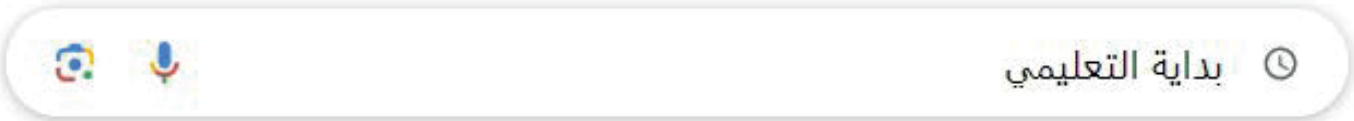
تم تحميل الملف
من موقع بداية

بداية
beadaya.com | موقع بداية التعليمي

للمزيد اكتب
في جوجل Google



موقع بداية التعليمي كل ما يحتاجه **الطالب والمعلم**
من ملفات تعليمية، حلول الكتب، توزيع المنهج،
بوربوينت، اختبارات، ملخصات، اختبارات إلكترونية،
أوراق عمل، والكثير...

حمل التطبيق

GET IN ON Google Play

Download on the App Store

قـررت وزارة الـتعـليـم تـدريس
هـذا الكـتـاب وطبعه على نفقتها

المملكة العربية السعودية

وزارة التعـليم
Ministry of Education

الكيمياء 2-2

التعليم الثانوي - نظام المسارات

السنة الثانية

قام بالتأليف والمراجعة
فريق من المتخصصين

طبعة 1446 - 2024

يُوزع مجّانًا ولا يُباع

وزارة التعـليم
Ministry of Education
2024 - 1446

ⓒ وزارة التعليم ، ١٤٤٥هـ

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 X ٢٧,٥ سم

رقم الإيداع : ١٤٤٥/٢٤٧٥١

ردمك : ٩٧٨-٦٠٣-٥١١-٦٨٩-٣

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446


بسم الله الرحمن الرحيم

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

المقدمة

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحيمِ

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 مُخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب كيمياء **2** للتعليم الثانوي (نظام المسارات) داعمًا 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 التعلمية.

والكيمياء فرع من العلوم الطبيعية يتعامل مع بنية المادة ومكوناتها وخصائصها النشطة. ولأن المادة هي كل شيء يشغل حيزًا في الفراغ وله كتلة، إذن فالكيمياء تهتم بدراسة كل شيء يحيط بنا، ومن ذلك السوائل التي نشربها، والغازات التي نتنفّسها، والمواد التي يتكون منها جهازنا الخلوي، وطبيعة الأرض تحت أقدامنا. كما تهتم بدراسة جميع التغيرات والتحولات 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 والموجَّه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يقوم الطالب بالاطلاع على الفكرة العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه. ثم يقوم بتنفيذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان التجربة الاستهلالية التي تساعد أيضًا على تكوين النظرة الشاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وتتضمن النشاطات التمهيدية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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 مفتوحًا في نهايته ، بما يُعزز أيضاً مبدأ رؤية **2030** " نتعلم لنعمل " .

وعندما تبدأ دراسة المحتوى تجد في كل قسم ربطًا 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، وشرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر مظللة باللون الأصفر، وتجد أيضًا أمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمِّق معرفتك وخبراتك في فهم محتوى الفصل. وتضمّن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى. وتجد أيضًا مجموعة من الشروح والتفسيرات في هوامش الكتاب، ومنها ما يتعلق بالربط بمحاور رؤية **2030** وأهدافها الاستراتيجية، منها ما يتعلق بالمهن، 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 تمهيديًّا لتعرّف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل، أو من خلال مناقشة الأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد سؤالاً تحت عنوان «ماذا قرأت؟»، وتجد تقويمًا خاصًّا 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 يتضمَّن تذكيرًا 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 تحدٍّ، وتقويمًا إضافيًّا يتضمن تقويم مهارات الكتابة في الكيمياء، وأسئلة خاصة بالمستندات تتعلق بنتائج بعض التقارير أو البحوث العلمية. وفي نهاية كل فصل تجد اختبارًا مقننًا يهدف إلى تقويم فهمك للموضوعات التي قمت بتعلمها سابقًا.

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

قائمة المحتويات

دليل الطالب

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟ 7

الفصل 1

حالات المادة 10

1–1 الغازات 12

1–2 قوى التجاذب 22

1–3 المواد السائلة والمواد الصلبة 27

1–4 تغيرات الحالة الفيزيائية 37

الكيمياء في واقع الحياة: كيمياء الكاكاو 43

الفصل 2

الطاقة والتغيرات الكيميائية 54

2–1 الطاقة 56

2–2 الحرارة 63

2–3 المعادلات الكيميائية الحرارية 69

2–4 حساب التغير في المحتوى الحراري 75

كيف تعمل الأشياء ؟ المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود 83

الفصل 3

سرعة التفاعلات الكيميائية 92

3–1 نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي 94

3–2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي 102

3–3 قوانين سرعة التفاعل الكيميائي 107

الكيمياء والصحة: سرعة التفاعل ودرجة حرارة الجسم .. 111

الفصل 4

الاتزان الكيميائي 120

4–1 حالة الاتزان الديناميكي 122

4–2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي 135

4–3 استعمال ثوابت الاتزان 142

الكيمياء والصحة: ارتفاع الهيموجلوبين إلى مستوى التحدي 153

الملاحق

المصطلحات 162

الجدول الدوري للعناصر 168

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

هذا الكتـــاب ليس كتابًا أدبيًا أو رواية خيالية، بل يصف ظواهر ونظريات وقوانيـــن وحقائق علمية، ويربطها بحياة الناس، وتطبيقات تقنية؛ لذا فأنت تقرؤه طلبًا للعلم والمعلومات. وفيما يأتي بعض الأفكار والإرشادات التي تساعدك على قراءته:

قبـــل أن تقـــرأ

اقرأ كلًّا من الفكرة العامة و الفكرة الرئيسة والتجربة الاســـتهلالية ؛ فهي تـــزودك بنظرة عامـــة تمهيدية لهذا الفصل.

لكل فصـــل فكرة عامة تقدم صورة شـــاملة عنه.

ولكل قســـم من أقســـام الفصل فكرة رئيسة تدعم فكرته العامة.



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



لتحصل على رؤية عامة عن الفصل

- اقرأ عنوان الفصل لتتعرّف موضوعاته.
- تصفّح الصور والرسوم والتعليقات والجداول.
- ابحث عـــن المفردات البـــارزة والمظللـــة باللون الأصفر.
- اعمل مخططًا للفصل باســـتخدام العناوين الرئيسة والعناوين الفرعية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

عندما تقرأ

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



الربط مع الحياة: يصف ارتباط المحتوى مع الواقع.



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

مهارات قرائية

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

كيف تستفيد من كتاب الكيمياء؟

بعدما قرأت

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



يختتم كل قسم بتقويم يحتوي على خلاصة وأسئلة.

الخلاصة تراجع المفاهيم الرئيسة، بينما تختبر الأسئلة فهمك لما درسته.



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

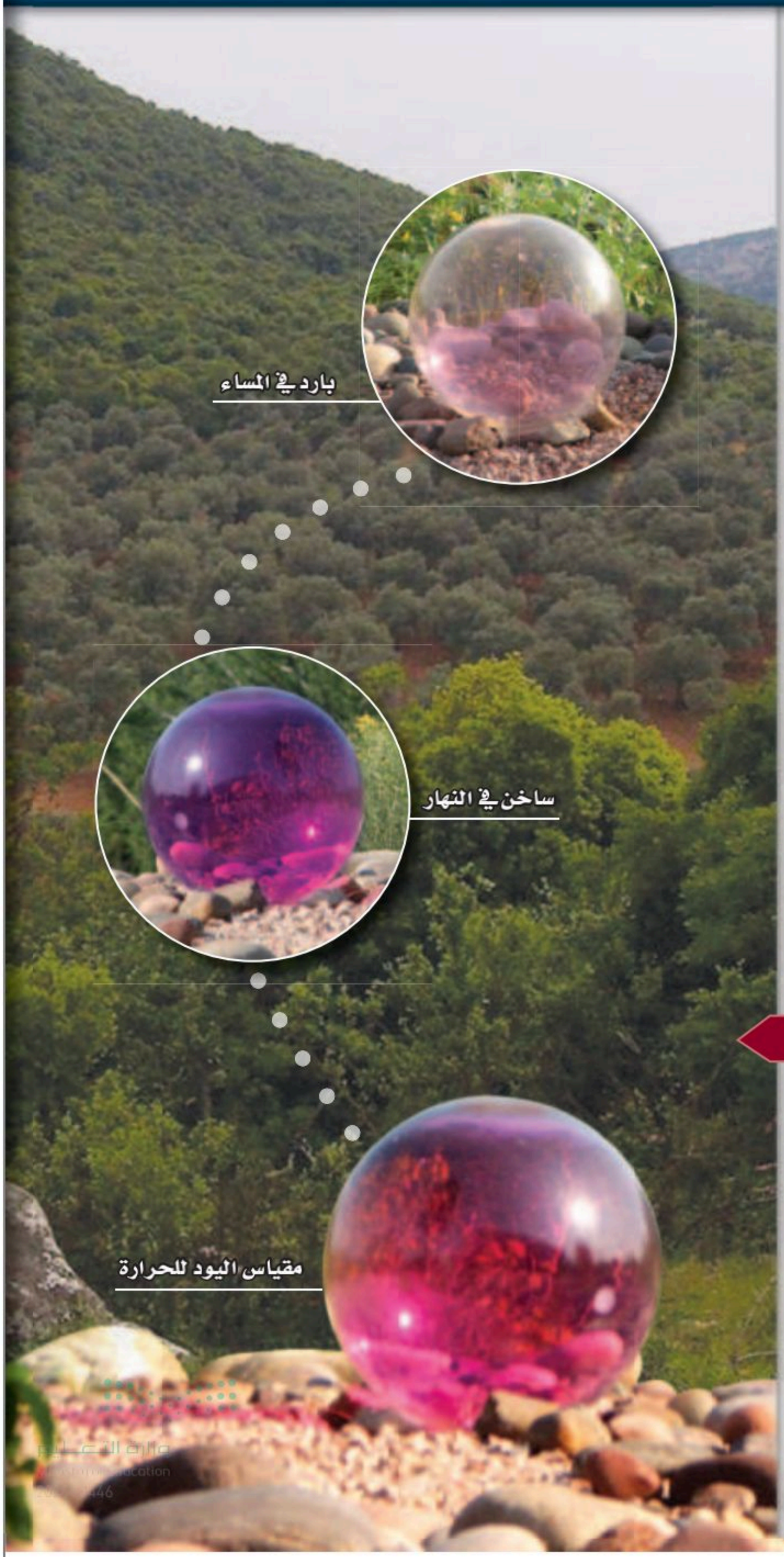
طرائق أخرى للمراجعة

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 1

حالات المادة
States of Matter



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

1-1 الغازات

الفكرة الرئيسة تتمدّد الغازات وتنتشر، كما أنها قابلة للانضغاط؛ لأنها ذات كثافة منخفضة، وتتكون من جسيمات صغيرة جدًّا دائمة الحركة.

1-2 قوى التجاذب

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

1-3 المواد السائلة والمواد الصلبة

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

1-4 تغيرات الحالة الفيزيائية

الفكرة الرئيسة 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 داكنًا أكثر.

تجربة استهلالية

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. املأ مخبارًا مدرّجًا بـ **100 mL** من الماء.
3. ثبت بمساعدة زميلك مسطرة رأسيًا إزاء المخبار، ثم أسقط **كرة زجاجية صغيرة** (أو أي جسم كروي صغير) من النقطة المحدّدة على المسطرة فوق سطح الماء. استعن **بساعة الإيقاف** لحساب الزمن الذي تستغرقه الكرة حتى تصل إلى قاع المخبار. سجل هذا الزمن في جدول البيانات.
4. كرّر الخطوتين 2 و3 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، ثمّ صمّم تجربة للتحقق من فرضيتك.

المطويات منظمات الأفكار

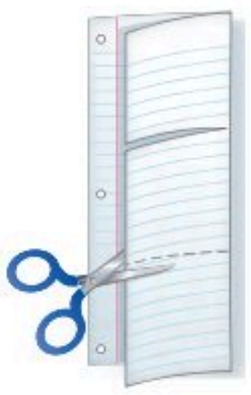
حالات المادة اعمل المطوية الآتية لتساعدك على تلخيص المعلومات عن حالات المادة الثلاث.



خطوة 1 اثنِ ورقة عند منتصفها طوليًا، على أن تكون الحافة الخلفية أطول من الحافة الأمامية 2 cm تقريبًا.



خطوة 2 اطوِ الورقة لتشكّل ثلاثة أجزاء متساوية.



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

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



المطويات **استخدم هذه المطوية في القسمين 1–1 و1–3**، ولخص المعلومات عن حالات المادة الثلاث كلًّا منها تحت العنوان المناسب لها في أثناء قراءتك لهذين القسمين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-1

الغازات Gases

الفكرة الرئيسة **تتمدّد الغازات وتنتشر، كما أنها قابلة للانضغاط؛ لأنها ذات كثافة منخفضة، وتتكوَّن من جسيمات صغيرة جدًّا دائمة الحركة.**

الربط مع الحياة إذا نِمتَ 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 ضُغطت في داخلها.

الأهداف

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

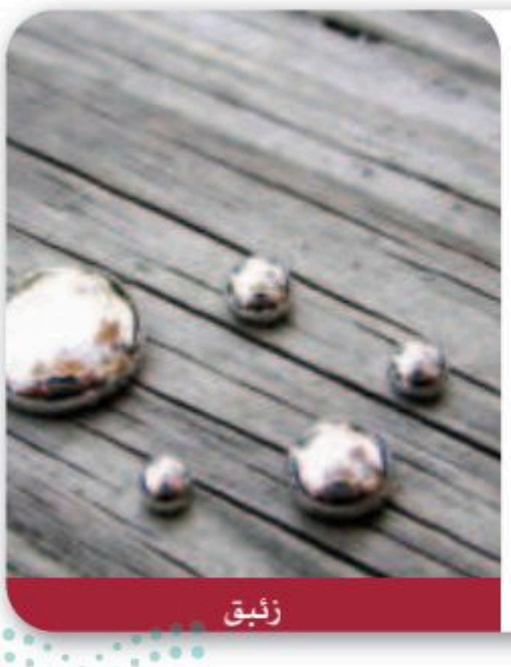
نظرية الحركة الجزيئية The Kinetic–Molecular Theory

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 والزئبق، كما هو موضّح 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.

