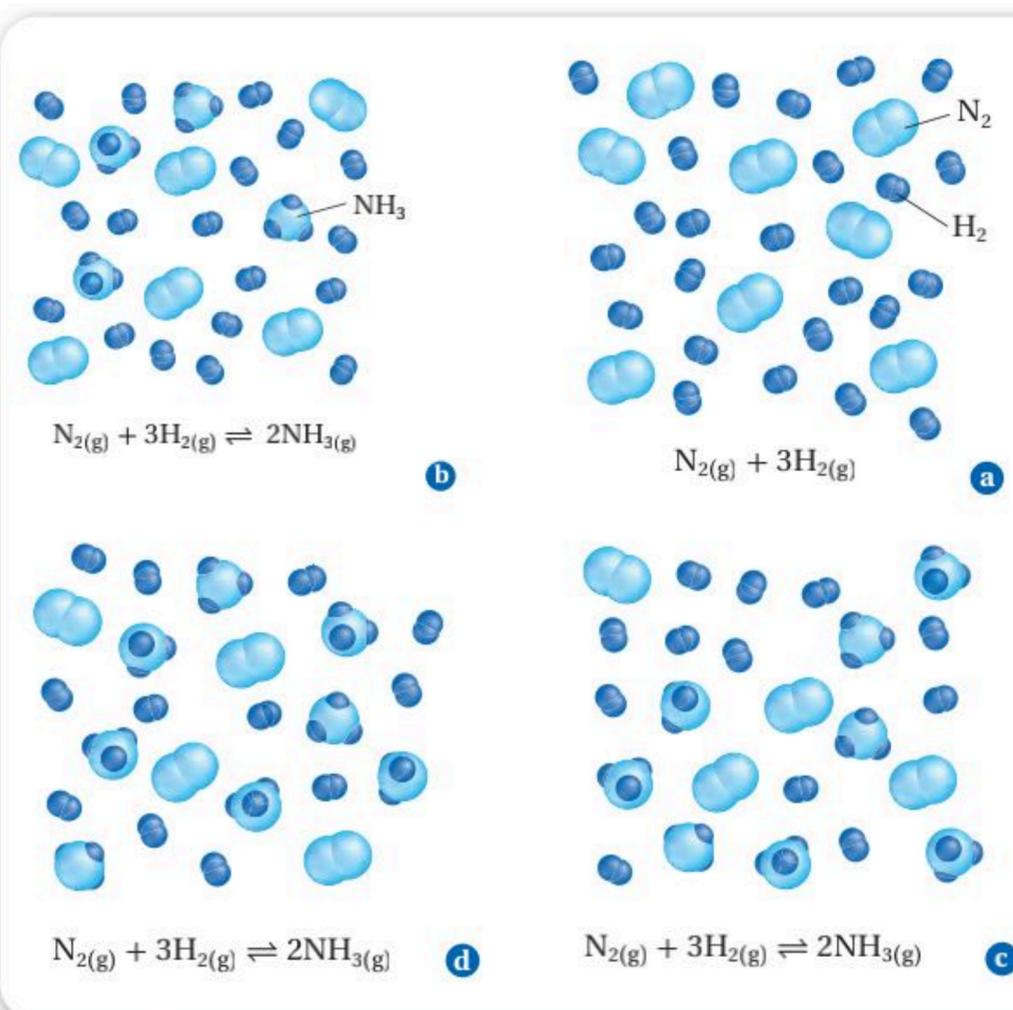
يقل تركيز كل من الهيدروجين والنيتروجين في أثناء اتحادهما لتكوين الأمونيا، كما هو موضح في الشكل 3b-4. وتذكر مما درست سابقاً أن سرعة التفاعل الكيميائي تعتمد على تراكيز المتفاعلات؛ إذ يسبب نقص تراكيز المتفاعلات إبطاء سرعة التفاعل الأمامي. وفي هذا التفاعل، بمجرد أن تنتج الأمونيا يحدث التفاعل العكسي ببطء، ثم تزداد سرعته مع زيادة تركيزها.



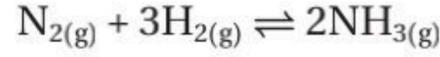
وفي أثناء سير التفاعل تستمر سرعة التفاعل الأمامي في النقصان، وتستمر سرعة التفاعل العكسي في الزيادة حتى تتساوى السرعتان. عند هذه النقطة تتكون الأمونيا بالسرعة نفسها التي تتحلل بها، لذلك تبقى تراكيز  $\text{N}_2$  و  $\text{H}_2$  و  $\text{NH}_3$  ثابتة كما هو موضح في الشكلين 3c-4 و 3d-4، ويكون النظام عندها قد وصل إلى حالة الاتزان.

ولذا يعرف **الاتزان الكيميائي** بأنه حالة النظام عندما تتساوى سرعتا التفاعل الأمامي والعكسي، وعندها تثبت تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة.

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 والناجثة ثابتة، كما يظهر في الشكلين 3c-4 و 4-3d لكن هذا لا يعني أن كميات أو تراكيز المتفاعلات والنواتج متساوية؛ فهذه الحالة نادرة الحدوث، بل تكون سرعة تكون النواتج مساوية لسرعة تكون المتفاعلات.

✓ **ماذا قرأت؟** فسر معنى السهم المزدوج في المعادلات الكيميائية.

### 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 صفراً، فلا يتحرك الحبل، ويوصف النظام بأنه في حالة اتزان. وبالمثل، في الشكل 4-4a فالأشخاص الذين يلعبون لعبة التوازن (السيسو) يمثلون نظاماً متزاناً؛ إذ تسمى القوى المتماثلة والمتعاكسة على لعبة التوازن (السيسو) القوى 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).

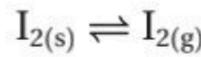
b: تسبب القوى غير المتوازنة في الجهة اليسرى في تغير موقع لعبة التوازن (السيسو).

**وضح** كيف تشبه لعبة التوازن (السيسو) الاتزان الكيميائي؟



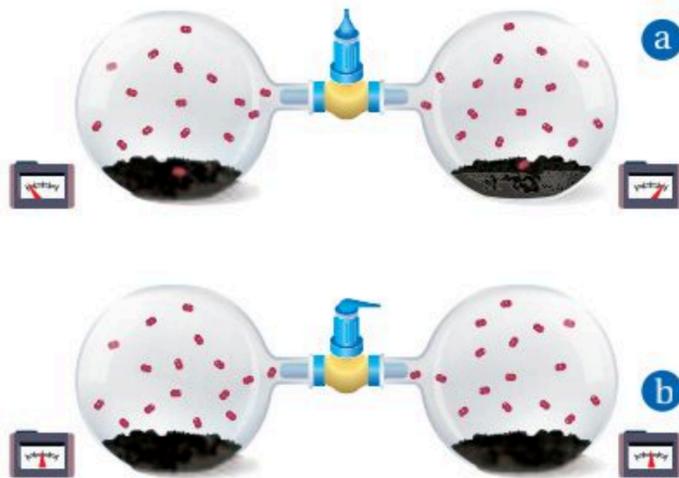
**الشكل 4-5** افترض أن عددًا معينًا من الأشخاص محصورون في مبنيين متصلين بممر يسمح للناس بالعبور ذهابًا وإيابًا بينهما. إن عدد الأشخاص في كل مبنى يبقى ثابتًا إذا كان عدد الأشخاص الذين يعبرون الممر في أحد الاتجاهين مساويًا لعدد الأشخاص الذين يعبرون في الاتجاه المعاكس. **حدد هل يكون الأشخاص أنفسهم موجودين دائمًا 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، لذا لا يمكن لأي من المتفاعلات أو النواتج أن تدخل أو تخرج من الدورق. فعند درجة حرارة 298 K وضغط 1 atm يحدث 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 4-6b، 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 بحسب 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 فترة من الزمن توضح قراءات عدادات الإشعاع وجود جزيئات مشعة في كلا الدورقين. لقد تحركت الجسيمات ذهابًا وإيابًا بين الدورقين وبين الحالتين الصلبة والغازية.

**خواص الاتزان** لعلك لاحظت خواص معينة للتفاعلات الكيميائية التي تصل إلى حالة الاتزان .

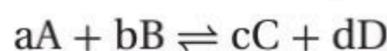
أولاً: يجب أن يتم التفاعل في نظام مغلق، أي لا يخرج من النظام أو يدخله أي من النواتج أو المتفاعلات. ثانياً: يجب أن تبقى درجة الحرارة ثابتة.

ثالثاً: توجد النواتج والمتفاعلات معاً، وهي في حركة ديناميكية ثابتة، وهذا يعني أن الاتزان ديناميكي، وليس ساكناً.

### تعبير 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 بحسب 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** قدم وطور الكيميائيان النرويجيان كاتو ماكسمليان جولدبرج 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 يأتي:



إذا تم تطبيق قانون الاتزان الكيميائي على المعادلة نحصل على النسبة الآتية:

#### تعبير ثابت الاتزان

$$K_{eq} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

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

يمثل ثابت الاتزان نسبة التراكيز المولارية للنواتج إلى التراكيز المولارية للمتفاعلات. ويرفع كل تركيز إلى أس يساوي المعامل الخاص به في المعادلة الموزونة.

**ثابت الاتزان**  $K_{eq}$  هو القيمة العددية لنسبة حاصل ضرب تراكيز النواتج على حاصل ضرب تراكيز المتفاعلات، ويرفع كل تركيز إلى أس مساو للمعامل الخاص به في المعادلة الموزونة. وتكون قيمة  $K_{eq}$  ثابتة عند درجة حرارة معينة فقط.

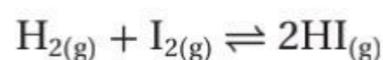
كيف يمكن تفسير قيمة ثابت الاتزان؟ تعلم أن قيمة الكسر الذي بسطه أكبر من مقامه تكون أكبر من 1. وتكون قيمة الكسر الذي بسطه أقل من مقامه أقل من 1. على سبيل المثال، قارن بين الكسرين  $\frac{5}{1}$  و  $\frac{1}{5}$ . فالخمس أكبر من الخمس. ولأن تراكيز النواتج

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.

**تعابير 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.

$$\frac{[HI]}{[H_2][I_2]}$$

يصبح هذا التعبير مساوياً لثابت الاتزان  $K_{eq}$ ، عندما نضيف المعاملات بوصفها أسساً من المعادلة الكيميائية الموزونة

$$K_{eq} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$

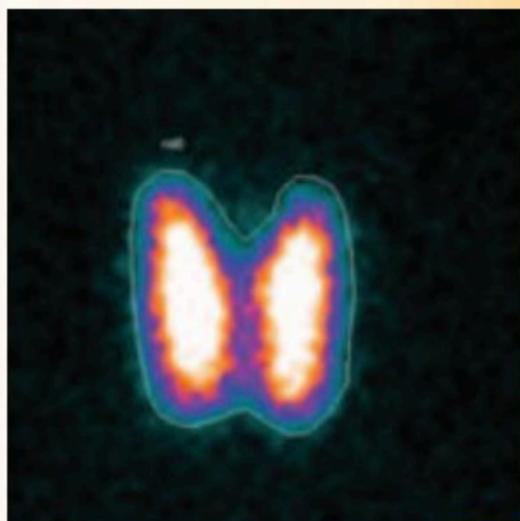
ثابت الاتزان لهذا التفاعل يساوي 49.7 عند درجة حرارة 731 K. لاحظ أن 49.7 ليست لها وحدة. من المعتاد حذف الوحدات عند كتابة تعابير ثابت الاتزان.



**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.

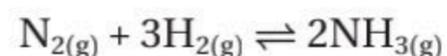
## الكيمياء في واقع الحياة

### 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.

تعبير ثابت الاتزان للتفاعلات المتجانسة تنتج ملايين الأطنان من الأمونيا  $\text{NH}_3$  لاستعمالها في صناعة الأسمدة 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:



### 1 تحليل المسألة

توفر معادلة التفاعل المعلومات المطلوبة لكتابة تعبير ثابت الاتزان. وهذا الاتزان متجانس؛ لأن المتفاعلات والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها.

### المعطيات

### المطلوب

$$1 = \text{N}_2, [A] = [\text{N}_2] \quad \text{معامل } \text{N}_2 = 1$$

$$3 = \text{H}_2, [B] = [\text{H}_2] \quad \text{معامل } \text{H}_2 = 3$$

$$2 = \text{NH}_3, [C] = [\text{NH}_3] \quad \text{معامل } \text{NH}_3 = 2$$

### 2 حساب المطلوب

$$A = \text{N}_2, B = \text{H}_2, C = \text{NH}_3 \quad \text{عوض}$$

$$a = 1, b = 3, c = 2 \quad \text{عوض}$$

### 3 تقويم الإجابة

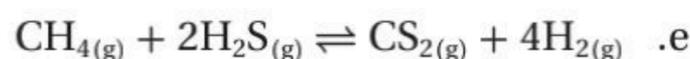
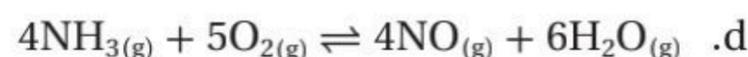
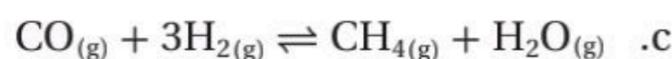
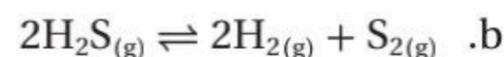
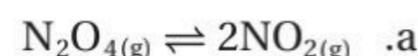
تراكيز النواتج في البسط وتراكيز المتفاعلات في المقام. ترفع التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها.

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{NH}_3]^c}{[\text{N}_2]^a[\text{H}_2]^b}$$

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$$

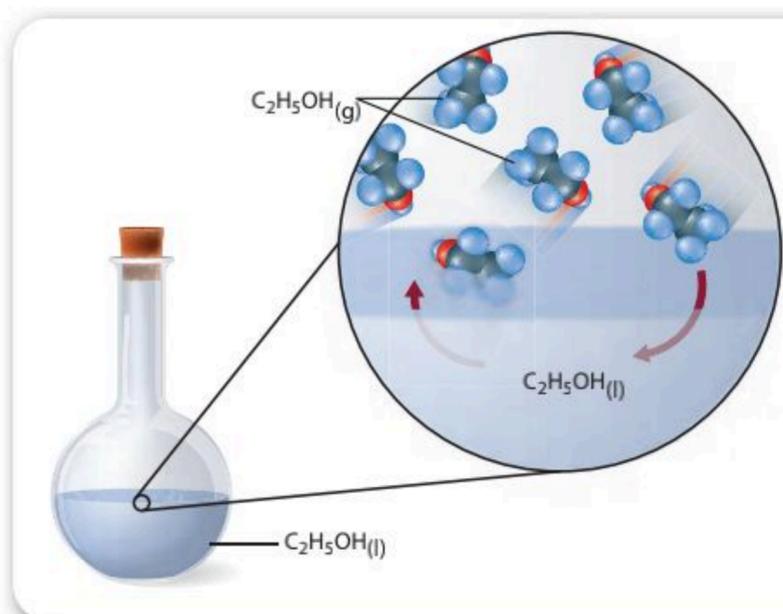
### مسائل تدريبية

1. اكتب تعابير ثابت الاتزان للمعادلات الآتية:



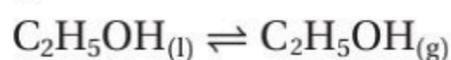
2. تحفيز اكتب المعادلة الكيميائية التي تمثل تعبير ثابت الاتزان الآتي:

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{CO}]^2[\text{O}_2]}{[\text{CO}_2]^2}$$



**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 تركيز المادة الناتجة إلى تركيز المادة المتفاعلة. وفي درجة حرارة معينة تكون قيمة النسبة ثابتة  $K$ .

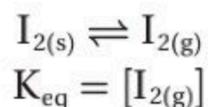
$$K = \frac{[C_2H_5OH(g)]}{[C_2H_5OH(l)]}$$

لاحظ أن المقام في القانون 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 السائل  $C_2H_5OH(l)$  صغيرة أو كبيرة فإن تركيزه يبقى ثابتاً. لذلك فإن القيمة الموجودة في المقام ثابتة، ويمكن دمجها مع  $K$  لتعطي  $K_{eq}$ .

$$K[C_2H_5OH(l)] = [C_2H_5OH(g)] = K_{eq}$$

ويمكن كتابة تعبير ثابت الاتزان لهذا التغيير في الحالة الفيزيائية للإيثانول على النحو الآتي:  $K_{eq} = [C_2H_5OH(g)]$

المواد الصلبة مواد نقية بتركيبة 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.

### مهتم في الكيمياء

**كاتب علمي** لنقل المعلومات العلمية للقارئ غير العلمي، يجب أن يكون لدى 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 أيضاً من المكونات الرئيسة في بعض معاجين الأسنان.

**تعبير ثابت الاتزان غير المتجانس** تستعمل صودا الخبز (كربونات الصوديوم الهيدروجينية) في الخبز، ومضاداً للحموضة، وفي التنظيف، كما أنها توضع في أوعية مفتوحة في الثلاجات لإبقاء الجو منعشاً، 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

$$1 = \text{معاملها} , [\text{Na}_2\text{CO}_3] = [\text{C}]$$

$$1 = \text{معاملها} , [\text{CO}_2] = [\text{D}]$$

$$1 = \text{معاملها} , [\text{H}_2\text{O}] = [\text{E}]$$

$$2 = \text{معاملها} , [\text{NaHCO}_3] = [\text{A}]$$

### المطلوب

تعبير ثابت الاتزان = ؟

### 2 حساب المطلوب

كّون نسبة تراكيز النواتج إلى تراكيز المتفاعلات.

ضع التعبير العام لثابت الاتزان

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{C}]^c[\text{D}]^d[\text{E}]^e}{[\text{A}]^a[\text{B}]^b}$$

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{Na}_2\text{CO}_3]^c[\text{CO}_2]^d[\text{H}_2\text{O}]^e}{[\text{NaHCO}_3]^a}$$

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{Na}_2\text{CO}_3]^1[\text{CO}_2]^1[\text{H}_2\text{O}]^1}{[\text{NaHCO}_3]^2}$$

$$K_{\text{eq}} = [\text{CO}_2][\text{H}_2\text{O}]$$

$$\text{عوض } \text{D} = \text{CO}_2 \quad \text{A} = \text{NaHCO}_3$$

$$\text{C} = \text{Na}_2\text{CO}_3 \quad \text{E} = \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{عوض } a = 2, c = 1, d = 1, e = 1$$

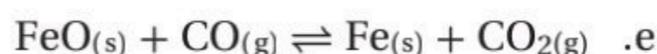
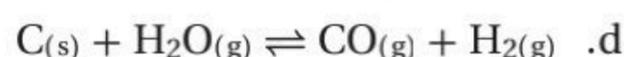
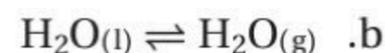
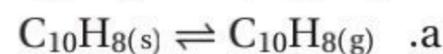
قم بإزالة المواد الصلبة

### 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:

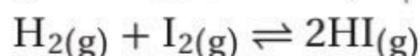


4. **تحفيز** يتفاعل الحديد الصلب مع غاز الكلور لتكوين كلوريد الحديد III  $\text{FeCl}_3$ .

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:



ويلخص 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 كان HI موجوداً. أما في المحاولة 3 فكان لكل مادة من المواد الثلاث التركيز الابتدائي نفسه. وقد أجريت 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 بتراكيز المواد عند الاتزان في تعبير 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 مواضع 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. لاحظ أن قيمة ثابت الاتزان ثابتة في التجارب الثلاث، بحيث تعطي كل تجربة موضع اتزان مختلف. 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. وتعني القيمة الصغيرة لـ  $K_{eq}$  أن كمية أكسيد النيتروجين NO الناتجة عملياً تكون شبه معدومة عند 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



ماذا قرأت؟ فسر لماذا يعد من المهم وجود المتفاعلات والنواتج معاً في الاتزان؟

### مثال 3-4

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

$$K_{eq} = \frac{[0.933]^2}{[0.533][1.600]^3} = 0.399$$

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. تحفيز 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 أن 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.
- يعبر عن حالة الاتزان بثابت الاتزان وهو نسبة حاصل ضرب التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى حاصل ضرب 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





## 4-2

### الأهداف

- تصف العوامل المتعددة التي تؤثر في الاتزان الكيميائي.
- تفسر كيف يطبق مبدأ لوتشاتليه 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 لوتشاتليه

## العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

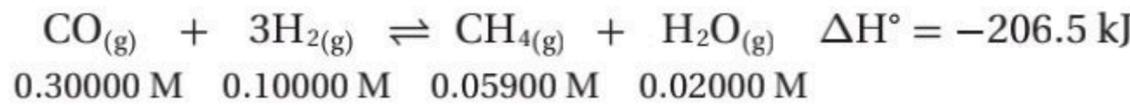
### Factors Affecting Chemical Equilibrium

**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. أما 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 لوتشاتليه 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.



$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.05900)(0.02000)}{(0.30000)(0.10000)^3} = 3.933$$

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 يركض على آلة المشي، كما في الشكل 4-10، فإذا زاد العداء سرعة الآلة فإن عليه زيادة سرعته للعودة إلى حالة الاتزان.



**الشكل 4-10** 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 مطويتك.

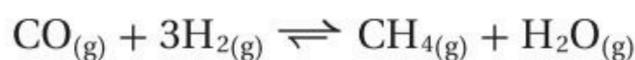
في عام 1888م اكتشف العالم الفرنسي هنري لويس لوتشاتيليه Le chatelier أن هناك طرائق للتحكم في الاتزان لجعل التفاعل أكثر إنتاجاً. وقد طرح ما يسمى الآن مبدأ لوتشاتيليه: إذا بُذل جهد على نظام في حالة اتزان فإن ذلك يؤدي إلى إزاحة النظام في اتجاهٍ يخفف أثر هذا الجهد. والجهد هو أي تغيير يؤثر في اتزان نظام معين.

### تطبيق مبدأ لوتشاتيليه Applying Le Châtelier's Principle

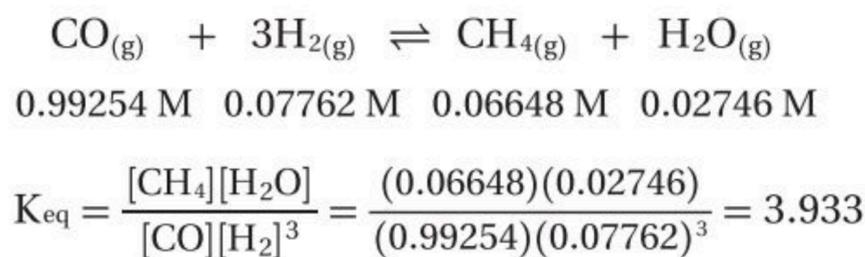
كيف يمكن للكيميائي الصناعي تطبيق مبدأ لوتشاتيليه لزيادة إنتاج الميثان؟ إنه يحتاج إلى تعديل أي من العوامل التي من شأنها أن تؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو النواتج في التفاعل.

**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. إذن من الممكن أن يغير الكيميائي الاتزان بتغيير التراكيز.

**إضافة مواد متفاعلة** إذا أضيفت كمية من أول أكسيد الكربون إلى وعاء التفاعل وزادت تركيزه من 0.300 M إلى 1.00 M، 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، تقل سرعة 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 حتى يصل التفاعل إلى موضع اتزان جديد (موضع 2).



لاحظ أن قيمة K<sub>eq</sub> لا تتغير، وأن موضع الاتزان الجديد قد حقق النتائج المرجوة، حيث زاد تركيز الميثان. ويبين الجدول 4-2 ملخصاً لنتائج هذه التجربة.

هل كان يمكنك توقع هذه النتيجة باستعمال مبدأ لوتشاتيليه؟ نعم، يعتبر مبدأ لوتشاتيليه زيادة تركيز CO جهداً مبذولاً على الاتزان، فيستجيب نظام الاتزان لهذا الجهد باستهلاك CO بسرعة أكبر. وتسمى هذه الاستجابة إزاحةً 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 4-2
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

تجربة عملية

التفاعلات الانعكاسية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإشرافية





**الشكل 4-11** يعرف التاجر المواد الموجودة في متجره كل حين، ولذلك عندما يقل المخزون فإنه يعوّضه.

**فسر هذا التشبيه في ضوء مبدأ لوتشاتلييه.**

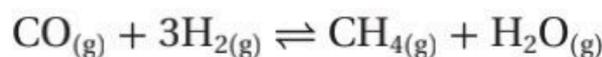
**إزالة النواتج** افترض أنه بدل زيادة أي من المتفاعلات قرر الكيميائي إزالة الماء  $H_2O$  الناتج عن التفاعل بإضافة مجفف - مادة تمتص الماء - إلى وعاء التفاعل. وفق مبدأ لوتشاتلييه ماذا يمكن أن يحدث للاتزان استجابة لنقصان تركيز الماء؟ سوف تتم إزاحة الاتزان نحو الاتجاه الذي يزيد من تركيز الماء مرة أخرى. وهذا يعني إزاحة الاتزان نحو اليمين وتكوين المزيد من النواتج.

فكر كيف تبقى رفوف المتاجر مملوءة بالمنتجات، كما في الشكل 4-11. عندما يشتري الزبائن المواد فإن أحد الموظفين يعوض تناقص المنتجات على الرفوف. وبشكل مشابه يعيد تفاعل الاتزان الماء الذي تمت إزالته؛ حيث يزيد إنتاج الماء لتعويض النقص. 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 اليسار. لتتوقع أثر جهد ما على الاتزان باستعمال مبدأ لوتشاتلييه، ارجع إلى معادلة التفاعل. يلخص الشكل 4-12 تأثير تغيير التراكيز في الاتزان.