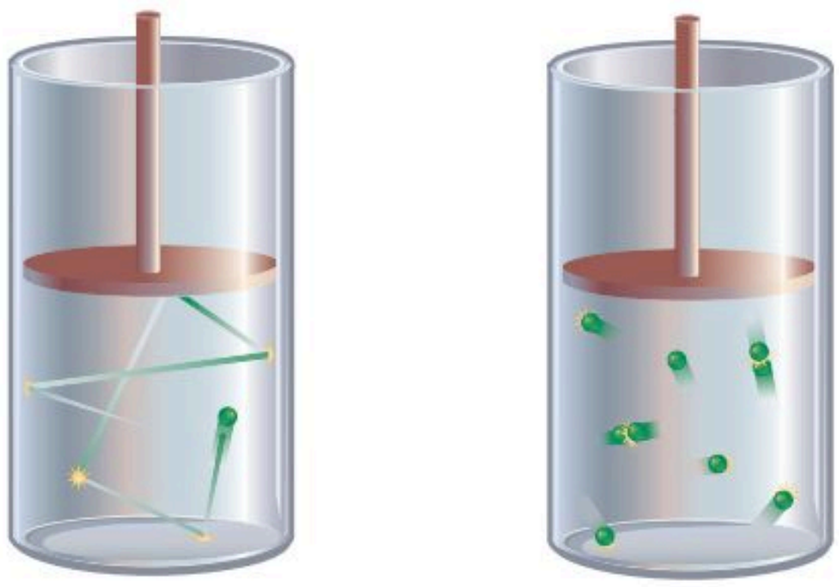

ذهب


جرافيت


زئبق

الشكل 1-1 يمكن التمييز بين بعض المواد بمجرد النظر إليها، ولكن هذا لا ينطبق على الكثير من الغازات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



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

فسّر 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 جدًّا مقارنة بحجوم الفراغات التي تفصل بينها، كما أنها متباعدة، لذلك تنعدم قوى التجاذب والتنافر فيما بينها.

حركة الجسيمات إنّ حركة جسيمات الغاز مستمرة وعشوائية، وتتحرك في خط مستقيم حتى تصطدم بجسيمات أخرى أو بجدار الوعاء الذي توجد فيه، كما يبين **الشكل 2-1**. 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، إلاّ 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، وتتوزع لتملأ الوعاء كله.

كثافة منخفضة تذكر أن الكثافة هي كتلة الجسم في وحدة الحجم، وأن كثافة غاز الكلور عند درجة حرارة 20°C تساوي (2.95×10^{-3} g /mL)، وكثافة الذهب الصلب تساوي (19.3 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.

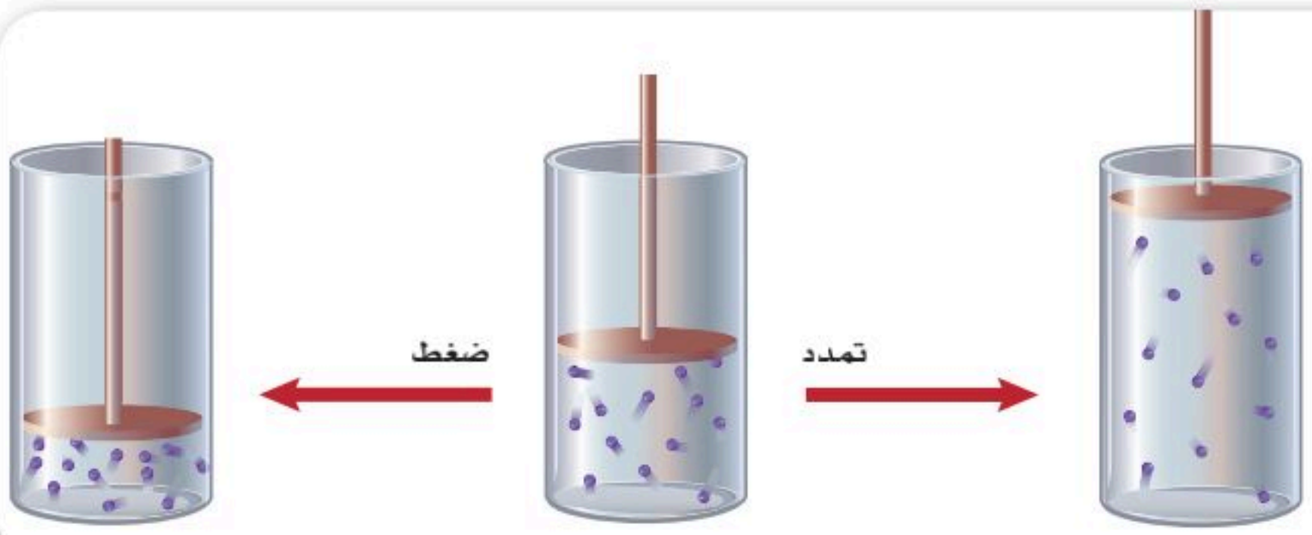
المفردات

أصل الكلمة

غاز/ (Gas)

يأتي أصلها من الكلمة اللاتينية chaos، ومعناها فراغ.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 3-1 إن تمدّد 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 البولستيرين بالضغط عليها فإن حجمها يقل؛ وذلك لأنّ المسافة بين الجزيئات كبيرة جدًا، 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 وفقًا لنظرية الحركة الجزيئية، ونظرًا لأن المسافة كبيرة بين الجزيئات، فإن قوى التجاذب بين جسيمات الغاز تكاد تكون منعدمة. ولهذا تنتشر هذه الجسيمات بسهولة، و يكون 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 متساويًا.

يصف **الانتشار** حركة تداخل المواد معًا، وقد يكون هذا المصطلح حديثًا، ولكن عملية الانتشار مألوفة لك. فأنت تشم رائحة الطعام عند طهيه في أرجاء المنزل كلها؛ بسبب انتشار جسيمات الغاز من منطقة ذات تركيز عال (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 مثلًا 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 تناسبًا عكسيًّا مع الجذر التربيعي للكتلة المولية.

قانون جراهام:

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

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تعتمد سرعة الانتشـــار بالدرجة الأولى على كتلة الجســـيمات؛ حيث تنتشر الجسيمات الخفيفة أسرع من الثقيلة. ويمكن وصف متوســـط الطاقة الحركية للغازات المختلفة عند درجة الحرارة نفســـها بالمعادلة $KE = ½\ mv^2$. ومع ذلك فإن كتلة جســـيمات 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 أيضًا على معدل سرعة الانتشـــار، وهذا منطقي؛ إذ تنتشر الجسيمات الثقيلة أبطأ من الجسيمات الخفيفة عند درجة الحرارة نفســـها. 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؟ **وضح** لماذا يعتمد معدل الانتشار على كتلة الجسيمات؟

مثال 1-1

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

1 تحليل المســألة المعطيات هي الكتل المولية لكل من الأمونيا وكلوريد الهيدروجين. ولإيجاد نســـبة معدل انتشـــارهما استخدم معادلة قانون جراهام للتدفق.

المعطيات

الكتلة المولية لكلوريد الهيدروجين HCl 36.5 g /mol

الكتلة المولية للأمونيا NH_3 = 17.0 g /mol

المطلوب

نسبة معدل الانتشار = ؟

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

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

والكتلة المولية لـ NH_3 17.0 g/mol=

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

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 أرقـــام معنوية، وكذلك الإجابة. لاحظ أن وحدات القياس قد ألغى بعضهـــا بعضًا. وتكتب الإجابة في صورة صحيحة دون أي وحدة قياس.

مسائل تدريبية

1. احسب نسبة معدل التدفق لكل من النيتروجين N_2 والنيون 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 mol /min ؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



قوة كبيرة على وحدة المساحة



قوة صغيرة على وحدة المساحة

الشكل 4-1 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.

استنتج 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 4-1** 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.

تبذل 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 كلّما ارتفعنا إلى أعلى؛ حيث يقل تأثير الجاذبية الأرضية هناك. ويكون عدد جسيمات الهواء فوق المرتفعات العالية أقل، فيسبّب 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 سنتمتر مربع تقريبًا.

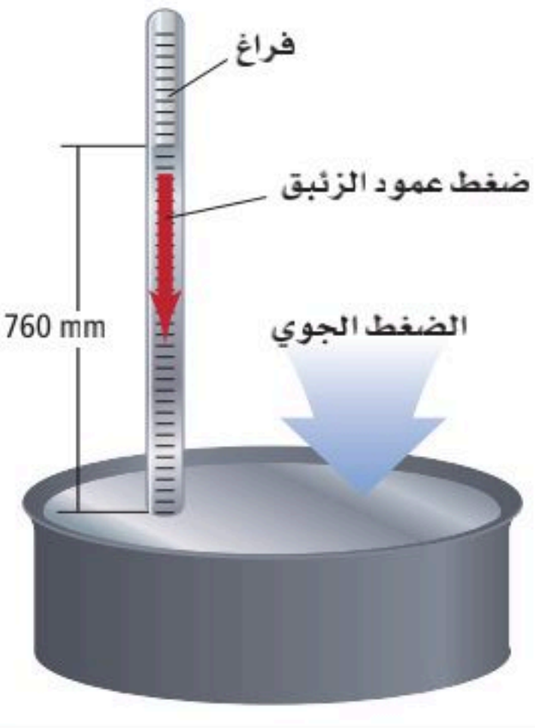
وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

قياس الضغط الجوي لقد كان عالم الفيزياء الإيطالي تورشلي (1608-1647م) أول من أثبت وجود ضغـــط للهواء؛ فقد لاحظ أن مضخة الماء لا يمكنها أن تضخ الماء إلى ارتفاع يتجاوز عشرة أمتار. وقد افترض أن ارتفاع الســائل في أنبوب يختلف باختلاف كثافته. ولاختبار هذه الفرضية صمّم تورشلي جهازًا، كما هو موضح في **الشكل 5-1**، حيث ملأ أنبوبًا زجاجيًّا رفيعًا مغلقًا من أحد طرفيه بالزئبق، وأغلق الطرف المفتوح بإبهامه لكيلا يسمح للهواء بالدخول، ثم نكّس 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 تورشـــلي يعرّف الضغط الجوي بأنه وزن عمود من الزئبق طوله 76cm .

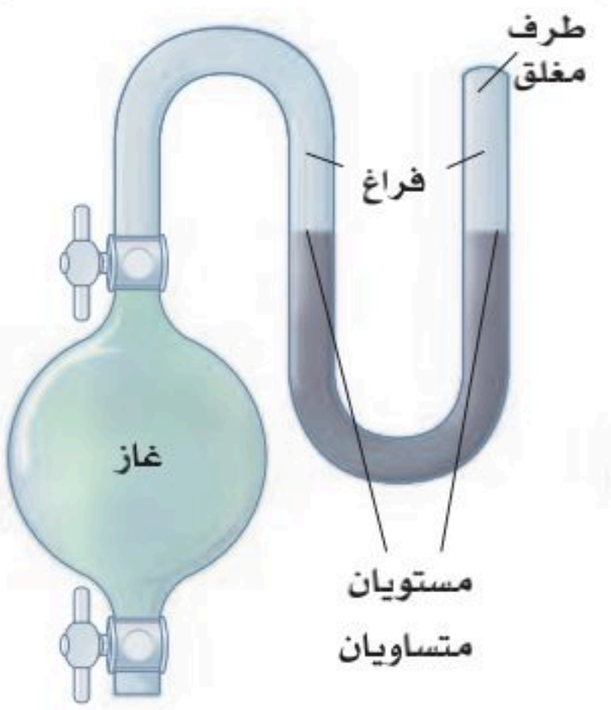
البارومـتر يدعى الجهاز الذي صمّمه تورشـــلي **البارومتر**، وهو أداة تستخدم لقياس الضغط الجوي. وكما أوضح تورشـــلي، فإن ارتفاع مستوى الزئبق في البارومتر عند سطح البحر يســـاوي 760 mm تقريبًا. ويحدّد ارتفاع الزئبق قوتين، إحداهمـــا الجاذبية الأرضية المؤثـــرة في الزئبق بقوة ثابتة إلى أســـفل، والأخرى القوة المعارضة للجاذبية، واتجاههـــا إلى أعلى، وتكون بفعل الهواء الضاغط على سطح الزئبق إلى أسفل. ويتغير ضغط الهواء بتغير درجة حرارة ورطوبة الجو.

المانومتر أداة تســـتخدم 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 حســـاب الفرق في ارتفاع مستوى الزئبق في طرفي الأنبوب.

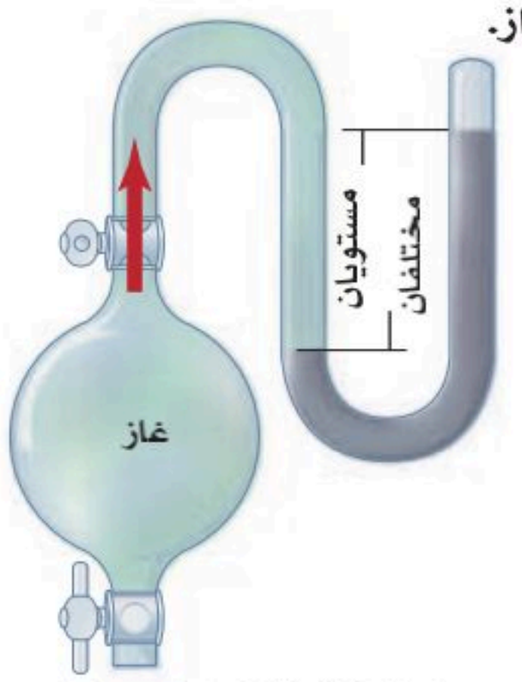
وحـدات قياس الضغط إن وحدة قياس الضغط هي باســـكال (Pa) نسبة إلى العالم الرياضي والفيلســـوف الفرنسي باســـكال (1923- 1962م). وقد اشتقت وحدة باســـكال من وحدة قياس القوة العالمية نيوتن (N). وتساوي وحدة **باسكال** مقدار قوة واحد نيوتن لكل متر مربع ($1Pa=1N/m^2$). وما زالت مجالات كثيرة من العلوم تستخدم 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).



الشـكل 5-1 كان تورشـلي أول مـن صمم جهازًا يبين أن للغلاف الجوي ضغطًا.