**ماذا قرأت؟** صف اتجاه الاتزان عند إزالة مادة متفاعلة.

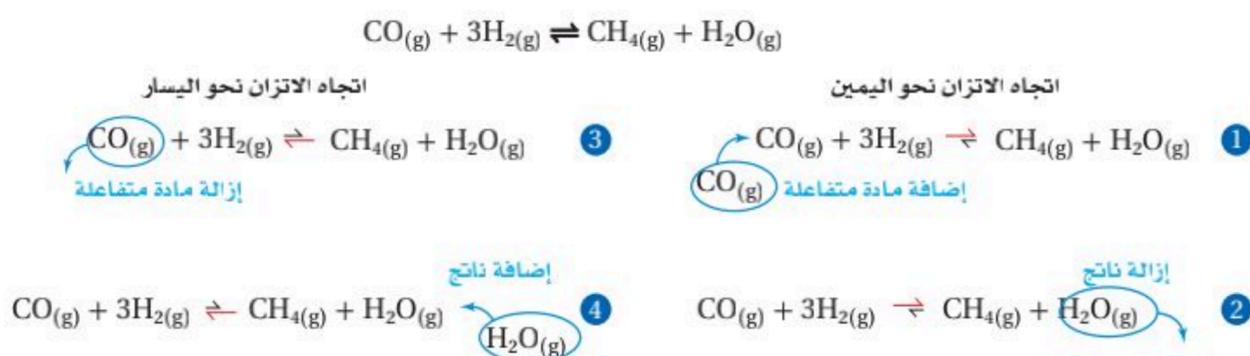
**التغيير في الحجم والضغط** انظر إلى تفاعل تكوين الميثان الموضح بالمعادلة الكيميائية:

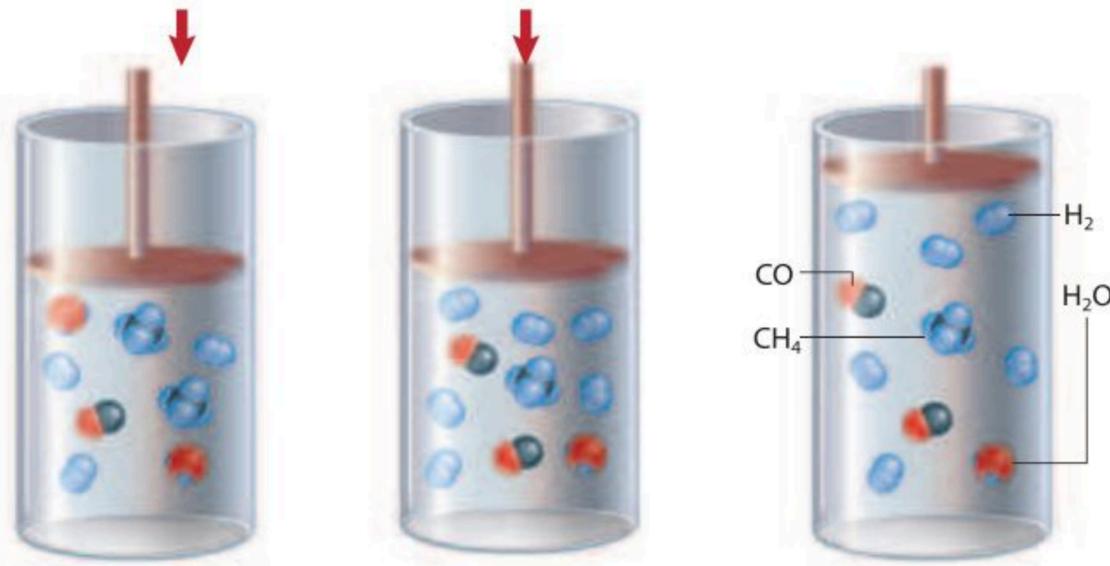


هل يمكن دفع التفاعل لتكوين المزيد من الميثان عن طريق تغيير حجم وعاء التفاعل؟ افترض أن حجم الوعاء يمكن تغييره عن طريق مكبس، كما هو موضح في الشكل 4-13، إذا تم تحريك المكبس إلى أسفل يقل حجم الوعاء. حيث إن تقليل الحجم عند درجة حرارة ثابتة يزيد الضغط. إذن يمثل هذا الضغط الزائد جهداً مبدولاً على التفاعل المتزن. 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 أضيفت كمية من  $H_2$  أو أزيلت كمية من  $CH_4$ .**





يتكون المزيد من جزيئات  
النواتج نتيجة اختلاف حجم  
الوعاء والضغط، مما يخفف  
من الجهد على النظام.

التفاعل بين  $H_2$  و  $CO$   
في حالة اتزان

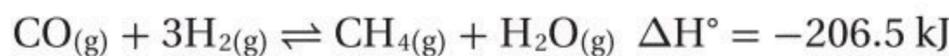
**الشكل 13-4** في التفاعل بين  $H_2$  و  $CO$  عند درجة حرارة ثابتة، فإن تغيير حجم الوعاء يغير تراكيز الغازات المتفاعلة والناتجة، كما تؤدي زيادة الضغط إلى إزاحة الاتزان نحو اليمين، ومن ثم زيادة كمية النواتج.

**قارن** بين عدد جزيئات الناتج في الصورة اليمينية وعددها في الجهة اليسرى.

يعتمد الضغط المبذول بواسطة الغاز المثالي على عدد جسيمات الغاز التي تتصادم 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 مولين. إذا طبقت مبدأ لوتشاتيليه أمكنك ملاحظة أن الاتزان يخفف الجهد الواقع عليه من زيادة الضغط في الاتجاه نحو اليمين حيث عدد المولات الأقل. يوضح الشكل 13-4 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 إذا كان عدد مولات المتفاعلات الغازية يختلف 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 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.

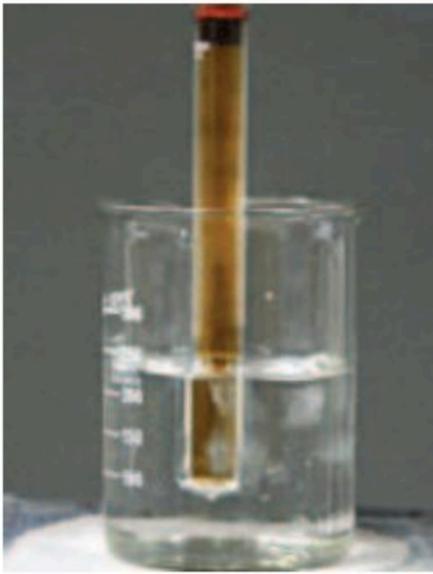


تجربة  
عملية

الاتزان

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة  
عين الإشرافية

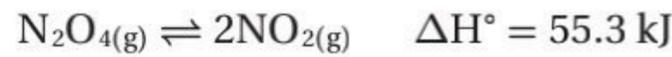




**الشكل 4-14** يزاح الاتزان في اتجاه التفاعل الماص للحرارة نحو اليمين، وهذا من شأنه أن يزيد من إنتاج  $\text{NO}_2$  (لونه بني غامق)، بينما يصبح لون مزيج التفاعل أخف عند وضعه في حمام الماء البارد؛ لأن الاتزان يزاح في اتجاه التفاعل الطارد للحرارة نحو اليسار؛ إذ يزداد تحول  $\text{NO}_2$  إلى  $\text{N}_2\text{O}_4$  الذي لا لون له.

**الحرارة وموضع الاتزان** إذا أضيفت كمية من الحرارة إلى نظام متزن فإن الاتزان - وفقاً لمبدأ لوتشاتيليه - 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 الأمامي ينتج طاقة ويقلل من الجهد، لذا تنتج كمية أكبر من الميثان.

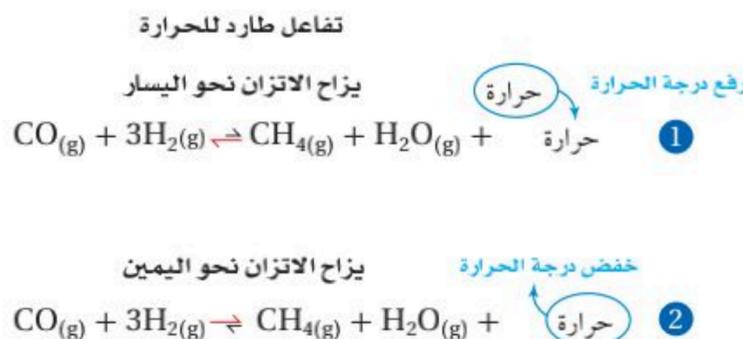
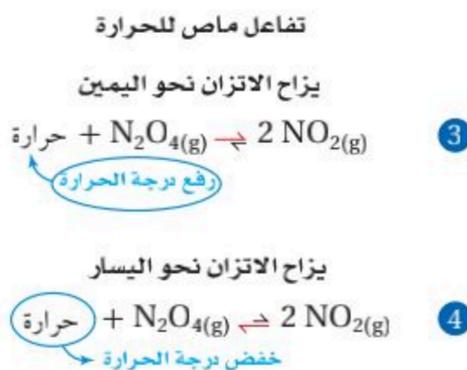
**درجة الحرارة و  $K_{eq}$**  ينتج عن أي تغيير في درجة الحرارة تغيير في  $K_{eq}$ ، وكلما زادت قيمة  $K_{eq}$  كان الناتج في خليط الاتزان أكبر. ولذلك فإنه في تفاعل إنتاج الميثان تزداد  $K_{eq}$  عندما تنخفض درجة الحرارة، وتنخفض قيمة  $K_{eq}$  عند ارتفاع درجة الحرارة. التحول بين رابع أكسيد ثنائي النيتروجين  $\text{N}_2\text{O}_4$  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 بني اللون. 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 بني اللون. يوضح الشكل 15-4 تأثير التسخين والتبريد في التفاعلات التي درستها.

**العوامل المحفزة والاتزان** تختلف كمية النواتج المتكونة في التفاعل عند تغيير 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 تغيير كمية النواتج المتكونة.

**الشكل 4-15** عند رفع درجة حرارة التفاعل الطارد للحرارة بين  $\text{CO}$  و  $\text{H}_2$ ، ينزاح الاتزان نحو اليسار (معادلة 1)، وعند خفض درجة الحرارة ينزاح الاتزان نحو اليمين (معادلة 2)، والعكس صحيح للتفاعل الماص للحرارة بين  $\text{NO}$  و  $\text{N}_2\text{O}_4$  (المعادلتين 3 و4).



# تجربة

## التغير في موضع الاتزان

كيف يعمل الاتزان على تعديل وضعه عند حدوث تغير في حالة الاتزان؟

### الخطوات

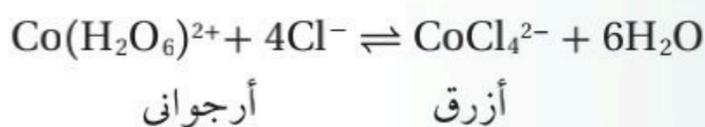
1. املاً بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع حوالي 2 mL من محلول كلوريد الكوبلت  $\text{CoCl}_2 \cdot \text{II}$  الذي تركيزه 0.1M في أنبوب اختبار. سجل لون المحلول.
3. أضف حوالي 3 mL من حمض الهيدروكلوريك HCl المركز إلى أنبوب الاختبار، سجل لون المحلول.  
تحذير: HCl يحرق الجلد والملابس.
4. أضف كمية كافية من الماء إلى أنبوب الاختبار حتى يتغير لون المحلول، وسجل اللون الناتج.
5. أضف قرابة 2 mL من محلول كلوريد الكوبلت II 0.1M إلى أنبوب اختبار آخر. وأضف 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 البنفسجي.

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 الترمومتر غير الزئبقي لقياس درجة الحرارة التي يجب أن تكون  $70^\circ\text{C}$  على الأقل، وسجل لون المحلول.

### التحليل

1. **فسر** استعمل معادلة التفاعل أدناه لتفسير ملاحظاتك حول اللون في الخطوات 2-4.



2. **صف** كيف يزاح الاتزان عند إضافة طاقة أو إزالتها؟
3. **فسر** من ملاحظاتك حول اللون في الخطوات (6 و7) ما إذا كان التفاعل ماصًا للحرارة أم طاردًا للحرارة؟



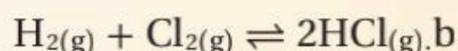
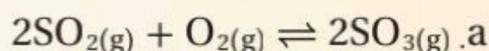
## التقويم 4-2

### الخلاصة

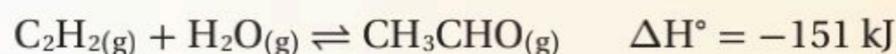
- مبدأ لوتشاتليه يصف كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة إلى تغير التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان، ولكن  $K_{eq}$  يبقى ثابتاً، أما التغير في درجة الحرارة فيغير موضع الاتزان وقيمة  $K_{eq}$ .

13. **الفكرة الرئيسية** فسر كيف يستجيب النظام في حالة الاتزان للجهد؟ 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  $2\text{A} \rightleftharpoons \text{B}$  و  $K_{eq} = 200$ . هل الميزجان 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 لوتشاتليه لزيادة النواتج في نظام اتزان وزيادة المتفاعلات في النظام نفسه.



## 4-3

### الأهداف

- تحدد تراكيز المتفاعلات والنواتج عند الاتزان.
- تحسب ذائبية مركب من ثابت حاصل الذائبية.
- تفسر تأثير الأيون المشترك.

### مراجعة المفردات

**الذائبية:** الكمية القصوى من المذاب التي تذوب في كمية من المذيب عند درجة حرارة وضغط محددتين.

### المفردات الجديدة

ثابت حاصل الذائبية  
الأيون المشترك  
تأثير الأيون المشترك

## استعمال ثوابت الاتزان

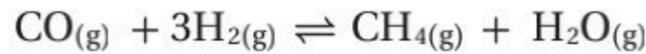
### Using Equilibrium Constants

**الفكرة الرئيسية** يمكن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حساب تراكيز المواد في التفاعل 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 الكمية الناتجة ذات جدوى اقتصادية 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 وجزء كبريت بحسب 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 متفاعلات 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 كلا الطرفين في  $[\text{H}_2\text{S}]^2$  ثم اقسمها على  $[\text{S}_2]$

أوجد الجذر التربيعي

عوض  $K_{\text{eq}} = 2.27 \times 10^{-3}$  و  $[\text{H}_2\text{S}] = 0.184 \text{ mol/L}$

$[\text{S}_2] = 0.0540 \text{ mol/L}$

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  $0.933 \text{ mol/L H}_2$  و  $1.32 \text{ mol/L CH}_3\text{OH}$

**b.**  $[\text{H}_2]$  في خليط اتزان يحتوي على  $1.09 \text{ mol/L CO}$  و  $0.325 \text{ mol/L CH}_3\text{OH}$

**c.**  $[\text{CH}_3\text{OH}]$  في خليط اتزان يحتوي على  $0.0661 \text{ mol/L H}_2$  و  $3.85 \text{ mol/L CO}$

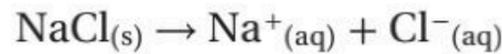
**19. تحفيز** في التفاعل العام  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$  إذا سُمح لـ  $1.0 \text{ mol/L}$  من  $\text{A}$  بالتفاعل مع  $1.0 \text{ mol/L}$  من  $\text{B}$  في دورق حجمه  $1 \text{ L}$  إلى أن يصل إلى حالة اتزان. فإذا كان تركيز  $\text{A}$  عند الاتزان  $0.450 \text{ mol/L}$ ، فما تراكيز المواد الأخرى عند الاتزان؟ وما قيمة  $K_{\text{eq}}$ ؟



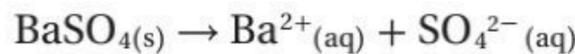
**الشكل 4-17** المياه في البحيرات الكبيرة المالحة أكثر ملوحة من مياه البحر. ويزيد التركيز العالي للملح من كثافة الماء بشكل كافٍ يسمح للناس بالطفو على سطحه.

### ثابت حاصل الذائبية The Solubility Product Constant

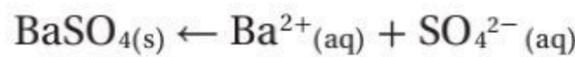
بعض المركبات الأيونية - ومنها كلوريد الصوديوم - يذوب بسرعة في الماء، وبعضها الآخر - ومنها كبريتات الباريوم  $BaSO_4$  - يذوب قليلاً في الماء. عند الذوبان تتفكك جميع المركبات الأيونية إلى أيونات.



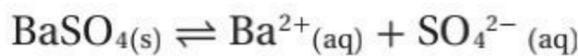
بسبب الذائبية العالية لكلوريد الصوديوم  $NaCl$ ، تحتوي المحيطات وبعض البحيرات على كميات كبيرة من الملح. يوضح الشكل 4-17 كمية كبيرة من ملح الطعام نتجت عن جفاف جزء من مياه إحدى البحيرات. في بعض الأحيان تكون الذائبية المنخفضة مهمة أيضاً؛ فرغم أن أيونات الباريوم مادة سامة للإنسان إلا أنه يجب أن يشرب المرضى 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 الذائبية** يسمى تعبير ثابت الاتزان للمركبات القليلة الذوبان "ثابت حاصل الذائبية"، وهو ناتج ضرب تراكيز الأيونات الذائبة كلٌّ 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 لزجاً 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 الذائبية 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؛ فتركيز 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 الذائبية لمضاد الحموضة هيدروكسيد الماغنسيوم  $Mg(OH)_2$ :



$$K_{sp} = [Mg^{2+}][OH^{-}]^2$$

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. ويعرض الجدول 3-4 ثوابت حاصل الذائبية لنواتج بعض المركبات الأيونية. لاحظ أن جميعها أرقام صغيرة. لذا تقاس ثوابت حاصل الذائبية للنواتج وتسجل للمركبات القليلة الذوبان فقط.

ثوابت حاصل الذائبية عند 298 K				الجدول 3-4	
$K_{sp}$	المركب	$K_{sp}$	المركب	$K_{sp}$	المركب
الهيدروكسيدات		الهاليدات		الكربونات	
$4.6 \times 10^{-33}$	$Al(OH)_3$	$3.5 \times 10^{-11}$	$CaF_2$	$2.6 \times 10^{-9}$	$BaCO_3$
$5.0 \times 10^{-6}$	$Ca(OH)_2$	$6.6 \times 10^{-6}$	$PbBr_2$	$3.4 \times 10^{-9}$	$CaCO_3$
$2.2 \times 10^{-20}$	$Cu(OH)_2$	$1.7 \times 10^{-5}$	$PbCl_2$	$2.5 \times 10^{-10}$	$CuCO_3$
$4.9 \times 10^{-17}$	$Fe(OH)_2$	$3.3 \times 10^{-8}$	$PbF_2$	$7.4 \times 10^{-14}$	$PbCO_3$
$2.8 \times 10^{-39}$	$Fe(OH)_3$	$9.8 \times 10^{-9}$	$PbI_2$	$6.8 \times 10^{-6}$	$MgCO_3$
$5.6 \times 10^{-12}$	$Mg(OH)_2$	$1.8 \times 10^{-10}$	$AgCl$	$8.5 \times 10^{-12}$	$Ag_2CO_3$
$3 \times 10^{-17}$	$Zn(OH)_2$	$5.4 \times 10^{-13}$	$AgBr$	$1.5 \times 10^{-10}$	$ZnCO_3$
الكبريتات		$8.5 \times 10^{-17}$	$AgI$	$3.6 \times 10^{-17}$	$Hg_2CO_3$
$1.1 \times 10^{-10}$	$BaSO_4$	الفوسفات		الكرومات	
$4.9 \times 10^{-5}$	$CaSO_4$	$9.8 \times 10^{-21}$	$AlPO_4$	$1.2 \times 10^{-10}$	$BaCrO_4$
$2.5 \times 10^{-8}$	$PbSO_4$	$2.1 \times 10^{-33}$	$Ca_3(PO_4)_2$	$2.3 \times 10^{-13}$	$PbCrO_4$
$1.2 \times 10^{-5}$	$Ag_2SO_4$	$1.0 \times 10^{-24}$	$Mg_3(PO_4)_2$	$1.1 \times 10^{-12}$	$Ag_2CrO_4$

**استعمال ثابت حاصل الذائبية** تم تحديد ثابت حاصل الذائبية للنواتج الموجودة في الجدول 3-4 عن طريق إجراء تجارب. وتعد قيم  $K_{sp}$  مهمة؛ لأنه يمكن استعمالها في تحديد ذائبية المركبات القليلة الذوبان. تذكر أن ذائبية مركب ما في الماء تعني كمية المادة التي تتفكك في حجم معين من الماء عند درجة حرارة معينة.

افتراض أنك تريد حساب ذائبية يوديد الفضة AgI بوحدة mol/L عند 298 K، إذا عرفت أن معادلة الاتزان وصيغة ثابت حاصل الذائبية هما:



$$K_{sp} = [\text{Ag}^{+}][\text{I}^{-}] = 8.5 \times 10^{-17} \quad \text{عند } 298 \text{ K}$$

يمكن الإشارة إلى ذائبية 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  $\text{Ag}^{+}$  التي تتكون في المحلول. لذا  $[\text{Ag}^{+}]$  يساوي  $s$ . وكل أيون  $\text{Ag}^{+}$  له أيون مصاحب  $\text{I}^{-}$ ، لذا  $[\text{I}^{-}]$  يساوي  $s$ . عند التعويض بـ  $s$  بدلاً من  $[\text{Ag}^{+}]$  و  $[\text{I}^{-}]$ ، تصبح صيغة  $K_{sp}$  كالآتي:

$$[\text{Ag}^{+}][\text{I}^{-}] = (s)(s) = s^2 = 8.5 \times 10^{-17}$$

$$s = \sqrt{8.5 \times 10^{-17}} = 9.2 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$$

ذائبية AgI هي  $9.2 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$  عند 298 K.

#### مثال 4-5

**حساب الذائبية المولارية** استعمل قيمة  $K_{sp}$  في الجدول 3-4 لحساب ذائبية كربونات النحاس  $\text{CuCO}_3$  بوحدة mol/L عند 298 K.

#### 1 تحليل المسألة

لقد أعطيت ثابت حاصل الذائبية لـ  $\text{CuCO}_3$ . تمثل تراكيز أيون النحاس وأيون الكربونات علاقة واحد-إلى واحد مع الذائبية المولارية لـ  $\text{CuCO}_3$ . استعمل  $s$  لتمثيل الذائبية لـ  $\text{CuCO}_3$ ، ثم استعمل صيغة ثابت حاصل الذائبية لإيجاد الذائبية. ولأن  $K_{sp}$  في صورة  $10^{-10}$ ، لذا يمكنك توقع أن تكون الذائبية المولارية تساوي الجذر التربيعي لـ  $K_{sp}$  أو حوالي  $10^{-5}$ .

#### المعطيات

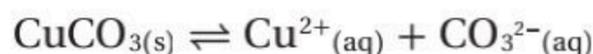
$$K_{sp} = \text{CuCO}_3 = 2.5 \times 10^{-10}$$

#### المطلوب

$$s = ? \text{ mol/l}$$

#### 2 حساب المطلوب

ضع معادلة كيميائية لاتزان الذائبية.



$$K_{sp} = [\text{Cu}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = 2.5 \times 10^{-10}$$

ضع صيغة ثابت حاصل الذائبية.

$$s = [\text{Cu}^{2+}] = [\text{CO}_3^{2-}]$$

اربط  $[\text{Cu}^{2+}]$  و  $[\text{CO}_3^{2-}]$  بذائبية  $\text{CuCO}_3$

$$(s)(s) = s^2 = 2.5 \times 10^{-10}$$

عوض  $s$  بدلاً من  $[\text{Cu}^{2+}]$  و  $[\text{CO}_3^{2-}]$

$$s = \sqrt{2.5 \times 10^{-10}} = 1.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

حل لإيجاد  $s$  واحسب الإجابة

#### 3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع، الذائبية المولارية لـ  $\text{CuCO}_3$  حوالي  $10^{-5} \text{ mol/L}$

20. استعمل البيانات في الجدول 3-4 لحساب الذائبية المولارية mol / L للمركبات الأيونية الآتية عند درجة حرارة 298 K .



21. تحفيز إذا علمت أن  $K_{sp}$  لكربونات الرصاص  $PbCO_3$  يساوي  $7.40 \times 10^{-14}$  عند 298 K، فما ذائبية 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 ضعف عدد مولات  $Mg(OH)_2$  الذائبة. يمكنك استعمال هذه العلاقات لكتابة صيغة ثابت حاصل الذائبية في صورة متغير واحد. ولأن صيغة ثابت حاصل الذائبية 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  $[OH^-] = 2x$

$$x = [Mg^{2+}] \quad 2x = [OH^-] \quad \text{عوض عن}$$

ربع الحدود

$$(x)(2x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

$$(x)(4)(x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

$$4x^3 = 5.6 \times 10^{-12}$$

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  $10^{-4} \text{ mol/L}$

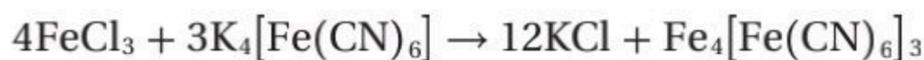
22. استعمل قيم  $K_{sp}$  الموجودة في الجدول 3-4 لحساب:

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 ذائبية  $Ag_3PO_4$  ( $K_{sp} = 2.6 \times 10^{-18}$ ).

24. تحفيز إذا كانت ذائبية كلوريد الفضة  $AgCl$   $1.86 \times 10^{-4} \text{ g/100 g}$  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 4-19. 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 ذائبية 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؟ قد يحدث اتزان بين الراسب الصلب  $Fe_4 [Fe(CN)_6]_3$  وأيوناته في المحلول، كما هو مبين في المعادلة:



فعند خلط محاليل  $FeCl_3$  و  $K_4[Fe(CN)_6]$ ، 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 الاتزان في هذه الحالة نحو اليسار، وسوف يترسب  $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ . ولتوقع تكوّن راسب عند خلط محلولين عليك أولاً أن تحسب تراكيز الأيونات.

**ماذا قرأت؟** وضح الظروف التي تتمكنك من توقع تكون راسب.

**حساب تراكيز الأيون** يوضح الجدول 4-4 تراكيز أيونات المتفاعلات والنواتج في المحاليل الأصلية  $0.10 M K_4 Fe(CN)_6$  و  $0.10 M FeCl_3$ ، 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  $Fe(CN)_6^{4-}$  هي 4:1. 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 يمكنك 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 ذائبية الناتج.  $K_{sp} = [Fe^{3+}]^4 [Fe(CN)_6^{4-}]^3$ .