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



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

الشكل 6-1 المانومـتر جهاز يقيس ضغط الغاز المحصور.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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

الجدول 1-1 مقارنة بين وحدات قياس الضغط

الوحدة	العدد المساوي لـ 1atm	العدد المساوي لِـ 1kPa
كيلو باسكال (kPa)	101.3 kPa	—
الضغط الجوي (atm)	—	0.009869 atm
ملمترات زئبق (mm Hg)	760 mm Hg	7.501 mm Hg
تور (torr)	760 torr	7.501 torr
رطل/بوصة مربعة (psi or lb/in^2)	14.7 psi	0.145 psi
بار (bar)	1.01 bar	100 kPa

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 m ولكنّك على ارتفاع 1800 m عن سطح البحر، علمًا بأن مقياس العمق لا يعوّض فرق هذا الارتفاع؟
3. **حلّل** 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

قانون دالتون للضغوط الجزئية وجد دالتون Dalton في أثناء دراسته لخصائص الغازات أن لكل غاز في خليط من الغازات ضغطًا خاصًّا به. ويوضح **الشكل 7-1** **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

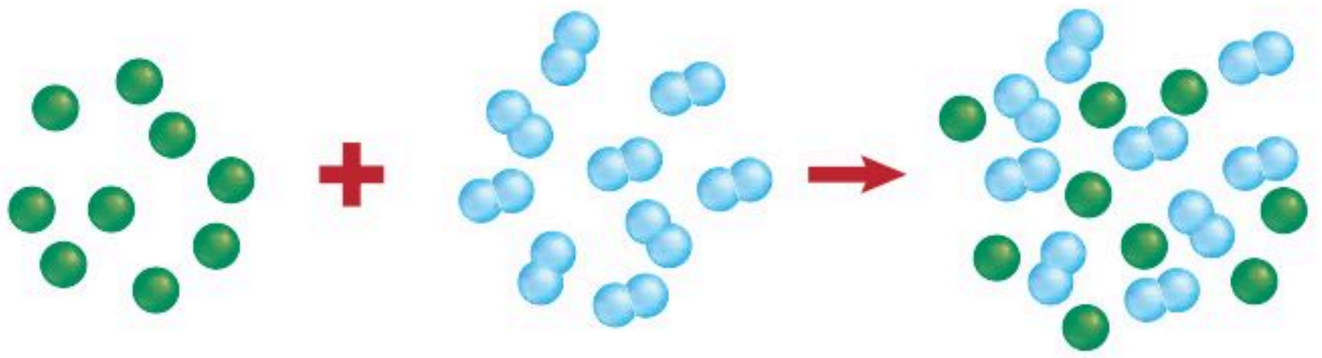
P_{total} تمثل مجموع الضغوط (الضغط الكلي)

P_1 و P_2 و P_3 تمثل الضغوط الجزئية للغازات وحتى الضغط الجزئي لآخر غاز في الخليط P_n

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

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

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



الشكل 7-1 عند خلط الغازات، يكون الضغط الكلي للخليط مساويًا لمجموع الضغوط الجزئية للغازات في الخليط.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثال 2-1

الضغط الجزئي للغاز إذا كان الضغط الكلي لخليط من الغازات مكوّنًا من الأكسجين O_2 وثاني أكسيد الكربون CO_2 والنيتروجين N_2 يساوي 0.97 atm، فاحسب الضغط الجزئي للأكسجين، علمًا بأن الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون 0.70 atm وللنيتروجين (0.12 atm).

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

المعطيات

$P\,\mathrm{N}\,2 = 0.12\ \mathrm{atm}$

$P\,\mathrm{CO}\,2 = 0.70\ \mathrm{atm}$

$P_{\mathrm{total}} = 0.97\ \mathrm{atm}$

المطلوب

$\boldsymbol{P\,\mathrm{O}\,2 = ?\ \mathrm{atm}}$

2 حساب المطلوب

اكتب قانون دالتون للضغوط الجزئية

$\mathrm{P}_{\mathrm{total}} = \mathrm{P}\,\mathrm{N}\,2 + \mathrm{P}\,\mathrm{CO}\,2 + \boldsymbol{P_{O_2}}$

حل لإيجاد $\boldsymbol{P\,\mathrm{O}\,2}$

$\boldsymbol{P\,O\,2} = \mathrm{P}_{\mathrm{total}} - \mathrm{P}\,\mathrm{CO}\,2 - \boldsymbol{P\,N\,2}$

عوّض بقيم الضغوط الجزئية $\boldsymbol{P\,\mathrm{CO}}$، $\boldsymbol{P\,\mathrm{N}\,2} = 0.12\ \mathrm{atm}$، $2 = 0.70\ \mathrm{atm}$، $\boldsymbol{P_{\mathrm{total}}} = 0.97\ \mathrm{atm}$

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

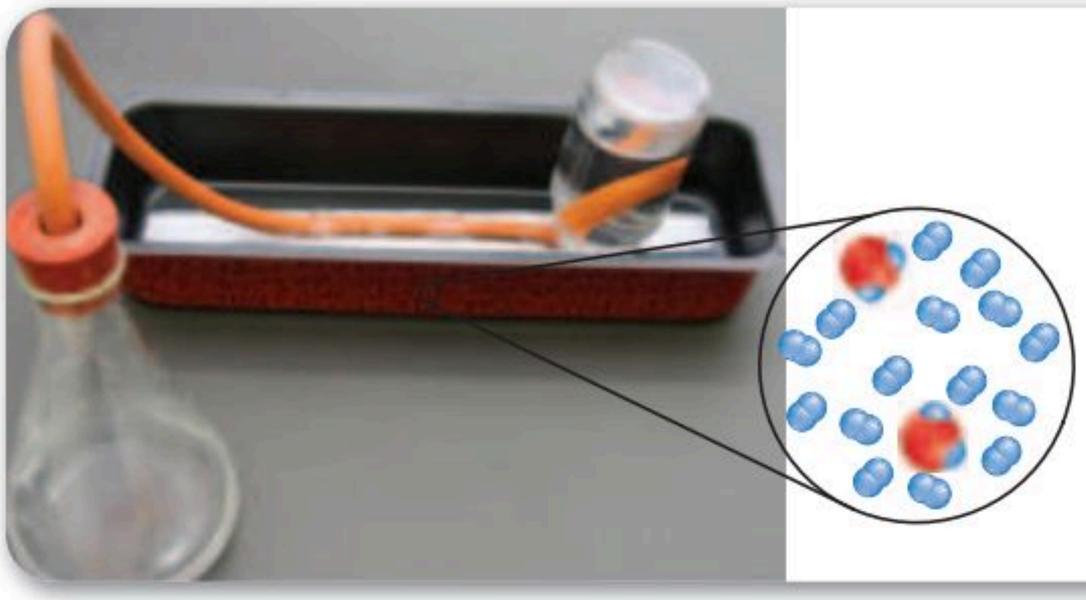
$\boldsymbol{P_{O_2} = 0.15\ \mathrm{atm}}$

3 تقويم الإجابة عند إضافة القيمة المحسوبة للضغط الجزئي للأكسجين إلى بقية الضغوط الجزئية يكون الناتج مساويًا للضغط الكلي وهو (0.97) atm.

مسائل تدريبية

4. **احسب** الضغط الجزئي لغاز الهيدروجين في خليط من غاز الهيليوم وغاز الهيدروجين، علمًا بأن الضغط الكلي 600 mm Hg والضغط الجزئي للهيليوم يساوي 439 mm Hg.
5. **أوجد** الضغط الكلي لخليط غاز مكوّن من أربعة غازات بضغوط جزئية على النحو الآتي: 5.00 kPa و4.56 kPa و 3.02 kPa و 1.20 kPa
6. **أوجد** الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون في خليط من الغازات، علمًا بأن ضغط الغازات الكلي يساوي 30.4 kPa والضغوط الجزئية للغازين الآخرين هما 16.5kPa و 3.7kPa
7. **تحفيز** الهواء خليط من الغازات يحتوي على غاز النيتروجين بنسبة 78% وغاز الأكسجين 21% وغاز الأرجون 1% (وهناك كميات ضئيلة من الغازات الأخرى). فإذا علمت أن الضغط الجوي يساوي 760 mmHg، فما الضغوط الجزئية لكل من النيتروجين والأكسجين والأرجون في الهواء؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 8-1 يتفاعل حمض الكبريتيك H_2SO_4 مع الخارصين Zn لإنتاج غاز الهيدروجين الذي يتم جمعه عند درجة حرارة 20°C.

احسب الضغط الجزئي لغاز الهيدروجين عند درجة حرارة 20°C إذا علمت أن الضغط الكلي لخليط غازي الهيدروجين وبخار الماء هو 100.0kPa.

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 8-1**، فيحل الغاز محل الماء ويكون الغاز الناتج مزيجًا 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°C هو (2.3 kPa). ويمكنك حساب الضغط الجزئي لغاز الهيدروجين بطرح الضغط الجزئي لبخار الماء من الضغط الكلي.

وستعرف لاحقًا 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

- يُستخدم قانون جراهام للمقارنة بين معدل انتشار غازين.
- تفسر نظرية الحركة الجزيئية خصائص الغازات اعتمادًا على حجم جسيماتها وحركتها وطاقتها.
- يُستخدم قانون دالتون للضغوط الجزئية لتحديد ضغط كل غاز في خليط من الغازات.

8. **الفكرة الرئيسة** **فسّر** سبب استخدام نظرية الحركة الجزيئية لتفسير سلوك الغازات.
9. **صف** كيف تؤثر كتلة جسيم الغاز في معدل انتشاره وتدفقه؟
10. **وضّح** 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-2

قوى التجاذب Forces of Attraction

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

الفكرة الرئيسة **تحدِّد القوى بين الجزيئات. ومنها قوى التشتت، والقوى الثنائية القطبية، والروابط الهيدروجينية. حالةَ المادة عند درجة حرارة معينة.**

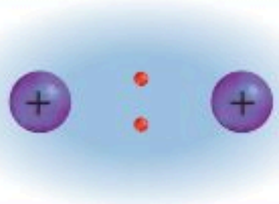
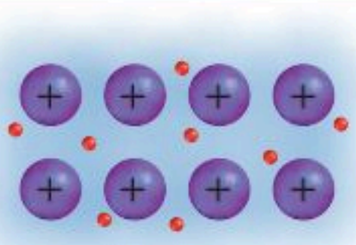
الربط مع الحياة تعلم أن الماء من المواد النادرة التي توجد في صورة صلب أو سائل أو غاز في الظروف العادية. وهذه الخاصية الفريدة ـ بالإضافة إلى الخصائص الأخرى التي أودعها الخالق عز وجل فيه ـ تجعله منبع هذه الحياة .

القوى بين الجزيئات Intermolecular Forces

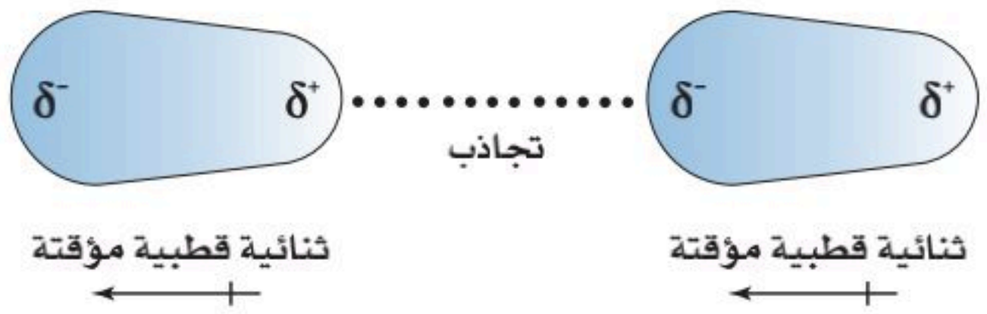
لو كان لجسيمات المادة جميعها عند درجة حرارة الغرفة متوسط الطاقة الحركية نفسه، فما سبب وجود مواد غازية وأخرى صلبة أو سائلة؟ تكمن الإجابة عن هذا التساؤل في قوى التجاذب في الجسيمات نفسها، وفيما بينها. وتسمى قوى التجاذب التي تربط بين جسيمات المادة بروابط أيونية وتساهمية وفلزية بقوى الترابط الجزيئية (intramolecular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

الجدول 2-1 **المقارنة بين قوى التجاذب داخل الجزيئات**

نوع الرابطة	النموذج	أسس التجاذب	مثال
الأيونية		الشحنات السالبة والموجبة.	NaCl
التساهمية		النواة الموجبة والإلكترونات المشتركة.	H_2
الفلزية		الأيونات الفلزية الموجبة والإلكترونات المتحركة.	Fe

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 9-1 تتنافر السحب الإلكترونية عند اقتراب جزيئين أحدهما من الآخر، مكونة ثنائية قطبية مؤقتة؛ حيث تمثل إشارة δ منطقة الشحنة الجزئية على الجزيء.

فسر ماذا تمثل إشارتا δ+ و δ− 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.

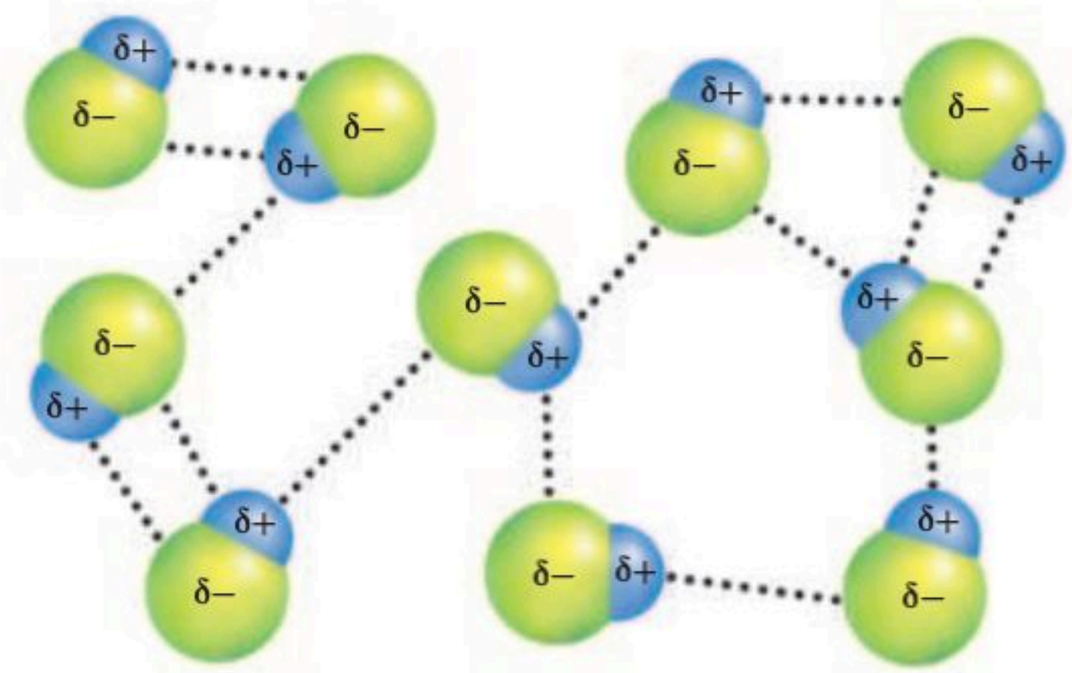
تسمى قوة الترابط بين جزيئات الأكسجين **قوى التشتت** وهي قوى تجاذب ضعيفة تنشأ بين الجزيئات غير القطبية، وتنتج هذه القوى الضعيفة عن إزاحة مؤقتة في كثافة الإلكترونات في السحب الإلكترونية، وتعرف قوى التشتت أحيانًا بقوى (لندن)؛ نسبة إلى الفيزيائي الألماني-الأمريكي فريتز لندن الذي كان أول من وصف هذه القوى.