تذكر أنك لم تحدد ما إذا كان المحلول مشبعاً أم لا، لذا فإن ناتج عملية التعويض لا يكون بالضرورة ثابت حاصل الذائبية الناتج، ولكنه يسمى **الحاصل**.

**الشكل 4-19** لأن ثابت الأيون الناتج  $Q_{sp}$  أكبر من  $K_{sp}$  يمكنك أن تتوقع أن  $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$  سيكون راسباً.



الجدول 4-4	تراكيز الأيونات
المحلول الأصلي mol/L	الخليط mol/L
$[Fe^{3+}] = 0.10$	$[Fe^{3+}] = 0.050$
$[Cl^-] = 0.30$	$[Cl^-] = 0.15$
$[K^+] = 0.40$	$[K^+] = 0.20$
$[Fe(CN)_6^{4-}] = 0.10$	$[Fe(CN)_6^{4-}] = 0.050$

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:

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 مشبعًا.

في حالة الاتزان لـ  $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ ، يكون  $Q_{sp}$  الذي يساوي  $7.8 \times 10^{-10}$  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 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 تركيزهما 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  $Pb(NO_3)_2$

$$K_{sp} = 1.7 \times 10^{-5}$$

#### 2 حساب المطلوب

ضع معادلة ذوبان  $PbCl_2$

ضع صيغة  $Q_{sp}$

مزج المحاليل يخفف تركيزها إلى النصف.

اقسم  $[Pb^{2+}]_{(aq)}$  على 2

اقسم  $[Cl^-]$  على 2

عوض عن  $[Pb^{2+}] = 0.0100M$  و  $[Cl^-] = 0.00500M$

قارن  $Q_{sp}$  بـ  $K_{sp}$

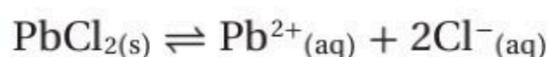
لذا لا يتكون الراسب

#### 3 تقويم الإجابة

$Q_{sp}$  أقل من  $K_{sp}$ . الأيونات  $Cl^-$  و  $Pb^{2+}$  لا توجد بتراكيز عالية بقدر كافٍ في المحلول لتكون راسبًا.

#### المطلوب

$$Q_{sp} > K_{sp}?$$



$$Q_{sp} = [Pb^{2+}][Cl^-]^2$$

$$[Pb^{2+}] = \frac{0.0200M}{2} = 0.0100M$$

$$[Cl^-] = \frac{0.0100M}{2} = 0.00500M$$

$$Q_{sp} = (0.0100)(0.00500)^2 = 2.5 \times 10^{-7}$$

$$Q_{sp} (2.5 \times 10^{-7}) < K_{sp} (1.7 \times 10^{-5})$$

25. استعمل قيم  $K_{sp}$  من الجدول 3-4 لتتوقع ما إذا سيتكون راسب عند خلط كميات متساوية من المحاليل الآتية:

a.  $0.10 \text{ M Pb(NO}_3)_2$  و  $0.030 \text{ M NaF}$

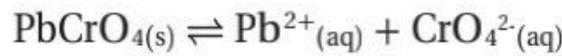
b.  $0.25 \text{ M K}_2\text{SO}_4$  و  $0.010 \text{ M AgNO}_3$

26. تحفيز هل يتكون راسب عند إضافة  $250 \text{ mL}$  من  $0.20 \text{ M MgCl}_2$  إلى  $750 \text{ mL}$  من  $0.0025 \text{ M NaOH}$  ؟

### تأثير الأيون المشترك The Common Ion Effect

ذائبة كرومات الرصاص  $\text{PbCrO}_4$  في الماء تساوي  $4.8 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$  عند درجة الحرارة  $298 \text{ K}$ . وهذا يعني أنك تستطيع تفكيك وإذابة  $4.8 \times 10^{-7} \text{ mol}$  من  $\text{PbCrO}_4$  في  $1.00 \text{ L}$  من الماء النقي. ولكنك لا تستطيع إذابة  $4.8 \times 10^{-7} \text{ mol}$  من  $\text{PbCrO}_4$  عند درجة الحرارة نفسها في  $1.00 \text{ L}$  من محلول كرومات البوتاسيوم  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  الذي تركيزه  $0.1 \text{ M}$ .

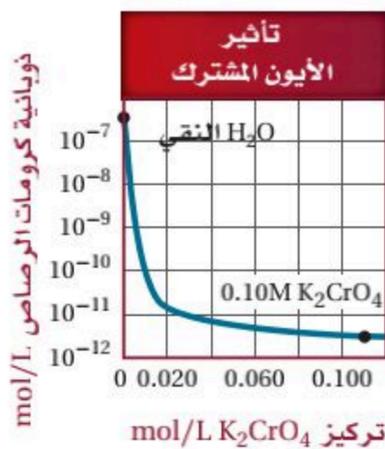
لماذا يعد  $\text{PbCrO}_4$  أقل ذائبة في المحلول المائي لـ  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  مقارنة بذائبيته في الماء النقي؟ معادلة اتزان الذائبة لـ  $\text{PbCrO}_4$ ، وتعبير ثابت حاصل الذائبة:



$$K_{sp} = [\text{Pb}^{2+}][\text{CrO}_4^{2-}] = 2.3 \times 10^{-13}$$

تذكر أن  $K_{sp}$  ثابت عند أي درجة حرارة معطاة، لذا إذا ازداد تركيز  $\text{Pb}^{2+}$  أو تركيز  $\text{CrO}_4^{2-}$  في نظام متزن فإن تركيز الأيون الآخر سوف يقل؛ لأن ناتج ضرب تراكيز الأيونين يساوي دائماً  $K_{sp}$ . فمحلول  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  يحتوي على أيونات  $\text{CrO}_4^{2-}$  قبل أن تتم إذابة  $\text{PbCrO}_4$ . وفي هذا المثال أيون  $\text{CrO}_4^{2-}$  يسمى أيوناً مشتركاً؛ لأنه جزء من المركبين  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  و  $\text{PbCrO}_4$ .

يوضح الشكل 20-4 أثر الأيون المشترك  $\text{CrO}_4^{2-}$  في ذائبة  $\text{PbCrO}_4$ . الأيون المشترك هو أيون يدخل في تركيب اثنين أو أكثر من المركبات الأيونية. ويسمى انخفاض ذائبة المادة بسبب وجود أيون مشترك تأثير الأيون المشترك.



$$\begin{aligned} \text{في } \text{H}_2\text{O النقي} : [\text{Pb}^{2+}] &= 4.8 \times 10^{-7} \text{ mol/L} \\ [\text{CrO}_4^{2-}] &= 4.8 \times 10^{-7} \text{ mol/L} \\ \text{في } 0.10 \text{ M } \text{K}_2\text{CrO}_4 : [\text{Pb}^{2+}] &= 2.3 \times 10^{-12} \text{ mol/L} \\ [\text{CrO}_4^{2-}] &= 1.00 \times 10^{-1} \text{ mol/L} \end{aligned}$$

الشكل 20-4 تقل ذائبة كرومات الرصاص كلما زاد تركيز محلول كرومات البوتاسيوم الذائبة فيه. التغير ناتج عن وجود أيون  $\text{CrO}_4^{2-}$  في كل من كرومات الرصاص وكرومات البوتاسيوم.

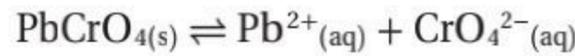
### اختبار الرسم البياني؟

تحقق أن  $K_{sp}$  لا يتغير مع زيادة تركيز كرومات البوتاسيوم.

**الشكل 4-21** يوضح تأثير إضافة أيونات الكرومات في ذائبية كرومات الرصاص. عند إضافة أيونات  $Pb^{2+}$  في صورة نترات الرصاص  $Pb(NO_3)_2$  فإنها تؤثر أيضًا في ذائبية 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  $PbCrO_4$ .



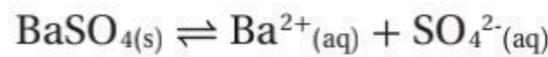
**تطبيق مبدأ لوتشاتيليه** يوضح الشكل a 4-21 المحلول المشبع لكرومات الرصاص  $PbCrO_4$ . لاحظ المادة الصلبة الصفراء  $PbCrO_4$  في قاع الكأس؛ فهي في حالة اتزان مع المحلول، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



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  $Pb(NO_3)_2$  و  $PbCrO_4$  تقلل من ذائبية  $PbCrO_4$ . هل يمكن تفسير ترسيب  $PbCrO_4$  وفقًا لمبدأ لوتشاتيليه؟

إن إضافة أيون  $Pb^{2+}$  إلى اتزان الذائبية يزيد من جهد الاتزان. ولإزالة الجهد يزاح الاتزان نحو اليسار لتكوين المزيد من الراسب الصلب  $PbCrO_4$ .

يلعب تأثير الأيون المشترك أيضًا دورًا عند تناول  $BaSO_4$  من أجل أخذ أشعة سينية للجهاز الهضمي. إن الذائبية المنخفضة لـ  $BaSO_4$  تساعد على التأكد من أن كمية أيون الباريوم السام الممتص من قبل الجهاز الهضمي للمريض قليلة لدرجة غير مؤذية. ولمزيد من الوقاية يتم إضافة كبريتات الصوديوم  $Na_2SO_4$ ، وهو مركب أيوني ذائب يوفر الأيون المشترك  $SO_4^{2-}$ .



بحسب 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 ذائبية 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 ذائبية 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 بذائبية 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 3-4

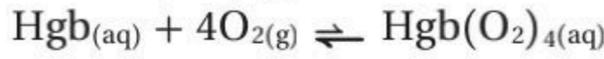
### الخلاصة

- التراكيز عند الاتزان والذائبية يمكن حسابها باستعمال تعبير ثابت الاتزان.
  - يصف  $K_{sp}$  الاتزان بين مركب أيوني قليل الذائبية 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 ذائبية المادة المذابة.
27. الفكرة الرئيسية اكتب المعلومات التي تحتاج إليها لحساب تركيز ناتج في خليط التفاعل عند الاتزان.
  28. فسر كيف تستخدم ثابت حاصل الذائبية في حساب ذائبية مركب أيوني قليل الذوبان؟
  29. صف كيف يقلل وجود الأيون المشترك ذائبية المركب الأيوني؟
  30. وضح الفرق بين  $K_{sp}$  و  $Q_{sp}$ . وهل يعد  $Q_{sp}$  ثابت اتزان؟
  31. احسب ذائبية كربونات الماغنسيوم  $\text{MgCO}_3$  في الماء النقي إذا كان  $K_{sp}$  يساوي  $2.6 \times 10^{-9}$ .
  32. صمم تجربة اعتماداً على الذائبية لتوضح أي الأيونين  $\text{Mg}^{2+}$  أو  $\text{Pb}^{2+}$  يوجد في محلول مائي.



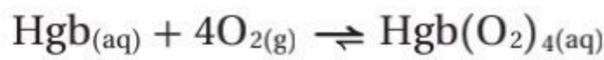
الشكل 2 على قمة إفرست، يمكن للمتسلق الصعود إلى المخيم II، ثم ينزل إلى المخيم الأرضي، ثم يصعد إلى المخيم III؛ استعدادًا للوصول إلى أعلى القمة.

**في الجبال In the mountains** يستجيب الاتزان لجهد هواء الجبال بإنتاج الأكسجين بسرعة عالية. ويتم إزاحة الاتزان إلى اليسار محرزًا جزيئات الأكسجين في الرئة، تاركًا القليل من الهيموجلوبين المؤكسج في الدم



تركيز الهيموجلوبين المؤكسج المنخفض في الدم يعني أن جزيئات الأكسجين تحررت في أجزاء أخرى من الجسم. ولأن مقدار الطاقة الناتج قليل فإنك 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  $\text{Hgb}(\text{O}_2)_4(\text{aq})$  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.

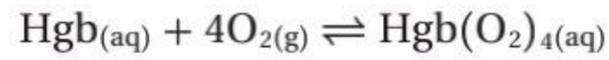
**الكتابة في الكيمياء** ابحث عن أزمة الاختناق عند النوم، كيف يمكن لحدوث الاختناق أن يؤثر في اتزان هيموجلوبين الجسم؟ للمزيد من المعلومات ارجع إلى المواقع الإلكترونية في الشبكة العنكبوتية.

## ارتفاع الهيموجلوبين إلى مستوى التحدي

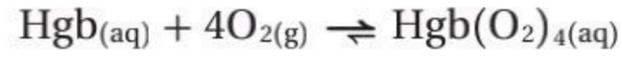
عندما يسافر الناس إلى أماكن جبلية يشعرون عادة بالتعب، ويصابون بدوار. والسبب في ذلك أن هواء الجبل يحتوي على القليل من جزيئات الأكسجين، كما هو موضح في الشكل 1. ومع مرور الوقت يقل الإعياء؛ لأن الجسم يتكيف مع هذا النقص في الأكسجين بإنتاج المزيد من البروتين الذي يسمى الهيموجلوبين.

## اتزان الهيموجلوبين-أكسجين Hemoglobin-oxygen equilibrium

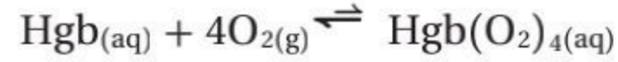
يرتبط الهيموجلوبين Hgb بجزيئات الأكسجين التي تدخل دورة الدم في جسمك منتجةً الهيموجلوبين المؤكسد  $\text{Hgb}(\text{O}_2)_4$ . ويمكن تمثيل اتزان Hgb و  $\text{O}_2$  في المعادلة الآتية:



**في الرئتين** عندما تتنفس تتحرك جزيئات الأكسجين إلى دمك، ويستجيب الاتزان للجهد باستهلاك جزيئات الأكسجين بسرعة عالية. ويتم إزاحة الاتزان نحو اليمين، ويزداد تركيز  $\text{Hgb}(\text{O}_2)_4$  في الدم.



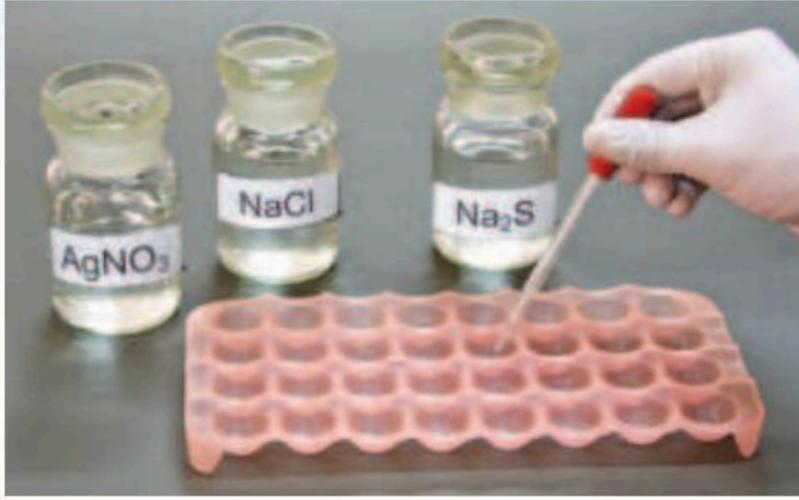
**في الأنسجة** عندما يصل  $\text{Hgb}(\text{O}_2)_4$  إلى أنسجة الجسم التي يكون فيها تركيز الأكسجين منخفضًا يزاح الاتزان نحو اليسار، ويتحرر الأكسجين ليسمح لحدوث عملية الأيض التي من شأنها توليد الطاقة.



الشكل 1 يكون الضغط الجزئي لـ  $\text{O}_2$  في القمة أكثر انخفاضًا. وكل نفس يستنشقه الإنسان يحتوي على جزيئات  $\text{O}_2$  قليلة.

# مختبر الكيمياء

## المقارنة بين ثابتي حاصل الذائبية



**الخلفية** من خلال ملاحظة تكون راسبين في النظام نفسه يمكن استنتاج العلاقة بين ذائبية مركبين أيونيين والقيم العددية لثوابت حاصل الذائبية لهما  $K_{sp}$ .

**سؤال** كيف تستطيع استعمال مبدأ لوتشاتليه لتقويم الذائبية النسبية لراسبين؟

### المواد والأدوات اللازمة

محلول  $AgNO_3$  محلول  $NaCl$

محلول  $Na_2S$  طبق تفاعلات بلاستيكي ذو 24 أو 32 فجوة  
3 قطرات رفيعة الساق (مادة بديلة للطبق: أنابيب اختبار)

### إجراءات السلامة

**تحذير:** نترات الفضة عالية السمية، وتخلّف بقعاً على الجلد والملابس. كبريتيد الصوديوم مهيج للجلد، و يجب إبقاؤه بعيداً عن الأحماض.

### خطوات العمل

1. املاً بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
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.

### التحليل والاستنتاج

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 الذائبية 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 ذائبية؟
6. أدرك النتيجة والسبب استعمال مبدأ لوتشاتليه لتفسير تأثير إضافة  $Na_2S$  في الخطوة 5 في الاتزان في الفجوة A2.
7. احسب الذائبية 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 للذائبية.

**الفكرة العامة** يصل الكثير من التفاعلات والعمليات إلى حالة من الاتزان الكيميائي؛ حيث تتكون كل من المواد المتفاعلة والناجثة بسرعات متساوية.

### 4-1 حالة الاتزان الديناميكي

#### الفكرة الرئيسية

يوصف

#### الأفكار الرئيسية

- الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناجثة.
- يكون التفاعل في حالة اتزان إذا كانت سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي.
- تعبير ثابت الاتزان هو نسبة التراكيز المولارية للمواد الناجثة إلى التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة؛ حيث ترفع هذه التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها في المعادلة الكيميائية الموزونة.

$$K_{eq} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

- تكون قيمة تعبير ثابت الاتزان  $K_{eq}$  ثابتة عند درجة حرارة معينة.

#### المفردات

- التفاعل العكسي
- الاتزان الكيميائي
- قانون الاتزان الكيميائي
- ثابت الاتزان
- اتزان متجانس
- اتزان غير متجانس

### 4-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

#### الفكرة الرئيسية

عندما تطرأ

#### الأفكار الرئيسية

- تغيرات على نظام متزن يزاح إلى موضع اتزان جديد.
- يصف مبدأ لوتشاتليه كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغيير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة لتغير التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان، ولكن  $K_{eq}$  يبقى ثابتاً. والتغير في درجة الحرارة يغير الاتزان معاً: موضع الاتزان وقيمة  $K_{eq}$ .

#### المفردات

- مبدأ لوتشاتليه

### 4-3 استعمال ثوابت الاتزان

#### الفكرة الرئيسية

يمكن استعمال

#### الأفكار الرئيسية

- تعبير ثابت الاتزان في حساب تراكيز المواد في التفاعل وذوبانيتها.
- يمكن حساب التراكيز عند الاتزان والذائبية باستعمال تعبير ثابت الاتزان.
- يصف  $K_{sp}$  الاتزان بين مركب أيوني قليل الذائبية 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 ذائبية المادة المذابة.

#### المفردات

- ثابت حاصل الذائبية
- 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 وغاز الهيدروجين عن التفاعل العكسي، اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل الذي ينتج أكسيد الحديد III وغاز الهيدروجين.

## 4-2

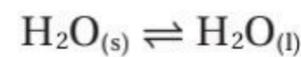
### إتقان المفاهيم

46. ما المقصود بالشغل المبذول على تفاعل ما عند الاتزان؟
47. كيف يصف مبدأ لوتشاتليه 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 تمثل المعادلة الآتية اتزاناً متجانساً أم غير متجانس؟ فسر إجابتك.



36. ما المقصود بموضع الاتزان؟
37. وضح كيفية كتابة تعبير ثابت الاتزان.
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 1076.6g، 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

58. ماذا تعني بقولك إن لدى محلولين أيوناً مشتركاً؟ اذكر مثلاً يوضح ذلك.

59. لماذا لا تعطى بعض المركبات مثل كلوريد الصوديوم قيم  $K_{sp}$ ؟

60. 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 g من  $\text{BaCl}_2$  يمكن أن تذوب في 100 mL من الماء؟

61. فسر ما يحدث في الشكل 4-23 اعتماداً على  $K_{sp}$  و  $Q_{sp}$ .

62. صف المحلول الناتج عن خلط محلولين لهما  $Q_{sp} = K_{sp}$ ، هل يتكون راسب؟

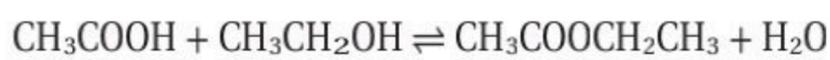
## إتقان حل المسائل

63. اكتب تعبير  $K_{sp}$  لكرومات الرصاص  $\text{PbCrO}_4$ ، واحسب ذائبية بوحدة mol/L، علماً أن  $k_{sp} = 2.3 \times 10^{-13}$ .

64.  $K_{sp}$  لفلوريد الإسكانديوم  $\text{ScF}_3$  عند درجة حرارة 298 K يساوي  $4.2 \times 10^{-8}$ . اكتب معادلة الاتزان الكيميائية لذائبية فلوريد الإسكانديوم في الماء. ما تركيز أيونات  $\text{Sc}^{3+}$  اللازمة لتكوين راسب إذا كان تركيز أيون الفلوريد 0.076 M؟

65. هل يتكون راسب عند خلط 62.6 mL من  $\text{CaCl}_2$  الذي تركيزه 0.0322 M مع 31.3 mL من  $\text{NaOH}$  الذي تركيزه 0.0145 M؟ استعمل البيانات الموجودة في الجدول 4-4. وضح إجابتك.

66. صناعة إيثانوات الإيثيل  $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$  مذيب يستعمل في صناعة الورنيش، ويمكن إنتاجه بتفاعل الإيثانول وحمض الإيثانويك (الخليك). يمكن وصف الاتزان بالمعادلة الآتية:

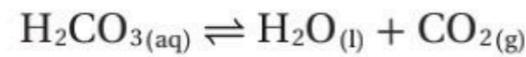


احسب  $K_{eq}$  باستعمال تراكيز الاتزان الآتية:

$$[\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3] = 2.90 \text{ M}; [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.316 \text{ M};$$

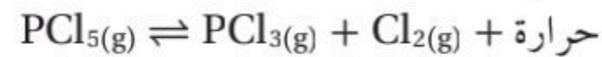
$$[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}] = 0.313 \text{ M}; [\text{H}_2\text{O}] = 0.114 \text{ M}$$

51. المشروبات الغازية استعمل مبدأ لوتشاتيليه لشرح كيف أن إزاحة الاتزان الآتي:

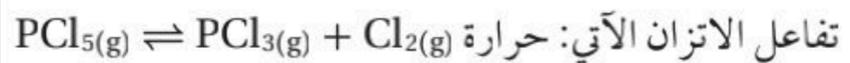


تسبب فقدان الشراب طعمه عند ترك غطاء القارورة مفتوحاً؟

52. فسر كيف تؤثر زيادة درجة الحرارة في الاتزان الموضح في المعادلة الآتية؟



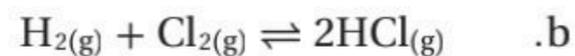
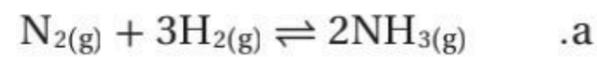
53. إذا أضيف مذيب سائل من الكلور إلى دورق يحتوي على



تفاعل الاتزان الآتي: حرارة

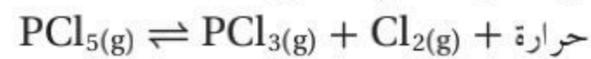
فكيف يتأثر الاتزان عند ذوبان كمية من غاز الكلور؟

54. إذا أعطيت التفاعلين الآتين عند الاتزان:



فسر لماذا يسبب تغير حجم وعاء التفاعلين تغير موضع الاتزان لـ a ولا يؤثر في b؟

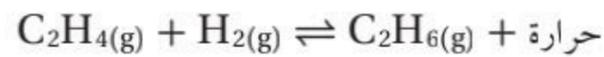
55. هل تتوقع أن تزداد أو تقل قيمة  $K_{eq}$  العديدة عند زيادة درجة الحرارة في الاتزان الآتي؟ فسر إجابتك.



56. فسر كيف يمكن أن تنظم الضغط لتعزز تكوين النواتج في نظام الاتزان الآتي؟



57. 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:

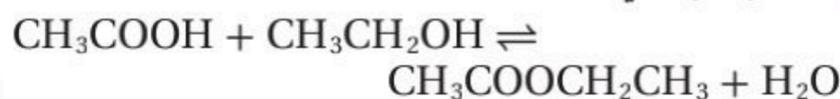
a. تزيد كمية الإيثان الناتج.

b. تقلل تركيز الإيثيلين.

c. تزيد كمية الهيدروجين في وعاء التفاعل.

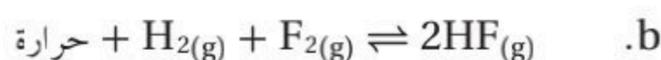
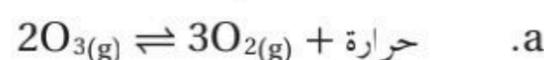
مراجعة عامة

67. تنتج إيثانوات الإيثيل  $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$  من الاتزان الموصوف في المعادلة الآتية:

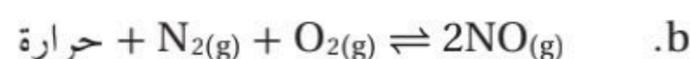
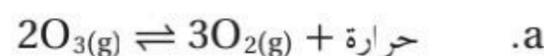


لماذا تسبب إزالة الماء إنتاج المزيد من إيثانوات الإيثيل؟

68. كيف يتأثر كل اتزان مما يأتي بانخفاض درجة الحرارة؟



69. كيف يتأثر كل اتزان مما يأتي بارتفاع كل من درجة الحرارة والحجم في الوقت نفسه؟



70. ثابت حاصل الذائبة لزرنيخات الرصاص  $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$  هو  $4.0 \times 10^{-36}$  في درجة حرارة 298 K. احسب الذائبة بوحدة mol / L لهذا المركب عند درجة الحرارة نفسها.

71. صحح الجملة الآتية: القيمة المنخفضة لثابت الاتزان  $K_{eq}$  تعني أن كلا التفاعلين الأمامي والعكسي يحدثان ببطء.