تذكر أيضًا أن حركة الإلكترونات دائمة داخل السحب الإلكترونية. وعندما يقترب جزيئان أحدهما من الآخر ـ ولا سيما عند تصادمهما ـ فإن السحب الإلكترونية لأحدهما تتنافر مع السحب الإلكترونية للجزيء الآخر، فتصبح كثافة الإلكترونات حول كل نواة ـ ولو لحظة ـ لكل سحابة إلكترونية أكبر في جهة عن الأخرى، فيشكّل 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 كلّما 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



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

حدّد أنواع القوى الممثلة في الشكل.

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

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

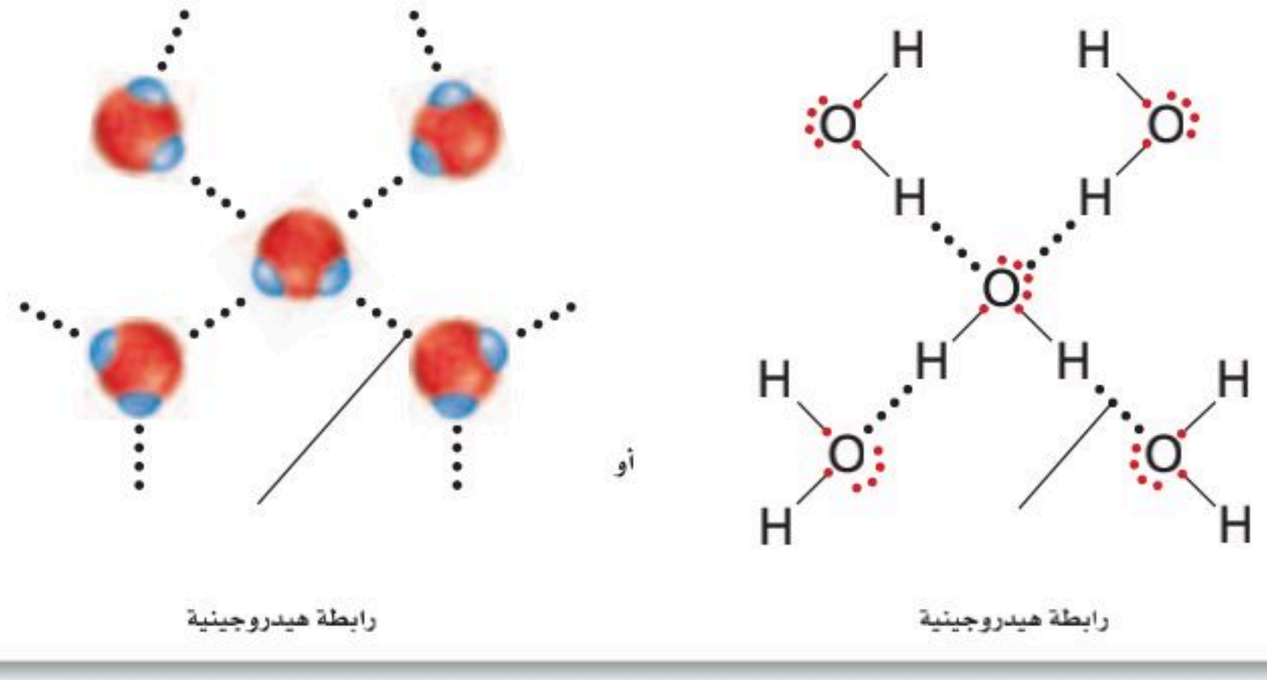
قوى ثنائية القطبية تحتوي الجزيئات القطبية على ثنائية قطبية دائمة، أي أن بعض المناطق في الجزيء القطبي تكون دائمًا سالبة جزئيًا، وبعضها الآخر يكون موجبًا جزئيًّا، مما يخلق تجاذبًا بين هاتين المنطقتين المختلفتي الشحنة، وهذا ما يسمى **ثنائية القطبية** . أما الجزيئات القطبية المجاورة فتوجه نفسها، بحيث تصطف الشحنات المتعاكسة معًا .

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



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

وتتغلب عادة الروابط الهيدروجينية على كل من قوى التشتت والقوى الثنائية القطبية. ولكي تتكوّن **الرابطة الهيدروجينية** لا بد للهيدروجين أن يرتبط إما مع ذرة فلور أو أكسجين أو نيتروجين؛ حيث تكون كهروسالبية 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 الرابط مع ذرة أكسجين في جزيء آخر، كما هو موضح في **الشكل 11-1**.

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 3-1**. من السهل تفسير الفرق بين الماء والميثان؛ فجزيئات الميثان غير قطبية، والقوى الوحيدة التي تربط بين جزيئاتها هي قوى

الجدول 3-1 خواص بعض المركبات الجزيئية

المركب	الشكل الفراغي	الكتلة المولية (g/mol)	درجة الغليان (c°)
الماء (H_2O)		18.0	100
الميثان (CH_4)		16.0	−164
الأمونيا (NH_3)		17.0	−33.4

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

التشـــتت الضعيفة. أما الفرق بين الماء والأمونيا فغير واضح؛ حيث يمكن لجزيئات هذين المركبين تكويـــن روابط هيدروجينية. ولأن الأمونيا تكون غـــازًا عند درجة حرارة الغرفة فذلك يدل على أن قوى الترابط بين جزيئات الأمونيا ليســـت 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 فـــإن الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء أكثر قوة من الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الأمونيا.

التقويم 1-2

الخلاصة

- قـــوى الترابط داخل الجزيئـــات أقوى من القوى بين الجزيئات.
- قوى التشـــتت قـــوى بـــين الجزيئات غير القطبية تحدث بين أقطاب مؤقتة.
- تحدث قـــوى ثنائية القطبية بـــين الجزيئات القطبية.

14. الفكرة الرئيسة **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، وأيّها 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 تســـاهمية أحادية في جـــزيء الأوكتان C_8H_{18}. كيف يؤثر عدد الروابط في قوى التشتت في كلا المركبين؟ وأي المركبين يكون في الحالة الغازية عند درجة حرارة الغرفة، وأيهما في الحالة السائلة؟

وزارة التعـــليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–3

المواد السائلة والمواد الصلبة

Liquids and Solids

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
التآصل
المواد الصلبة غير المتبلورة

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

الربط مع الحياة هل فكرت يومًا لماذا يكون سكب القَطْر (مركز محلول السكر) (Syrup) المحفوظ في الثلاجة صعبًا 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 طُوّرت لتفسير سلوك الغازات، إلاّ أنه يمكن تطبيقها أيضًا على السوائل والمواد الصلبة، آخذين في عين الاعتبار قوى الترابط بين جسيماتها، إضافة إلى الطاقة الحركية لجسيماتها.

تعلم مما درست سابقًا أن السوائل تأخذ شكل الوعاء الذي توجد فيه، ولكنها تحتفظ بحجمها ثابتًا، أي أن جسيماتها تنساب لتتكيف مع شكل الوعاء، ولكن السوائل لا تتمدّد لتملأ الوعاء تمامًا، كما هو موضح في **الشكل 12-1**. وبالرجوع إلى نظرية الحركة الجزيئية نجد أن جسيمات السائل 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°C وضغط جوي 1atm. وتكون كثافة السوائل أكبر كثيرًا من أبخرتها عند الظروف الجوية نفسها. فكثافة الماء السائل مثلًا أكثر 1250 مرة تقريبًا من كثافة بخار الماء عند درجة حرارة 25°C وضغط جوي 1atm. ونظرًا 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 معًا. وتختلف السوائل عن الغازات في أنها تعد غير قابلة للضغط في كثير من التطبيقات، والتغير في حجمها صغير جدًّا؛ لأن جسيمات السائل متراصَّة



الشكل 12-1 تنساب السوائل لتأخذ شكل الوعاء الذي توجد فيه، ولكنها لا تتمدد كالغازات لتملأ الوعاء.

استنتج سبب وجود السائل عند المستوى نفسه في كل من الأنابيب المتصلة معًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

بإحكام، ويتطلب الأمر ممارسة ضغط هائل عليه لتقليل حجمه مقدارًا ضئيلًا جدًّا.

الميوعة تصنف الغازات والسوائل على أنها موائع، بسبب قابليتها للانتشار والانسياب. يوضح **الشكل 13-1** 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 تسرّب في الطابق السفلي مثلًا 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 تحذّر الناس، وتمكّنهم من معرفة مكان تسرب الغاز، فيتمكن ساكنوا المنزل من إغلاق مصدر الغاز المتسرِّب، وفتح النوافذ للسماح للغاز بالانتشار، والاتصال بشركة الغاز لإصلاح مكان التسرب.

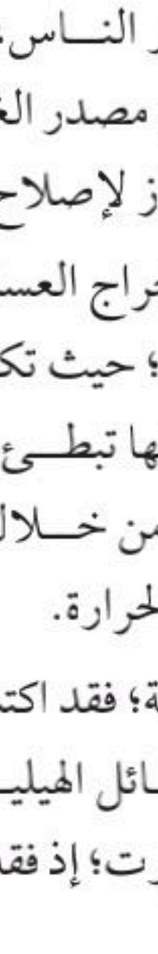
اللزوجة هي خاصية تلحظها كلما حاولت إخراج العسل من القارورة. واللزوجة هي مقياس مقاومة السائل للتدفق والانسياب؛ حيث تكون جسيمات السائل قريبة بعضها من بعض، حتى أن قوى التجاذب بينها تبطئ من حركتها عندما يتجاوز بعضها بعضًا. ويمكن تحديد لزوجة السائل من خلال نوع القوى بين الجزيئات وحجم الجسيمات وشكلها، إضافة 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 $-270.998^{\circ}C$ فوجدوا أن خصائصه قد تغيرت؛ إذ فقد سائل الهيليوم لزوجته،

الشكل 13-1 للغازات والسوائل القدرة على الانتشار والانسياب وتظهر هذه الصورة انسياب أحد السوائل عبر الأخر.



الشكل 14-1 دراسة حالات المادة
لقد أدت الاكتشافات العلمية إلى فهم أكبر عن حالات المادة.



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



400 قبل الميلاد طوّر الفيلسوف ديمقريطس النظرية القائمة على أن المواد كلها تتكون من أجزاء صغيرة لا تتجزأ سمّاها ذرات.

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

1643 بعد الميلاد برهن اختراع البارومتر على وجود وزن للهواء.

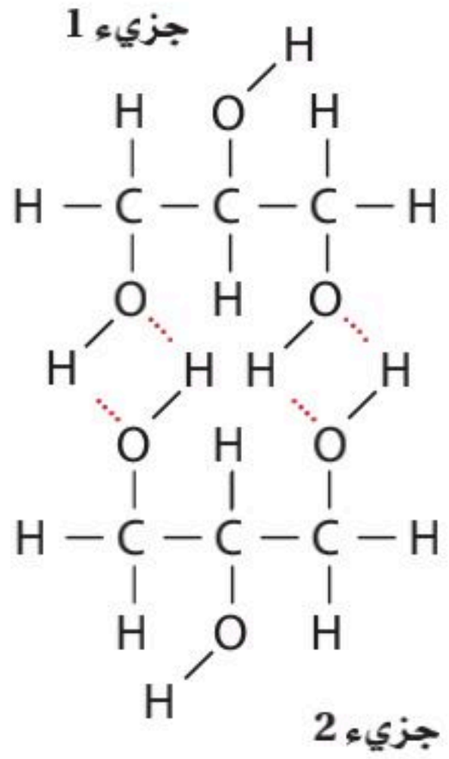
1734 بعد الميلاد اقترح دانيال بيرنولي أن ضغط الغاز ناتج عن تصادم جسيمات الغاز بجدران الوعاء المحصور داخله.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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

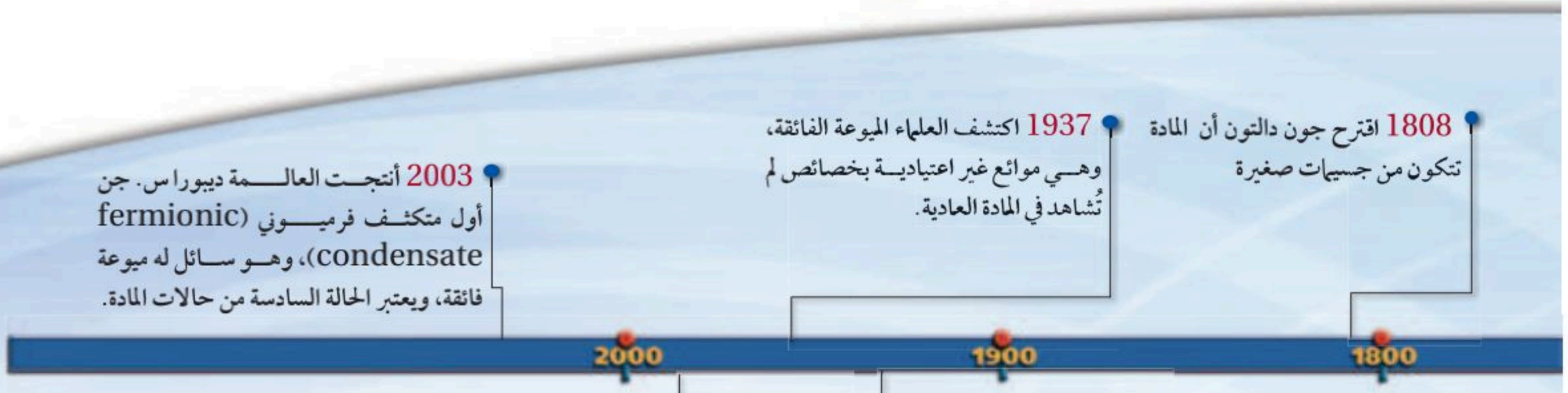
قوى التجاذب كلما كانت القوى بين الجزيئات في السوائل كبيرة زادت درجة لزوجتها. فمثلا تعد مادة الجليسرول التي تستخدم في المختبر في تشحيم الأدوات سائلًا لزجًا. ويوضح **الشكل 15-1** الصيغ البنائية للرابطة الهيدروجينية التي تجعل الجليسرول مادة لزجة جدًّا. حيث تستطيع ذرات الهيدروجين المرتبطة مع ذرات الأكسجين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

حجم الجسيمات وشكلها يؤثر حجم جسيمات المادة وشكلها في لزوجتها. تذَكر 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 ـ ومنها الزيت المستخدم في الطبخ أو زيت المحركات ـ أكبر من لزوجة الجسيمات ذات السلاسل القصيرة، على افتراض أنّ الجسيمات تبذل النوع نفسه من قوى التجاذب. ففي السلاسل الطويلة تكون المسافات بين ذرات الجسيمات المتجاورة قصيرة جدًّا، وبهذا تكون فرصة حدوث تجاذب بين الذرات أكبر.



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

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



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

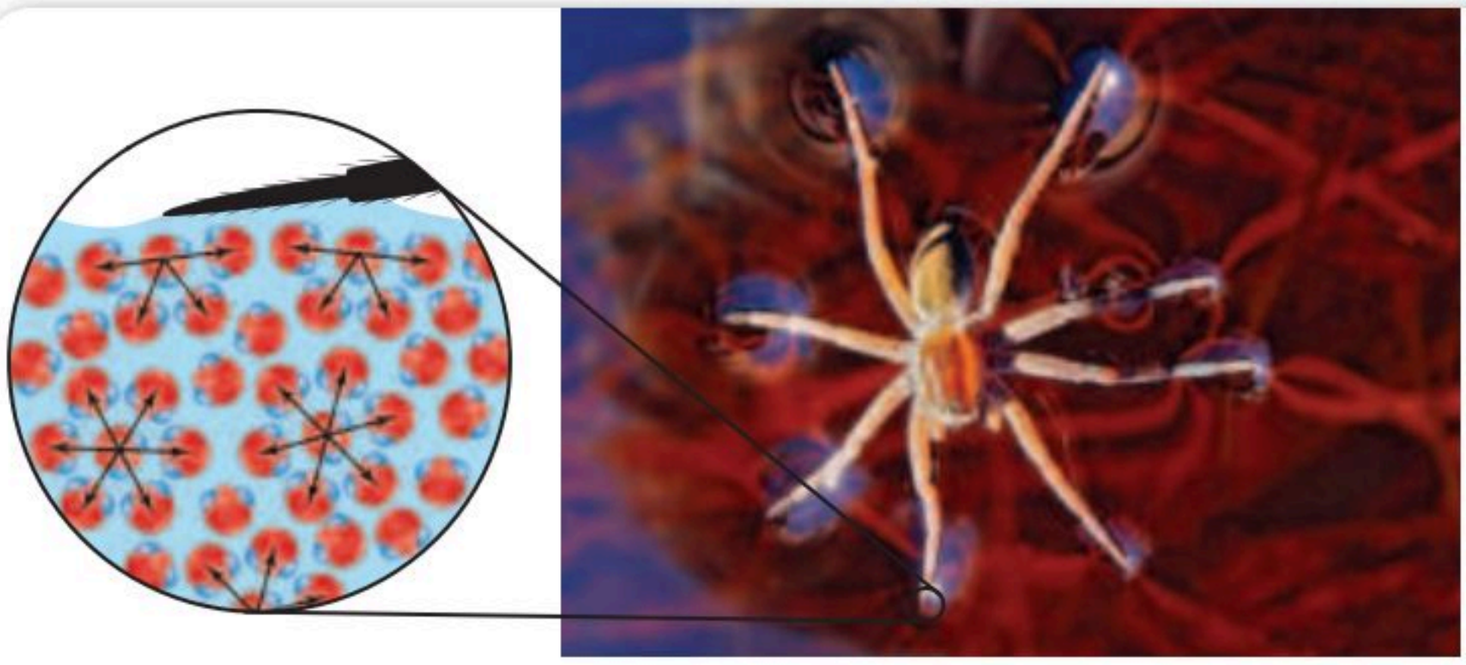
درجة الحرارة تنخفض اللزوجة مع ارتفاع درجة الحرارة، فلا ينتشر زيت الطبخ في المقلاة إلاّ عند تسخينه، حيث إن زيادة درجة الحرارة تزيد الطاقة الحركية لجسيمات الزيت. وتساعد هذه الطاقة الجسيمات على التغلب على القوى بين الجزيئية التي يرتبط بعضها مع بعض، وتمنعها من الانسياب.

ويعدّ زيت المحرك الذي يقلل من احتكاك الأجزاء المتحركة فيه مثالًا آخر على تأثير درجة الحرارة في اللزوجة. ولذلك استعمل الناس قديمًا مزيجًا مختلفًا من زيت المحرك في الصيف والشتاء، فصُمّم زيت يُستخدم في الشتاء لينساب عند درجات حرارة منخفضة، وآخر في الصيف أكثر لزوجة ليناسب درجات الحرارة المرتفعة جدًّا 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 نسبيًّا عند درجات الحرارة المنخفضة، أما عند ارتفاع درجة الحرارة فيتحوّل شكل جسيمات المواد المضافة إلى خيوط طويلة تتشابك مع جسيمات زيت المحرك لترفع لزوجته.

ماذا قرأت؟ **استنتج** لماذا يجب أن يبقى زيت المحرك لزجًا؟

التوتر السطحي لا يتساوى تأثير القوى بين الجزيئات في جسيمات السائل جميعها، كما يوضح **الشكل 16-1**؛ 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. وتُسمّى الطاقة اللازمة لزيادة مساحة سطح السائل بمقدار معين **التوتر السطحي**. وهذه الظاهرة مقياس لمقدار قوة السحب إلى الداخل بوساطة الجسيمات الموجودة داخل السائل.

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



تسمح ظاهرة التوتر السطحي للعنكبوت بالسير على سطح الماء.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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 كرويةَ 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 16-1** هو الذي يساعد العنكبوت على السير والوقوف على سطح ماء البركة.

وهذه القوى التي تمكّن 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 مستوٍ عند وضعه في أوعية ضيّقة، كالأنابيب الزجاجية، انظر **الشكل 17-1**؛ حيث يكون السطح على شكل هلال مقعر ينخفض في منطقة الوسط. ويوضح **الشكل 17-1** 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.

الخاصيَة الشِعرية يرتفع الماء إلى أعلى في الأنبوب الأسطواني إذا كان رفيعًا جدًّا. وتسمى هذه الأنابيب الرفيعة الأنابيب الشِّعرية. كما تسمى حركة ارتفاع الماء داخل هذه الأنابيب الخاصية الشِّعرية التي تفسّر سبب امتصاص المناديل الورقية لكميات كبيرة من الماء؛ حيث يُسحب الماء داخل الفراغات الضيّقة بين ألياف السليلوز الموجودة في المناديل الورقية، باستخدام الخاصية الشِّعرية، إضافة إلى تكوّن روابط هيدروجينية بين جسيمات الماء وجسيمات السليلوز.

المفردات

الاستخدامات العلمية والشائعة

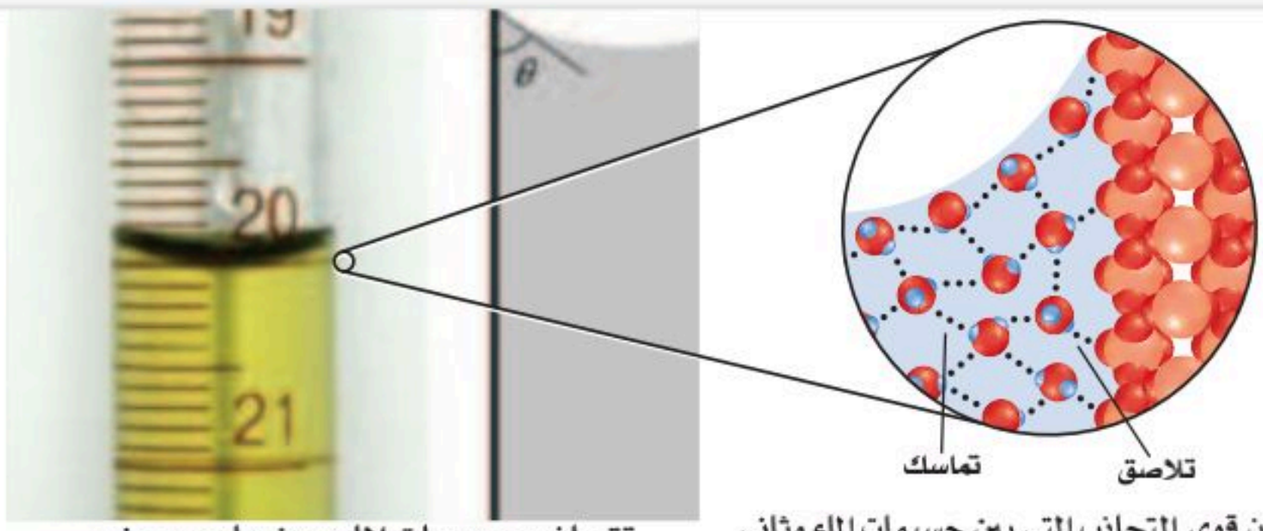
القوة

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

توجد قوة الجاذبية بين أي جسمين لهما كتلة، وتتناسب القوة طرديًّا 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.



إن قوى التجاذب التي بين جسيمات الماء وثاني أكسيد السليكون في الزجاج تؤثر على جسيمات الماء لتدفعها نحو الأعلى وذلك نتيجة قوى التلاصق.

تتجاذب جسيمات الماء بعضها مع بعض - تماسك - وتتجاذب مع جسيمات ثاني أكسيد السليكون في الزجاج - تلاصق.

الشكل 17-1 لجسيمات الماء خاصيتا التماسك والتلاصق.

استنتج لماذا يكون مستوى الماء مرتفعًا داخل الأنابيب الشعرية الدقيقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

المواد الصلبة Solids

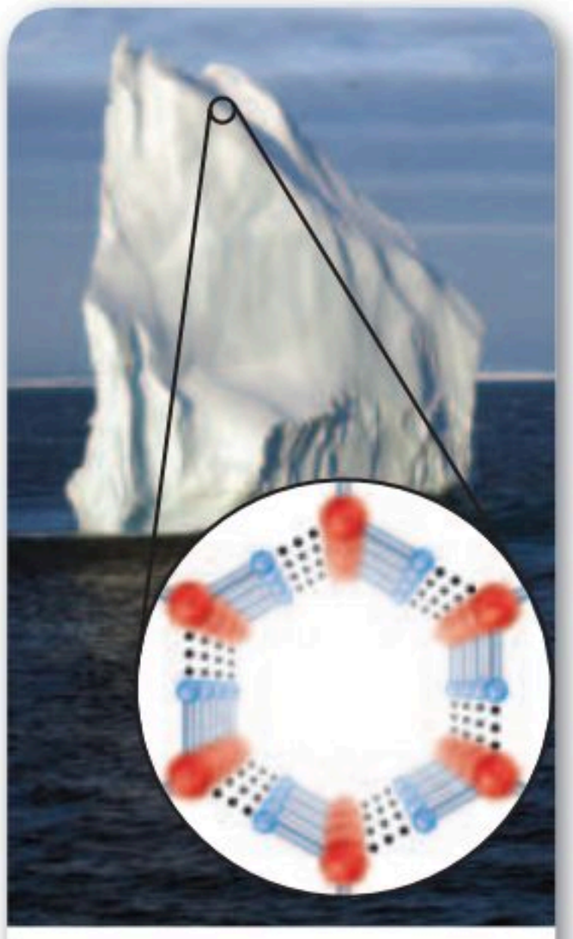
هل تساءلت يومًا عن سبب وجود المواد الصلبة بشكل وحجم محددين؟ حسب نظرية الحركة الجزيئية فإن لمول واحد من جسيمات المادة الصلبة كمية الطاقة الحركية نفسها الموجودة في مول واحد من المادة السائلة أو الغازية عند درجة الحرارة نفسها. وحسب التعريف فإن جسيمات المادة الصلبة يجب أن تكون في حركة ثابتة. ولكي تبقى المادة 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 نظامًا في حالة الصلابة أكثر منه في حالة السيولة، وبسبب هذا النظام لا تعتبر المادة الصلبة مائعًا بينما يمكن تصنيف السوائل والغازات على أنها موائع.

كثافة المواد الصلبة تكون جسيمات المادة الصلبة عمومًا 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% تقريبًا في الكثافة بين المواد في الحالة الصلبة والحالة السائلة. ولأن جسيمات المواد الصلبة متقاربة ومتراصة فإن مقدارًا عاديًّا من الضغط لن يُحدث تغييرًا في حجمها.

لا يمكنك توقع نسبة كثافة الثلج الصلب إلى الماء السائل معتمدًا 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 18-1** السبب في هذه الحالة الاستثنائية للماء، فعندما يتجمد الماء يكوّن كل جزيء ماء أربع روابط هيدروجينية مع أربعة جسيمات متجاورة، ونتيجة لهذا تكون جسيمات الماء في الثلج أقل تقاربًا من بعض مما في الماء السائل.

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

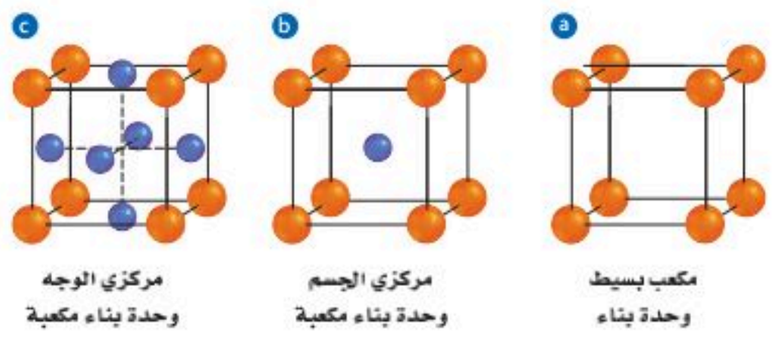
المواد الصلبة البلورية على الرغم من أن كثافة الثلج حالة غير عادية إلاّ أن جسيمات الثلج متراصة كباقي المواد الصلبة بطريقة يسهل التنبؤ بها. **فالمادة الصلبة البلورية** مادة ذراتها أو أيوناتها أو جزيئاتها مرتبة في شكل هندسي منتظم، ويمكن تمثيل مواقع الجسيمات في البلورة في صورة نقاط ضمن إطار يسمى الشبكة البلورية.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



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

مهن في الكيمياء

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



الشكل 19-1 تبين هذه الرسوم ثلاث طرائق لترتيب الجسيمات في الشبكة البلورية، حيث تمثل كل كرة جسيمًا. 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

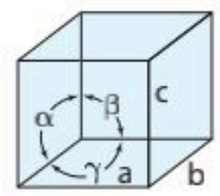
وحدة البناء هي أصغر ترتيب للذرات في الشبكة البلورية يحمل التماثل نفسه، كما في البلورة ككل. وكما درست سابقًا، فوحدة البناء هي نموذج مصغّر من البناء الأكبر الكامل، ويمكن النظر إلى وحدة البناء على أنّ شكلها يحدد شكلَ البلورة كاملة.