72. في نظام الاتزان  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ ، لون  $\text{NO}_2$  بني غامق. فسر اختلاف اللون للاتزان كما هو موضح في الشكل 4-22.



الشكل 4-22

73. إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم إلى محلول هيدروكسيد الألومنيوم المشبع يُقلل من تركيز أيونات الألومنيوم. اكتب معادلة اتزان الذائبة وتعبير ثابت حاصل الذائبة لمحلول مائي مشبع لهيدروكسيد الألومنيوم.

التفكير الناقد

74. تحليل افترض أن نظام اتزان عند درجة حرارة معينة  $K_{eq}$  له تساوي 1.000، فما احتمال أن هذا النظام يتكون من 50% متفاعلات و 50% نواتج؟ فسر إجابتك.

75. 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 هي:  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$  فهل تتوقع أن استنشاق الأملاح يعطي مفعولاً في أيام الشتاء الباردة كما في أيام الصيف الحارة؟ فسر إجابتك.

76. إذا علمت أن  $K_{sp}$  ليوديدات الكاديوم  $\text{Cd}(\text{IO}_3)_2$  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؟

77. 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 4-6 واكتب معادلات اتزان الذائبة وتعبير ثابت حاصل الذائبة لكلا المركبين. فسر إجابتك.

الجدول 4-6 بيانات المركبين		
الذائبة عند 25°C	الكتلة المولية	المركب
g/L	g/mol	
1.1	175.33	$\text{BaF}_2$
0.13	62.30	$\text{MgF}_2$



## تقويم إضافي

## الكتابة في الكيمياء

82. **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:

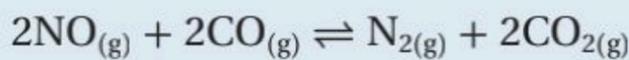
$$\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{yo}), K_{\text{eq}} = 3.4 \times 10^6$$

83. اكتب مقالة لمجلة أو صحيفة تفسر فيها ميزة يولان في مكافحة الارتفاع في درجات الحرارة العالمي.

84. **عسر الماء** يسبب وجود أيونات الماغنسيوم والكالسيوم في الماء عسره. بالاعتماد على الذائبية فسر لماذا يعد وجود هذين الأيونين أحياناً غير مرغوب فيه. ثم أوجد الطرائق التي يمكن اتخاذها للحد من وجودهما.

## 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  $K_{\text{eq}}$  مقابل درجة الحرارة

1000 K	900 K	800 K	700 K
$3.27 \times 10^{45}$	$4.66 \times 10^{54}$	$1.04 \times 10^{66}$	$9.10 \times 10^{97}$

85. اكتب تعبير ثابت الاتزان لهذا الاتزان.

86. ادرس العلاقة بين  $K_{\text{eq}}$  ودرجة الحرارة. استعمل مبدأ لوتشاتيليه لاستنتاج ما إذا كان التفاعل الأمامي ماصاً أم طارداً للطاقة.

87. فسر كيف يمكن أن يساعد الراديوتر (مبرد السيارة) المطلي بالسبيكة على تقليل تركيز NO و CO في الغلاف الجوي؟

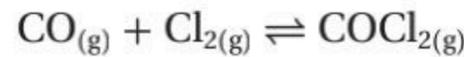
78. **السبب والنتيجة** افترض أن لديك 12.56 g من خليط مكون من كلوريد الصوديوم وكلوريد الباريوم، وفسر كيف يمكن استعمال تفاعل الترسيب لتحديد مقدار كل مركب في الخليط.

79. **قارن** أي المادتين الصلبتين: فوسفات الكالسيوم وفوسفات الحديد III لها ذائبية مولارية أكبر؟

إذا علمت أن  $K_{\text{sp}} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 1.2 \times 10^{-29}$  و  $K_{\text{sp}} \text{FePO}_4 = 1.0 \times 10^{-22}$  فأيهما له ذائبية أعلى؟

## مسألة تحفيز

80. **تحضير الفوسجين** الفوسجين  $\text{COCl}_2$  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 وصولهما إلى حالة الاتزان وجد أن تركيز كل منهما 0.0086 mol/L. ما تركيز الفوسجين عند الاتزان؟ وما  $K_{\text{eq}}$  للنظام؟

## مراجعة تراكمية

81. عندما تقوم بعكس معادلة كيميائية حرارية لماذا يجب عكس إشارة  $\Delta H$ ؟

# اختبار مقنن

## أسئلة الاختيار من متعدد

1. أي مما يأتي يصف نظاماً وصل إلى حالة الاتزان الكيميائي؟
- لا يوجد ناتج جديد يتكون بفعل التفاعل الأمامي.
  - لا يحدث التفاعل العكسي في النظام.
  - تركيز المتفاعلات في النظام يساوي تركيز النواتج.
  - 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.
- $$S_2O_8^{2-}(aq) + 2I^-(aq) \rightarrow 2SO_4^{2-}(aq) + I_2(aq)$$
- 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؟

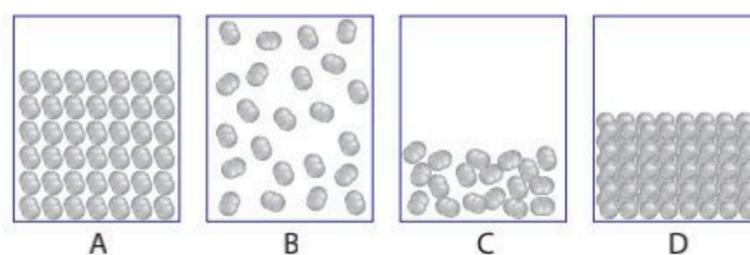
$$R = k[S_2O_8^{2-}]^2[I^-] \quad .a$$

$$R = k[S_2O_8^{2-}][I^-] \quad .b$$

$$R = k[S_2O_8^{2-}][I^-]^2 \quad .c$$

$$R = k[S_2O_8^{2-}]^2[I^-]^2 \quad .d$$

استعمل الرسوم الآتية للإجابة عن السؤال 3.



3. أي الرسوم الأربعة يبين المادة التي لها أضعف قوى بين الجزيئات؟
- A
  - B
  - C
  - D

4. أي أنواع القوى بين الجزيئات ينتج عن عدم توازن مؤقت في الكثافة الإلكترونية حول نواة الذرة؟
- الروابط الأيونية
  - قوى التشتت
  - قوى ثنائية القطب
  - الروابط الهيدروجينية

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة من 5 إلى 7.

بيانات التركيز للاتزان الآتي (عند 298 K) $MnCO_3(s) \rightarrow Mn^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$				
المحاولة	$[Mn^{2+}]$ الابتدائي	$[CO_3^{2-}]$ الابتدائي	عند الاتزان $[Mn^{2+}]$	عند الاتزان $[CO_3^{2-}]$
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؟

$$2.24 \times 10^{-11} \quad .a$$

$$4.00 \times 10^{-11} \quad .b$$

$$1.12 \times 10^{-9} \quad .c$$

$$5.60 \times 10^{-9} \quad .d$$

6. ما ذائبية  $MnCO_3$  عند درجة حرارة 298 K؟

$$4.73 \times 10^{-6}M \quad .a$$

$$6.32 \times 10^{-2}M \quad .b$$

$$7.48 \times 10^{-5}M \quad .c$$

$$3.35 \times 10^{-5}M \quad .d$$

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:

$$7.47 \times 10^{-6}M \quad .a$$

$$1.49 \times 10^{-5}M \quad .b$$

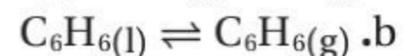
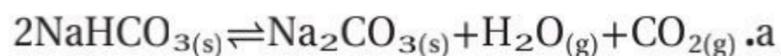
$$2.99 \times 10^{-5}M \quad .c$$

$$1.02 \times 10^{-5}M \quad .d$$



## أسئلة الإجابات القصيرة

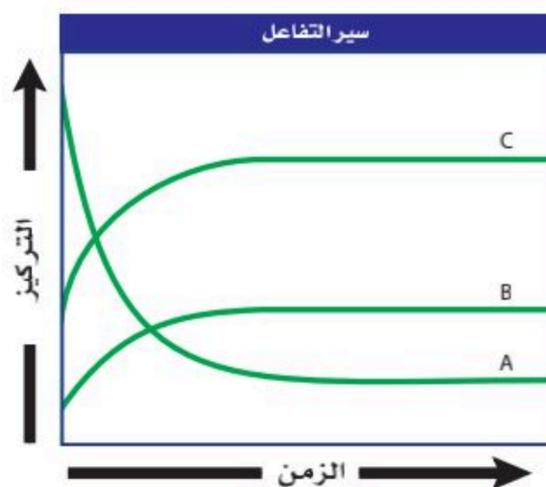
8. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكل اتران غير متجانس مما يأتي:



9. ينتج عن تسخين الحجر الجيري  $\text{CaCO}_{3(s)}$  الجير الحي  $\text{CaO}_{(s)}$  وغاز ثاني أكسيد الكربون. اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل العكسي.

## أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل المخطط الآتي للإجابة عن الأسئلة من 10 إلى 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؟

# المصطلحات



**تآصل (متآصل) Allotrope** وجود شكل أو أكثر للعنصر بتركيبة وخصائص مختلفة بالحالة الفيزيائية نفسها: الصلبة أو السائلة أو الغازية.

**التوتر السطحي Surface Tension** الطاقة اللازمة لزيادة مساحة سطح السائل بمقدار معين.

**التبخّر السطحي Evaporation** عملية تحول السائل إلى بخار عند سطح السائل فقط.

**التصادم المرّن Elastic Collision** تصادمات لا تفقد من خلالها الطاقة الحركية بل تنتقل من جسيم لآخر ولكن يبقى متوسط الطاقة الحركية ثابتاً.

**التكاثف Condensation** عملية تحول البخار إلى سائل، وتنطلق في أثناء ذلك الطاقة.

## (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 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.

## (ج)

**الجول Joule** الوحدة الدولية لقياس الطاقة والحرارة.

## (ح)

**الحرارة Heat** أحد أشكال الطاقة التي تنتقل من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الأقل برودة.

## (أ)

**الاتزان غير المتجانس Heterogeneous Equilibrium** حالة اتزان تكون فيها المواد المتفاعلة والنواتج في حالات فيزيائية مختلفة.

**الاتزان الكيميائي Chemical Equilibrium** حالة التفاعل التي تكون عندها سرعتها التفاعل الأمامي والخلفي متساويتان.

**الاتزان المتجانس Homogeneous Equilibrium** حالة اتزان تكون فيها المواد المتفاعلة والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها.

**الأيون المشترك Common Ion** أيون مشترك بين مادتين أيونيتين أو أكثر.

**الانتشار Diffusion** انتقال مادة من خلال أخرى من منطقة ذات تركيز مرتفع إلى منطقة ذات تركيز منخفض.

## (ب)

**بارومتر Barometer** جهاز قياس الضغط الجوي.

**باسكال Pascal** وحدة دولية تستخدم لقياس الضغط.

## (ت)

**تأثير الأيون المشترك Common Ion Effect** انخفاض الذوبانية بسبب وجود أيون مشترك.

**التبخّر Vaporization** التحول إلى بخار عند درجة حرارة الغرفة.

**الترسيب Precipitate** تكون مادة صلبة في أثناء تفاعل كيميائي.

**التفاعل الانعكاسي Reversible Reaction** التفاعل الكيميائي الذي يحدث في كلا الاتجاهين الطردي والعكسي.

## (ر)

**الرابطه الهيدروجينية Hydrogen Bond** رابطه 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.

## (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.

## (ص)

**صلب غير متبلور Amorphous Solid** مادة صلبة، الجسيمات فيها غير مرتبة بنمط معين، تتكون أحياناً عندما تبرد المادة الذائبة بسرعة لتكوين بلورات.

## (ض)

**الضغط Pressure** القوة الواقعة على وحدة المساحة.  
**الضغط الجوي Atmospheric Pressure** هو الضَّغْطُ الناتج عن جُسيمات الهواء التي تتحرك في كل الاتجاهات.  
**ضغط البخار Vapor Pressure** الضغط الناشئ عن البخار فوق سطح السائل.

## (ط)

**الطاقة Energy** القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.  
**طاقة التنشيط Activation Energy** الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لبدء التفاعل.

**حرارة الاحتراق Enthalpy of Combustion** كمية الحرارة الناتجة عن احتراق مول واحد من المادة احتراقاً كلياً.

**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.

**الحرارة المولارية للانصهار Molar Enthalpy of Fusion** كمية الحرارة التي يتطلبها تحويل مول واحد من المادة الصلبة إلى سائل.

**الحرارة المولارية للتبخر Molar Enthalpy of Vaporization** كمية الحرارة اللازمة لتحويل مول واحد من المادة السائلة إلى بخار.