يوضح **الجدول 4-1** سبعة تصنيفات للبلورات بناءً على الشكل، وتختلف أشكال البلورات بسبب أوجه أو سطوح وحدات البناء، التي لا تلتقي دائمًا في زوايا قائمة. كما أن أطراف تلك السطوح مختلفة في الطول. وقد استخدمت العلامات a، b، c في الجدول؛ لبيان الأطراف، وقد استخدمت العلامات α, β, γ لبيان الزوايا التي تلتقي عندها السطوح معًا.

الجدول 4-1 وحدات البناء



هالايت

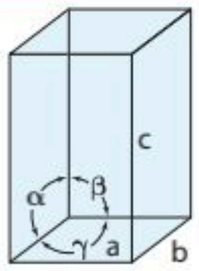


$a = b = c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

مكعب



فيزوفيانايت

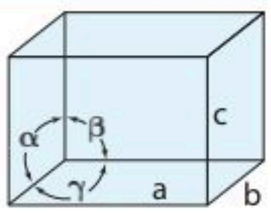


$a = b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

رباعي الأوجه



أراجونايت

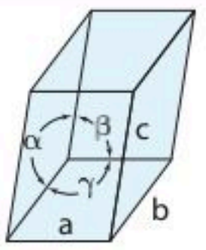


$a \neq b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

متوازي مستطيلات



ميكروكلاين

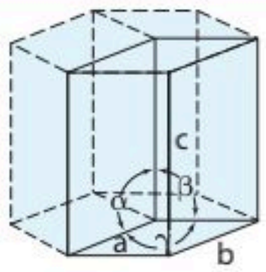


$a \neq b \neq c$
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

ثلاثي الميل



تورمالين

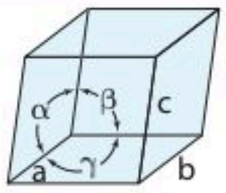


$a = b \neq c$
$\alpha = \beta = 90°,\ \gamma = 120°$

سداسي الأوجه

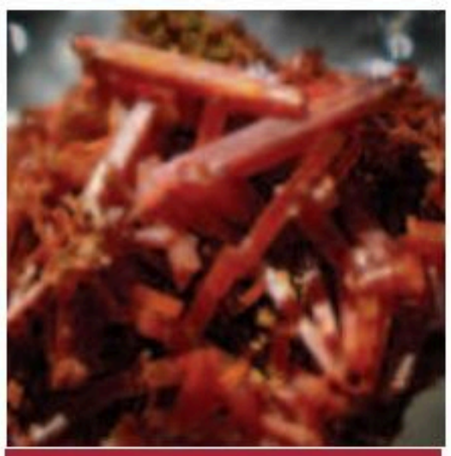


زمرد

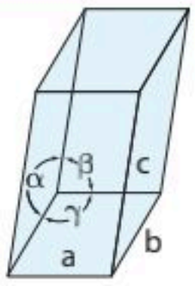


$a = b = c$
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$

معيني



كروسيت



$a \neq b \neq c$
$\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$

أحادي الميل

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الجدول 5-1 أنواع المواد الصلبة البلورية

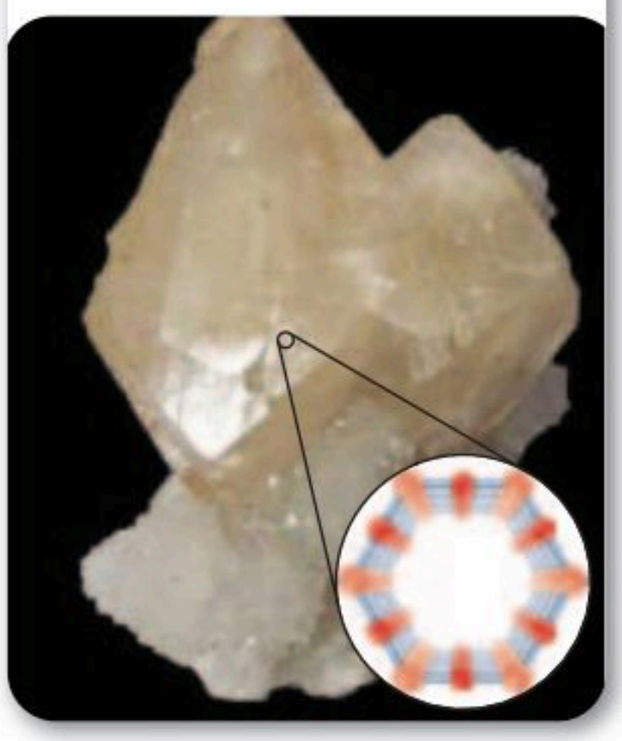
النوع	وحدة الجسيمات	خصائص الحالة الصلبة	أمثلة
ذرية	الذرات	لينة إلى لينة جدًّا، درجة انصهار منخفضة، رديئة التوصيل.	عناصر المجموعة 18
الجزيئية	جسيمات	متوسطة اللين، تتفاوت درجات الانصهار بين المنخفضة والمرتفعة نسبيًّا، رديئة التوصيل.	I_2, H_2O, NH_3, CO_2, $C_{12}H_{22}O_{11}$
التساهمية الشبكية	ترتبط الذرات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

تصنيف المواد الصلبة البلورية تصنف هذه المواد تبعًا لنوع الجسيمات المكونة لها، وكيفية ارتباط هذه الجسيمات بعضها ببعض إلى خمس فئات، هي: الصلبة الذرية، الصلبة الجزيئية، الصلبة التساهمية الشبكية، الصلبة الأيونية، الصلبة الفلزية. ويلخص **الجدول 5-1** 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 الجزيئية ترتبط الجسيمات في هذه المواد إما بقوى التشتت، أو القوى الثنائية القطبية أو الروابط الهيدروجينية. ولا تكون معظم المواد الجزيئية في الحالة الصلبة عند درجة حرارة الغرفة، حتى الماء الذي يستطيع تكوين روابط هيدروجينية قوية يكون سائلاً عند درجة حرارة الغرفة. إلا أنَّ بعضَ المركبات الجزيئية ـ ومنها السكر ـ صلبة عند درجة حرارة الغرفة؛ بسبب كتلتها الجزيئية الكبيرة. تحتوي الجزيئات الكبيرة على الكثير من الروابط الضعيفة التي تجتمع معًا لربط الجزيئات بعضها ببعض، وبسبب عدم احتواء المواد الصلبة الجزيئية 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 20-1** 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) **التآصل**.

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



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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 4-1 واعمل نماذج من الورق المقوى تمثل وحدات بناء البلورات الموضحة فيه.

تحليل النتائج

1. **قوِّم** أي النماذج له ثلاثة محاور متساوية الطول؟ ما وجه الاختلاف بينها؟
2. **حدِّد** أيّ النماذج تتضمن مربعًا ومستطيلًا؟
3. **حدِّد** 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 هشة، فعند طرق البلورة الأيونية تزاح 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. فمثلًا، ينصهر القصدير عند 232°C ، بينما ينصهر النيكل عند 1455°C. وتجعل الإلكترونات المتحركة الفلزات قابلةً للطرق والسحب، وعند تسليط قوة على الفلز تتحرك الإلكترونات لتجعل الأيونات مترابطة في مواقعها الجديدة. كما أن الإلكترونات المتحركة هي السبب أيضًا في جعل الفلزات موصلات جيدة للحرارة والكهرباء. وتستخدم الأسلاك الفلزية لتوصيل الكهرباء إلى البيوت، كما هو موضح في الشكل **21-1**.

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

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



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 22-1 استخدم الناس قديمًا 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 22-1** مواد صلبة غير متبلورة.

يمثل الزجاج والمطاط والكثير من المواد البلاستيكية مواد صلبة غير متبلورة. وقد بيّنت بعض الدراسات الحديثة احتمال وجود تركيب بلّوري 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 اللزوجة والتوتر السطحي والتلاصق والتماسك.
- تصنّف المواد الصلبة البلورية حسب الشكل والتركيب.

18. **قارن** بين ترتيب الجسيمات في المواد الصلبة والسائلة. الفكرة الرئيسة
19. **صف** العوامل المؤثرة في اللزوجة.
20. **فسّر** سبب استخدام الماء والصابون معًا لتنظيف الملابس، وليس الماء وحده.
21. **قارن** بين وحدة البناء والشبكة البلورية.
22. **صف** الفرق بين المواد الصلبة الجزيئية والمواد الصلبة التساهمية الشبكية.
23. **فسر** سبب تكوين سطح الماء بشكل هلالي في المخبار المدرج.
24. **استنتج** سبب تكون سطح الزئبق في المخبار المدرّج على صورة سطح محدب.
25. **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؟
26. **صمّم** من الألعاب المشهورة للأطفال رمي الحجارة الصغيرة بقوة وبشكل موازٍ وملامس لسطح ماء البحر أو البحيرة وملاحظة أطول مسافة يقطعها الحجر قبل أن يغرق. صمم تجربة تقارن فيها أطول مسافة يمكن أن يقطعها الحجر إذا استخدم الماء مرة وأيزوبروبيل الكحول مرة أخرى.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–4

تغيرات الحالة الفيزيائية Phase Changes

الأهداف

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

مراجعة المفردات

تغير الحالة: هو تغير المادة من حالة إلى أخرى.

المفردات الجديدة

درجة الانصهار
التبخر
التبخر السطحي
ضغط البخار
درجة الغليان
درجة التجمد
التكاثف
الترسب
مخطط الحالة الفيزيائية (الطور)
النقطة الثلاثية
النقطة الحرجة

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

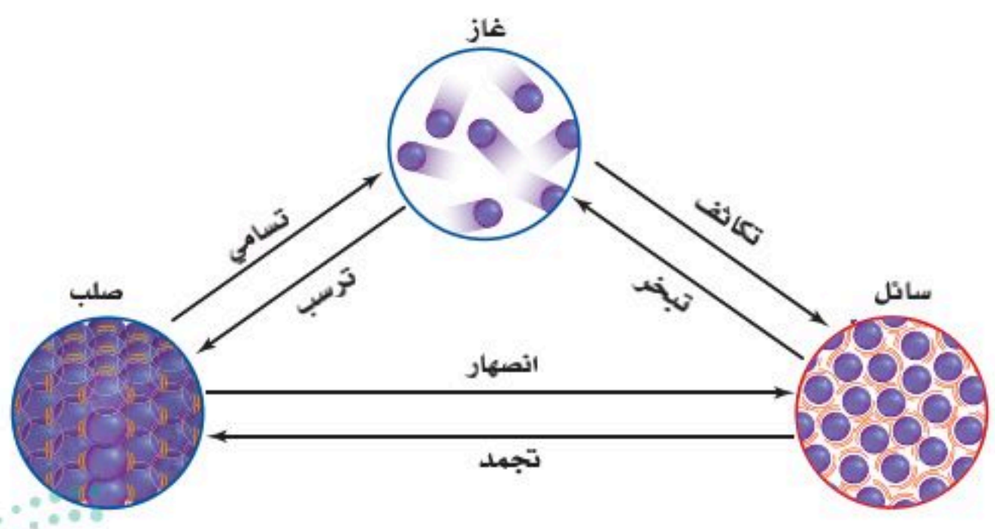
الربط مع الحياة هل تساءلت يومًا أين تذهب المادة الصلبة الموجودة في ملطف الجو؟ تكون مادة ملطف الجو صلبة، وتعطي رائحة قوية عند فتحها لأول مرة، ومع الأيام تقلّ المادة الصلبة، وفي النهاية لا يتبقى منها شيء تقريبًا، ويكون قد حان وقت وضع قطعة أخرى مكانها. لماذا لم تلاحظ تكون كمية من السائل، كتلك التي تنشأ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

تغيرات الحالة الفيزيائية الماصة للطاقة
Phase Changes That Require Energy

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

وعند إضافة أو انتزاع الطاقة من نظام معين تتغير حالة المادة الفيزيائية إلى حالة أخرى، كما هو ظاهر في **الشكل 23-1**؛ وذلك لأن حالات الماء ـ الثلج والسائل وبخار الماء ـ مألوفة لديك، وقد راقبت تغيراتها، لذا يمكن استخدام الماء مثالاً أساسيًّا 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، فتتدفق 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 معًا في مكعبات الثلج عندها تتحرك جسيمات السطح مبتعدًا بعضها عن بعض لتدخل في الحالة السائلة. وفي أثناء حركة الجسيمات تتقلص قطعة الثلج، وتستمر العملية حتى تنصهر قطعة الثلج كاملةً. إذا تركت مكعبات الثلج على طاولة فمن أين تأتي الطاقة اللازمة لتنصهر المكعبات؟



الشكل 23-1 يوضح الشكل التحولات الستة المحتملة بين حالات المادة.

حدد ما تغيرات الحالة الفيزيائية التي تحدث بين المواد الصلبة والمواد السائلة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الكيمياء في واقع الحياة

التبخر



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 وتتبخر، وبذلك يتم امتصاص الحرارة من أجزاء الجسم جميعها إلى الجلد عن طريق الدم.

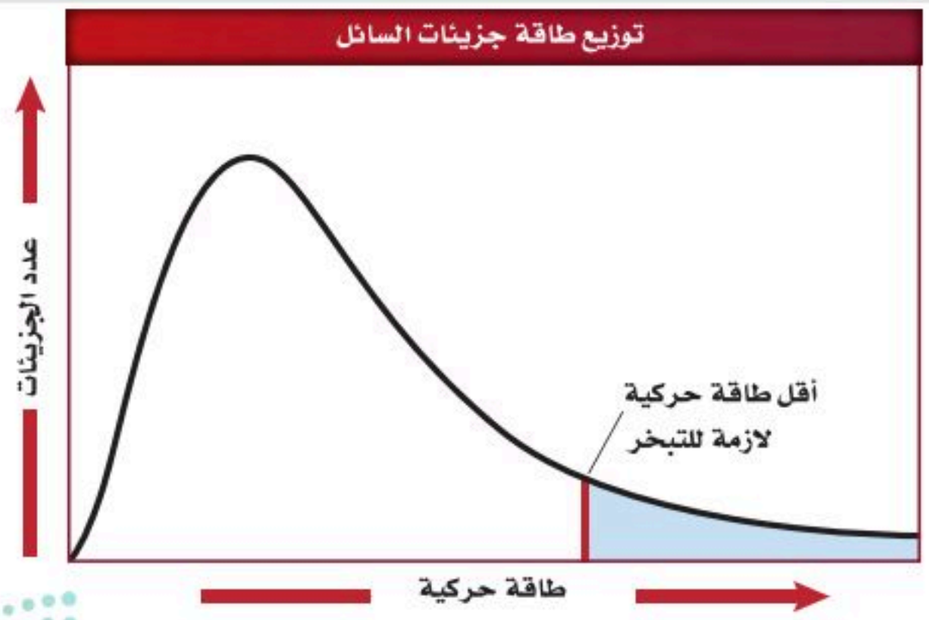
تعتمد كمية الطاقة اللازمة لصهر مول واحد من المادة الصلبة على قوة التجاذب بين جسيمات المادة. ولأن الروابط الهيدروجينية الموجودة بين جسيمات الماء قوية فإن كمية الطاقة اللازمة لصهر الثلج تكون عالية نسبيًّا. إلا أن الطاقة اللازمة لصهر الثلج أقل كثيرًا من الطاقة اللازمة لصهر كلوريد الصوديوم (ملح الطعام)؛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

التبخر عندما ينصهر مكعب ثلْج 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 24-1** توزيع طاقة الجسيمات في سائل عند درجة حرارة 25°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 **24-1**.

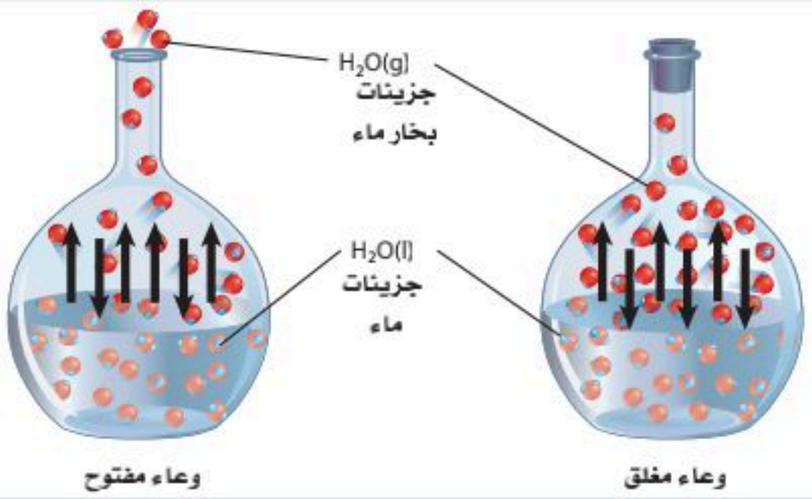
عندما تترك الجسيماتُ السائلَ فإنها تدخل في الحالة الغازية. وتسمى الحالة الغازية للمواد التي تكون في الحالة السائلة عند درجة حرارة الغرفة البخار.



الشكل 24-1 يوضح الرسم البياني التوزيع المثالي للطاقة الحركية للجسيمات في سائل عند درجة حرارة 25°C. وتقع أكبر طاقة محتملة للجسيمات على قمة المنحنى.

صف شكل المنحنى للسائل نفسه عند 30°C.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 25-1 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 تدريجيًّا 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 للتحول إلى بخار، ومع زيادة درجة الحرارة يزداد عدد الجسيمات التي تتحول إلى الحالة الغازية.

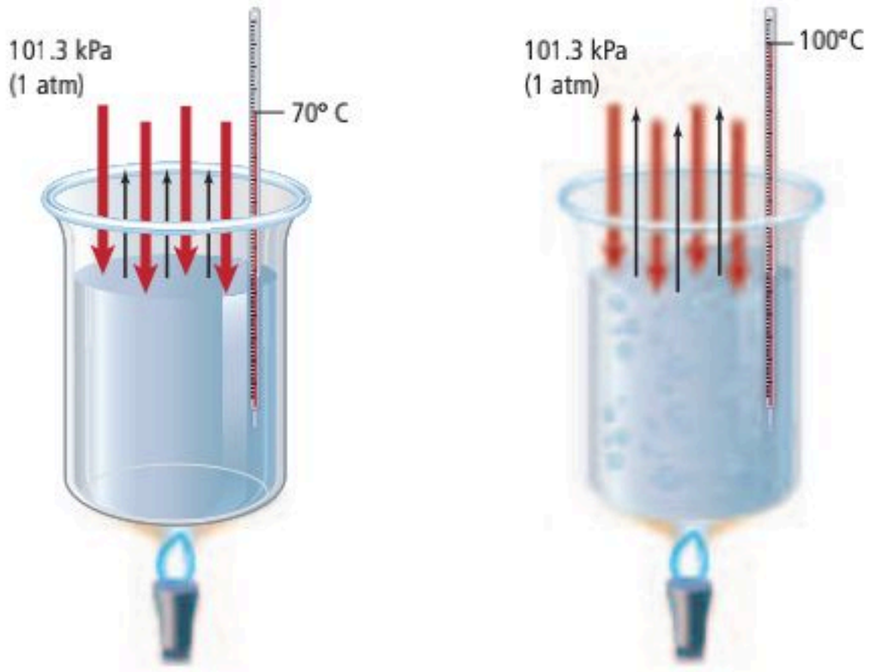
يوضح **الشكل 25-1** مقارنة بين التبخر في وعاء مغلق وآخر مفتوح. فالماء الذي في الوعاء المفتوح تتبخر كافة جزيئاته من السطح ويختفي في النهاية. ويعتمد الزمن اللازم لتبخر هذه الجزيئات كافة من السطح على كمية الماء والطاقة المتوافرة. أما الذي يكون في الوعاء المغلق فتكون الحالة مختلفة تمامًا؛ حيث يتجمع بخار 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 26-1** 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 فقاقيع بخار السائل تحت سطح السائل، ثم ترتفع إلى السطح.

تجربة عملية

درجات الغليان

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشكل 26-1 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°C

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

التسامي هو تحول المادة مباشرة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون المرور بالحالة السائلة. فمثلًا، يتسامى كلًّا من اليود الصلب وثاني أكسيد الكربون الصلب (الجليد الجاف) عند درجة حرارة الغرفة. ويستخدم الجليد الجاف الظاهر في **الشكل 27-1** للحفاظ على برودة المواد في أثناء الشحن، وبخاصة المواد التي تتلف من انصهار الثلج. وتتسامى كرات العث التي تحتوي على مادة النفثالين 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 صقيعًا على نافذة منزلك، أو نقاطًا 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.

التجمّد 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 الروابطُ الهيدروجينية التي بين جسيمات الماء الجسيماتِ ثابتةً 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 سطحًا باردًا 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 تَنتج السحب والضباب والأمطار جميعها عن التكاثف. وتتكون كل هذه الظواهر عندما يمر الهواء المشبع ببخار الماء فوق أرض باردة أو مسطح مائي. ويحتاج تكونها إلى عامل آخر، هو جسيمات صلبة صغيرة جدًّا معلقة في الهواء تسمى نوى التكاثف. يمكن أن تكون هذه الجسيمات غبارًا أو سناجًا أو رذاذًا (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 28-1** ضبابًا ناتجًا عن هذا الانقلاب.

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



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

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

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



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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.

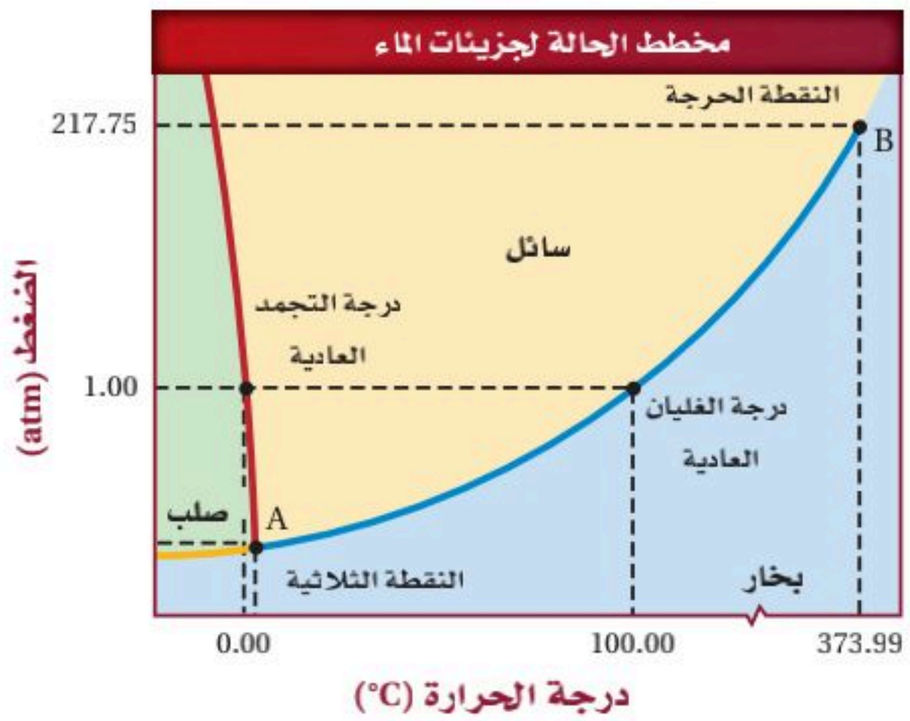
مخطط الحالة الفيزيائية (الطور) Phase Diagram

يتحكم متغيران معًا في حالة المادة، هما: الضغط ودرجة الحرارة. ولهذين المتغيرين تأثيرات عكسية على المادة. حيث تعمل زيادة درجة الحرارة مثلًا 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 29-1** 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 المنحنى حالتان فيزيائيتان معًا للماء. يوضّح المنحنى الأصفر القصير ظروف الضغط والحرارة التي يوجد عندها بخار وثلج معًا. أما المنحنى الأزرق الطويل فيوضح ظروف الضغط ودرجة الحرارة التي يوجد عندها الماء في صورة سائل وبخار معًا، في حين يوضح المنحنى الأحمر الضغط ودرجة الحرارة التي يوجد عندها الماء في صورة ثلج وسائل معًا.

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

ويمكن للتغيرات الستة كلها أن تحدث عند النقطة الثلاثية: التجمد والانصهار والتبخر والتكاثف والتسامي والترسب. وتعرف النقطة (B) بـ**النقطة الحرجة**، وهي النقطة التي تمثل كلًا 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.



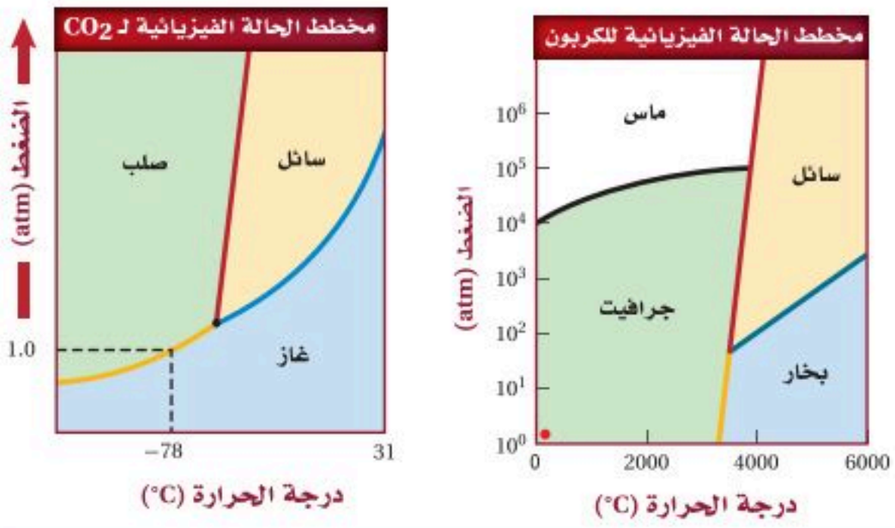
الشكل 29-1 يوضح هذا الرسم مخطط الطور للماء عند درجات حرارة وضغوط مختلفة.

اختبار الرسم البياني؟

حدد حالة الماء الفيزيائية عند درجة حرارة 100.00°C وضغط (2.00atm).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار الرسم البياني؟ قارن بين ميل المنحنى الأحمر في كلا الرسمين البيانيين لكل من الماء وثاني أكسيد الكربون. كيف يختلف تأثير كل من الماء وثاني أكسيد الكربون في التفاعلات بارتفاع الضغط عند المنحنى صلب/ سائل؟



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

يختلف مخطط الطور للموادّ؛ وذلك بسبب اختلاف درجات تجمدها وغليانها. 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 30-1** سبب تسامي ثاني أكسيد الكربون تحت الظروف العادية. إذا بحثت عن 1.0 atm على منحنى ثاني أكسيد الكربون، وتتبعت الخط المنقط للمنحنى الأصفر فستجد أن ثاني أكسيد الكربون يتغير من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية عند 1atm فقط. وإذا مددت الخط المنقط إلى ما بعد المنحنى الأصفر فسيُظهر 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 استقرارًا عند درجات الحرارة والضغط العاليين. والألماس الموجود عند درجة حرارة الغرفة وضغطها يتكوَّن في الأصل عند درجة حرارة وضغط عاليين.

تجربة عملية

نوى التجمد

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

التقويم 1-4

الخلاصة

- 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.

27. **الفكرة الرئيسة اشرح** كيف يؤدي إضافة الطاقة أو انتزاعها إلى تغير الحالة الفيزيائية؟
28. **فسر** الاختلاف بين عمليتي الانصهار والتجمد.
29. **قارن** بين الترسب 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 29-1**، عند درجة حرارة 75.00°C وضغط (3.00 atm).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الكيمياء في واقع الحياة

كيمياء الكاكاو

الشوكولاتة مادة غذائية، موطنها الأصلي أمريكا الوسطى والمكسيك. وقد نقل هنري كورتز حبوب الكاكاو وطريقة صناعة مشروب الشوكولاتة إلى إسبانيا، بعدما قدم حاكم الأزتيك مونتيزوما 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 مونتيزوما؛ 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 تشكّل مزيجًا صلبًا 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 تكُون الشوكولاتة سائلة في أثناء عملية التحضير، ويغلف زبدُ 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 $2.0 \times 10^{-5}\ m$ و $3.0 \times 10^{-5}\ m$ تقريبًا.

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.



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

تتطلب جسيمات الشوكولاتة الأصغر حجمًا 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 جدًّا 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 يتمّ رج الشوكولاتة بصورة مناسبة تتكون بلورات تعطي نوعًا رديئًا من الشوكولاتة. ويؤدي تشكيل الشوكولاتةَ بصورة بلورات - كما هو ظاهر في **الشكل (2)** - إلى جعلها أكثر صلابة ولمعانًا، ويسهل قضمها، وتنصهر عند درجة حرارة الجسم.