**الحرارة النوعية Specific Heat** كمية الحرارة التي يتطلبها رفع درجة حرارة جراماً واحداً من المادة درجة سيليزية واحدة.

## (د)

**درجة الانصهار Melting Point** الدرجة التي يتحول عندها الجسم الصلب إلى سائل.

**درجة الحرارة Temperature** معدل الطاقة الحركية لجزيئات المادة.

**درجة التجمد Freezing Point** درجة الحرارة التي يتحول عندها السائل إلى صلب متبلور.

**درجة الغليان Boiling Point** درجة الحرارة التي يتساوى عندها ضغط بخار السائل مع الضغط الجوي الخارجي.



## (ك)

**الكون Universe** عبارة عن النظام مع المحيط.

**الكيمياء الحرارية Thermochemistry** تدرس تغيرات الحرارة التي ترافق التفاعلات الكيميائية وتغيرات الحالة الفيزيائية.

## (ل)

**اللزوجة Viscosity** قياس مقاومة السائل للجريان، والتي تتأثر بأحجام وأشكال الجسيمات، وتزداد بانخفاض درجة الحرارة، وزيادة القوى بين الجزيئية للسائل.

## (م)

**مادة صلبة غير بلورية Amorphous Solid** هي المادة التي لا تترتب فيها الجسيمات بنمط مكرر ومنتظم، ولا تحتوي على بلورات.

**المانومتر Manometer** أداة تستخدم لقياس ضغط الغاز المحصور.

**مبدأ لوتشاتيليه Le Châtelier's Principle** عند وقوع قوة خارجية على نظام يقوم ذلك النظام بالاتجاه نحو الطرف الذي يعمل على امتصاص تأثير القوة.

**المثبط Inhibitor** مادة تؤدي إلى إبطاء سرعة التفاعل.

**المحتوى الحراري Enthalpy** المحتوى الحراري للنظام تحت ضغط ثابت.

**المحتوى الحراري (أو حرارة) التفاعل Enthalpy 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.

**المحيط Surroundings** كل شيء في الكون غير النظام.

**طاقة الوضع الكيميائية Chemical Potential Energy** الطاقة المخزونة في المادة والناجمة عن تركيبها.

## (ع)

**عامل خافض للتوتر السطحي Surfactant** مركب، كالصابون، يعمل على تقليل التوتر السطحي للماء بتكسير الروابط الهيدروجينية بين جزيئاته.

## (ق)

**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 هس Hess's Law** تغير الطاقة في تفاعل كيميائي يساوي مجموع التغيرات في طاقة التفاعلات الفردية المكونة له.

**قوى التشتت Dispersion Forces** القوى الضعيفة الناتجة عن التغير في كثافة الإلكترونات في السحابة الإلكترونية.

**القوى ثنائية القطب Dipole—Dipole Forces** قوة التجاذب بين مناطق مختلفة الشحنة في الجزيئات القطبية.

**قانون جراهام لانتشار الغازات Graham's Law Of Effusion** ينص على أن معدل سرعة انتشار جزيئات الغاز يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لكتلة الغاز المولية.

**قانون حفظ الطاقة Law Of Conservation Of Energy** ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث وإنما تتحول من شكل إلى آخر.

**قانون دالتون للضغوط Dalton's low of Partial Pressures** الضغط الكلي لخليط من الغاز يساوي مجموع الضغوط الجزئية للغازات التي في الخليط.



**النقطة الثلاثية Triple Point** نقطة على مخطط الحالة الفيزيائية تمثل الضغط ودرجة الحرارة التي توجد عندها المادة في الحالات الثلاث معاً وفي الوقت نفسه.

**النقطة الحرجة Critical Point** نقطة على مخطط الحالة الفيزيائية تمثل كلاً من الضغط ودرجة الحرارة التي لا يمكن للماء بعدها أن يكون في الحالة السائلة.

**نظرية الحركة الجزيئية The Kinetic-Molecular Theory** النظرية التي تصف سلوك المادة بالاعتماد على حركة جسيماتها.

## (و)

**وحدة البناء Unit Cell** أصغر ترتيب للذرات في الشبكة البلورية.

**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.

**المعقد المنشط Activated Complex** مجموعة من الذرات فترة بقائها معاً قصيرة جداً قد ينتج عنها النواتج أو قد تعود إلى صورة المتفاعلات.

**مادة صلبة بلورية Crystalline Solid** مادة صلبة تترتب ذراتها أو أيوناتها أو جزيئاتها في شكل هندسي ثلاثي الأبعاد.

**مخطط الحالة الفيزيائية Phase Diagram** رسم بياني للضغط مقابل درجة الحرارة يبين الحالة التي توجد عليها المادة تحت الظروف المختلفة من الضغط ودرجة الحرارة.

## (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 دالتون الجزئية Dalton's Law Of Partial Pressures** مجموع الضغوط الجزئية لكل منها.



## جداول مرجعية

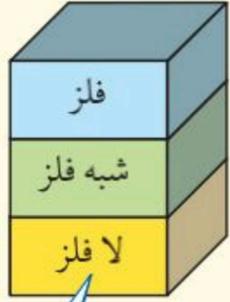
### جداول مرجعية

### قيم حرارة التكوين لبعض المواد

$\Delta H_f^\circ$  (kJ/mol) (تراكيز المحاليل المائية لهذه المواد يساوي 1M)

المادة	$\Delta H_f^\circ$	المادة	$\Delta H_f^\circ$	المادة	$\Delta H_f^\circ$	المادة	$\Delta H_f^\circ$
Ag(s)	0	CsCl(s)	-443.0	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (aq)	-1271.7	NaBr(s)	-361.1
AgCl(s)	-127.0	Cs <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-1443.0	H <sub>2</sub> S(g)	-20.6	NaCl(s)	-411.2
AgCN(s)	146.0	CuI(s)	-67.8	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (aq)	-608.8	NaHCO <sub>3</sub> (s)	-950.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1675.7	CuS(s)	-53.1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (aq)	-814.0	NaN <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-467.9
BaCl <sub>2</sub> (aq)	-855.0	Cu <sub>2</sub> S(s)	-79.5	HgCl <sub>2</sub> (s)	-224.3	NaOH(s)	-425.8
BaSO <sub>4</sub>	-1473.2	CuSO <sub>4</sub> (s)	-771.4	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (s)	-265.4	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s)	-1130.7
BeO(s)	-609.4	F <sub>2</sub> (g)	0	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-743.1	Na <sub>2</sub> S(s)	-364.8
BiCl <sub>3</sub> (s)	-379.1	FeCl <sub>3</sub> (s)	-399.49	I <sub>2</sub> (s)	0	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-1387.1
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (s)	-143.1	FeO(s)	-272.0	K(s)	0	NH <sub>4</sub> Cl(s)	-314.4
Br <sub>2</sub>	0	FeS(s)	-100.0	KBr(s)	-393.8	O <sub>2</sub> (g)	0
CCl <sub>4</sub> (l)	-128.2	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-824.2	KMnO <sub>4</sub> (s)	-837.2	P <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (s)	-1640.1
CH <sub>4</sub> (g)	-74.6	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	-1118.4	KOH	-424.6	P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (s)	-2984.0
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	227.4	H(g)	218.0	LiBr(s)	-351.2	PbBr <sub>2</sub> (s)	-278.7
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	52.4	H <sub>2</sub> (g)	0	LiOH(s)	-487.5	PbCl <sub>2</sub> (s)	-359.4
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-84.0	HBr(g)	-36.3	Mn(s)	0	SF <sub>6</sub> (g)	-1220.5
CO(g)	-110.5	HCl(g)	-92.3	MnCl <sub>2</sub> (aq)	-555.0	SO <sub>2</sub> (g)	-296.8
CO <sub>2</sub> (g)	-393.5	HCl(aq)	-167.159	Mn(N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (aq)	-635.5	SO <sub>3</sub> (g)	-454.5
CS <sub>2</sub> (l)	89.0	HCN(aq)	108.9	MnO <sub>2</sub> (s)	-520.0	SrO(s)	-592.0
Ca(s)	0	HCHO	-108.6	MnS(s)	-214.2	TiO <sub>2</sub> (s)	-944.0
CaCO <sub>3</sub> (s)	-1206.9	HCOOH	-425.0	N <sub>2</sub> (g)	0	TlI(s)	-123.8
CaO(s)	-634.9	HF(g)	-273.3	NH <sub>3</sub> (g)	-45.9	UCl <sub>4</sub> (s)	-1019.2
Ca(OH) <sub>2</sub> (s)	-985.2	HI(g)	26.5	NH <sub>4</sub> Br(s)	-270.8	UCl <sub>6</sub> (s)	-1092.0
Cl <sub>2</sub> (g)	0	H <sub>2</sub> O(l)	-285.8	NO(g)	91.3	Zn(s)	0
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (s)	-891.0	H <sub>2</sub> O(g)	-241.8	NO <sub>2</sub> (g)	33.2	ZnCl <sub>2</sub> (aq)	-415.1
CoO(s)	-237.9	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)	-187.8	N <sub>2</sub> O(g)	81.6	ZnO(s)	-350.5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1139.7	H <sub>3</sub> PO <sub>2</sub> (l)	-595.4	Na(s)	0	ZnSO <sub>4</sub> (s)	-982.8

# الجدول الدوري للعناصر



يدل لون صندوق كل عنصر على ما إذا كان فلزاً أو شبه فلزاً أو لا فلزاً.

			13	14	15	16	17	18
			Boron 5 <b>B</b> 10.811	Carbon 6 <b>C</b> 12.011	Nitrogen 7 <b>N</b> 14.007	Oxygen 8 <b>O</b> 15.999	Fluorine 9 <b>F</b> 18.998	Helium 2 <b>He</b> 4.003
			Aluminum 13 <b>Al</b> 26.982	Silicon 14 <b>Si</b> 28.086	Phosphorus 15 <b>P</b> 30.974	Sulfur 16 <b>S</b> 32.065	Chlorine 17 <b>Cl</b> 35.453	Neon 10 <b>Ne</b> 20.180
10	11	12						
Nickel 28 <b>Ni</b> 58.693	Copper 29 <b>Cu</b> 63.546	Zinc 30 <b>Zn</b> 65.409	Gallium 31 <b>Ga</b> 69.723	Germanium 32 <b>Ge</b> 72.64	Arsenic 33 <b>As</b> 74.922	Selenium 34 <b>Se</b> 78.96	Bromine 35 <b>Br</b> 79.904	Krypton 36 <b>Kr</b> 83.798
Palladium 46 <b>Pd</b> 106.42	Silver 47 <b>Ag</b> 107.868	Cadmium 48 <b>Cd</b> 112.411	Indium 49 <b>In</b> 114.818	Tin 50 <b>Sn</b> 118.710	Antimony 51 <b>Sb</b> 121.760	Tellurium 52 <b>Te</b> 127.60	Iodine 53 <b>I</b> 126.904	Xenon 54 <b>Xe</b> 131.293
Platinum 78 <b>Pt</b> 195.078	Gold 79 <b>Au</b> 196.967	Mercury 80 <b>Hg</b> 200.59	Thallium 81 <b>Tl</b> 204.383	Lead 82 <b>Pb</b> 207.2	Bismuth 83 <b>Bi</b> 208.980	Polonium 84 <b>Po</b> (209)	Astatine 85 <b>At</b> (210)	Radon 86 <b>Rn</b> (222)
Darmstadtium 110 <b>Ds</b> (269)	Roentgenium 111 <b>Rg</b> (272)	Copernicium 112 <b>Cn</b> 285.177	Nihonium 113 <b>Nh</b> 286.183	Flerovium 114 <b>Fl</b> 289.191	Moscovium 115 <b>Mc</b> 290.196	Livermorium 116 <b>Lv</b> 293.205	Tennesine 117 <b>Ts</b> 294.211	Oganesson 118 <b>Og</b> 294.214

Europium 63 <b>Eu</b> 151.964	Gadolinium 64 <b>Gd</b> 157.25	Terbium 65 <b>Tb</b> 158.925	Dysprosium 66 <b>Dy</b> 162.500	Holmium 67 <b>Ho</b> 164.930	Erbium 68 <b>Er</b> 167.259	Thulium 69 <b>Tm</b> 168.934	Ytterbium 70 <b>Yb</b> 173.04	Lutetium 71 <b>Lu</b> 174.967
Americium 95 <b>Am</b> (243)	Curium 96 <b>Cm</b> (247)	Berkelium 97 <b>Bk</b> (247)	Californium 98 <b>Cf</b> (251)	Einsteinium 99 <b>Es</b> (252)	Fermium 100 <b>Fm</b> (257)	Mendelevium 101 <b>Md</b> (258)	Nobelium 102 <b>No</b> (259)	Lawrencium 103 <b>Lr</b> (262)

# جداول مرجعية

## جداول مرجعية

العناصر في كل عمود تسمى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.

غاز  
سائل  
صلب  
مُصنَّع

الرموز الثلاثة العليا تدل على حالة العنصر في درجة حرارة الغرفة، بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنَّعة.

العنصر  
العدد الذري  
الرمز  
الكتلة الذرية المتوسطة

حالة المادة

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							
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.

يبدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيراً للمكان.

سلسلة اللانثانيدات

سلسلة الأكتينيدات

الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمراً للعنصر.

Cerium 58 Ce 140.116	Praseodymium 59 Pr 140.908	Neodymium 60 Nd 144.24	Promethium 61 Pm (145)	Samarium 62 Sm 150.36
Thorium 90 Th 232.038	Protactinium 91 Pa 231.036	Uranium 92 U 238.029	Neptunium 93 Np (237)	Plutonium 94 Pu (244)