الكتابة في الكيمياء

ابحث عن معلومات أخرى عن الشوكولاتة، ثم اكتب تقريرًا قصيرًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مختبر الكيمياء

مقارنة معدلات التبخر

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

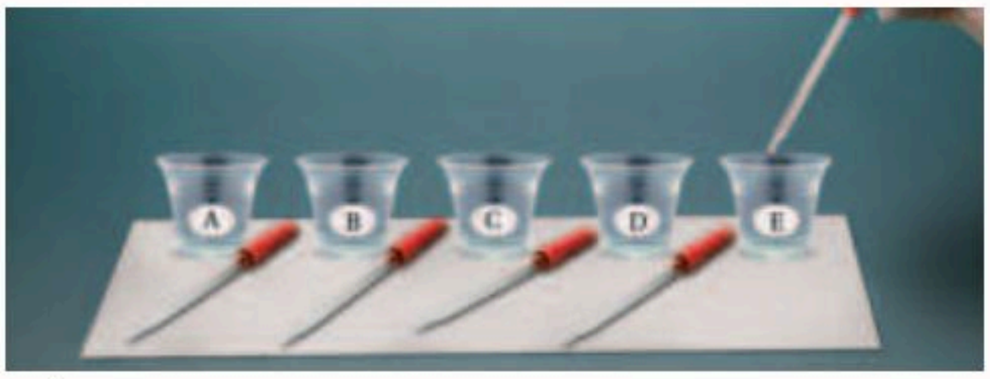
ماء مقطر	5 قطارات
إيثانول	5 أكواب بلاستيكية صغيرة
أيزوبروبيل الكحول	قلم تخطيط
أسيتون	ورقة شمعية
أمونيا (منزلية)	ساعة إيقاف

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. أعدّ ساعة الإيقاف، وضع قطرة واحدة من الماء المقطر على المكان المحدّد 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.



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 التغيرات 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

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

1-1 الغازات

الفكرة الرئيسة تتمدّد الغازات وتنتشر، كما أنها قابلة للانضغاط؛ لأنها ذات كثافة منخفضة، وتتكون من جسيمات صغيرة جدًّا دائمة الحركة.

المفردات

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

المفاهيم الرئيسة

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

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

1-2 قوى التجاذب

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

المفردات

- قوى التشتت
- القوى الثنائية القطبية
- الرابطة الهيدروجينية

المفاهيم الرئيسة

- 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.

1-3 المواد السائلة والمواد الصلبة

الفكرة الرئيسة 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
- التآصل
- المواد الصلبة غير المتبلورة

المفاهيم الرئيسة

- 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

1-4 تغيرات الحالة الفزيائية

الفكرة الرئيسة تتغير حالة المادة عنـــد إضافة الطاقة إليها أو انتزاعها منها.

المفردات

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

المفاهيم الرئيسة

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

1-1

إتقان المفاهيم

34. ما التصادم المرن؟

35. كيف تتغير الطاقة الحركية للجسيمات تبعًا لدرجات الحرارة؟

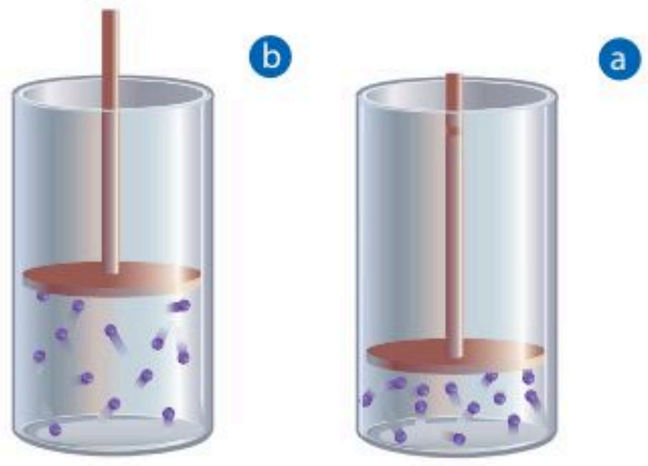
36. استخدم نظرية الحركة الجزيئية لتفسير قابلية الغازات للتمدد والانضغاط.

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 31-1**، ماذا يحدث لكثافة جسيمات الغاز في الأسطوانة عندما يتحرك المكبس من الموقع a إلى الموقع b؟



الشكل 31-1

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.

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، 33.6kPa تقريبًا، حوّل 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 تقريبًا. ما قيمة الضغط بوحدتي atm وtorr؟

49. يساوي الضغط على عمق 76.21 m في المحيط 8.4 atm تقريبًا. ما قيمة الضغط بوحدتي kPa و mmHg؟

50. يمثل **الشكل 32-1** تجربة؛ إذ يملأ الدورق الأيسر فيها بغاز الكلور، ويملأ الدورق الأيمن بغاز النيتروجين. صف ما يحدث عند فتح الصمام بينهما. افترض أن درجة حرارة النظام ثابتة خلال التجربة.



الشكل 32-1

1-2

إتقان المفاهيم

51. وضح الفرق بين القطبية المؤقتة و القطبية الدائمة.

52. لماذا تعد قوى التشتت أضعف من القوى الثنائية القطبية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 1

53. فسر 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 الكهروسالبية لتحديد الأطراف الموجبة والسالبة للجزيئات القطبية الآتية:

d. CO c. NO b. HBr a. HF

57. ارسم تجاذبًا ثنائي القطبية بين جزيئين من CO.

58. أي المواد الآتية تكوّن روابط هيدروجينية؟

d. NH_3 c. HF b. H_2O_2 a. H_2O

59. أي الجسيمات الآتية يكوّن روابط هيدروجينية؟ ارسم عدة جسيمات منها موضحًا ترابطهما معًا بوساطة الروابط الهيدروجينية.

d. CO_2 c. H_2O_2 b. $MgCl_2$ a. NaCl

1-3

إتقان المفاهيم

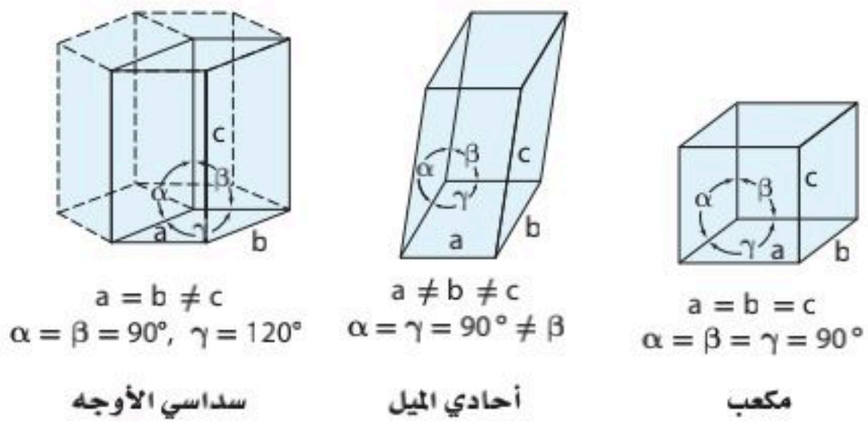
60. ما التوتر السطحي؟ وما الشروط الواجب توافرها لحدوثه؟

61. فسر سبب انحناء سطح الماء في المخبار المدرج؟

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

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

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



الشكل 33-1

65. ما الفرق بين المادة الصلبة الشبكية والمادة الصلبة الأيونية؟

66. فسّر لماذا يمكن ثني الفلزات عند ضربها، بينما تتكسر المواد الأيونية؟

67. عدِّد أنواع المواد المتبلورة التي تعد 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؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 1

إتقان المسائل

74. إذا أعطيت أطوال الأضلاع وقيم زوايا الوجه، فتوقَّع شكل كل بلورة مما يأتي:

a. $a = 3\ nm, b = 3\ nm, c = 3\ nm; \alpha = 90°, \beta° = 90, \gamma = 90°$

b. $a = 4\ nm, b = 3\ nm, c = 5\ nm; \alpha = 90°, \beta° = 100, \gamma = 90°$

c. $a = 3\ nm, b = 3\ nm, c = 5nm; \alpha = 90°, \beta° = 90, \gamma = 90°$

d. $a = 3\ nm, b = 3\ nm, c = 5\ nm; \alpha = 90°, \beta° = 90, \gamma = 120°$

1-4

إتقان المفاهيم

75. كيف يختلف التسامي عن الترسب؟

76. قارن بين التبخر والغليان.

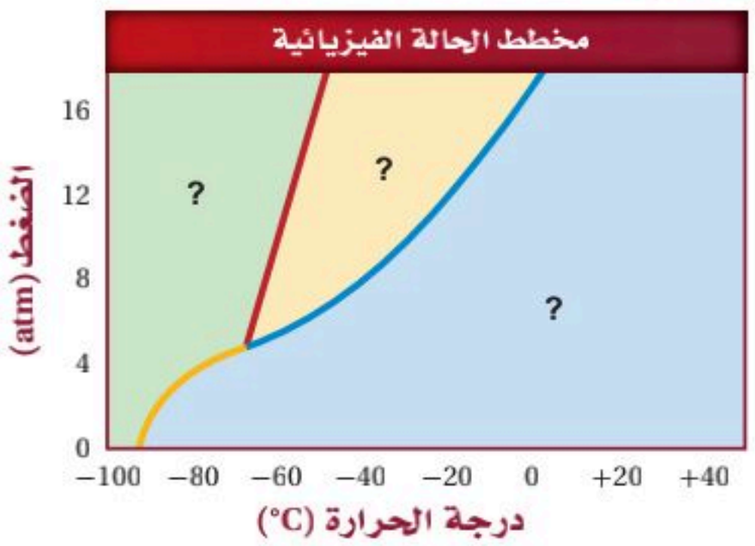
77. ما المقصود بدرجة الانصهار؟

78. فسرّ العلاقة بين كل من الضغط الجوي وضغط البخار للسائل ودرجة الغليان.

79. **فسّر** تكوُّن الندى في الصباح البارد.

80. **ثلج** فسّر سبب تقلّص كومة ثلج ببطء، حتى في الأيام التي لا تزيد درجة الحرارة فيها على درجة تجمد الماء.

إتقان المسائل



الشكل 34-1

81. انسخ الشكل 34-1 ثم حدّد عليه منطقة الحالة الصلبة والسائلة والغازية، والنقطة الثلاثية والنقطة الحرجة.

82. لماذا تكون الطاقة التي نحتاج إليها لغلي 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، اعتمادًا 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؟

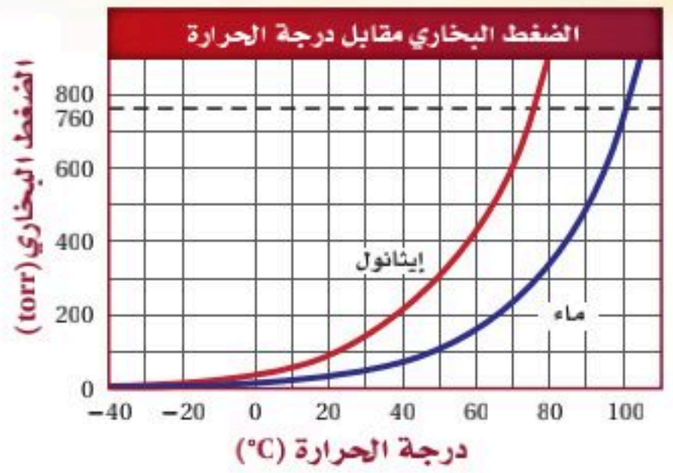
88. عدِّد ثلاثة أنواع من قوى التجاذب بين الجزيئات.

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 فسنلاحظ تكون البلورات في القاع، وعلى جوانب الكوب مرة أخرى. فهل هذا مثال على التجمد؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 1

التفكير الناقد



الشكل 35-1

90. تفسير الرسوم البيانية ارجع إلى **الشكل 35-1** 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 جدًّا وغير موصلة للكهرباء.

92. قارن يستخدم 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 ا **الجدول 6-1** لرسم مخطط الطور للأمونيا.

الجدول 6-1 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 كليًّا. 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 صَبَّ 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؟

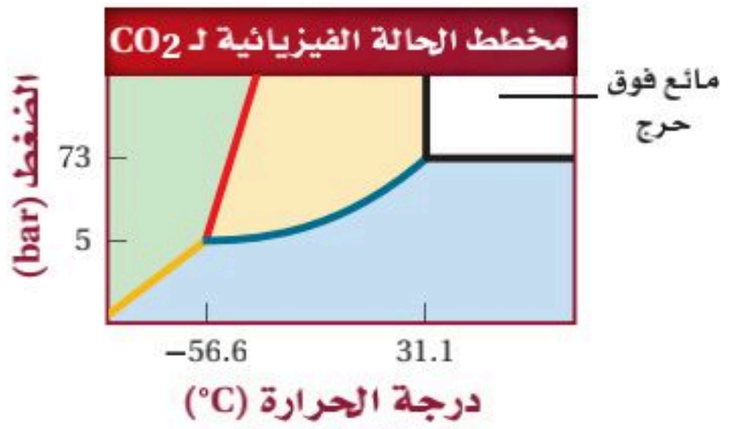
97. حلل استخدم ما تعرفه عن قوى التجاذب بين الجزيئية لتحديد ما إذا كانت الأمونيا NH_3 أم الميثان CH_4 أكثر ذائبية في الماء.

98. قوّم عدِّد ثلاث تغيرات تنتج طاقة، وثلاثة أخرى تستهلكها.

99. قوّم 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 36-1** لتحديد الظروف التي يجب توافرها لتكوين ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 1



الشكل 36-1

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 مركبًا أيونيًّا، ويحتوي الثاني على مركب تساهميّ. كيف تحدد أيهما أيوني؟ وأيهما تساهمي؟

103. أي فروع الكيمياء يدرس المادة وحالاتها؟

a. الكيمياء الحيوية
b. الكيمياء الفيزيائية
c. الكيمياء العضوية
d. كيمياء المبلمرات

104. ما نوع التفاعل الآتي؟

$$K_2CO_{3(aq)} + BaCl_{2(aq)} \rightarrow 2KCl_{(aq)} + BaCO_{3(s)}$$

a. احتراق
b. إحلال مزدوج
c. إحلال بسيط
d. تحضير

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

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

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 صناعيًّا والطبيعية من جسيمات ذات كتلة كبيرة بالمقارنة بجسيمات المركبات الأخرى المكونة للعطور. ونتيجة لذلك تكون أبطأ في سرعة انتشارها للتأكيد على إطلاق العطر بصورة بطيئة ومستمرة. اكتب تقريرًا عن كيمياء مكونات العطور، مؤكدًا 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 يُسيَّل ويطلق عليه اسم البروبان السائل. اعمل ملصق حائط لتوضيح فوائد ومساوئ تخزين ونقل البروبان سائلًا لا غازًا.

108. حالات المادة الأخرى ابحث في إحدى الموضوعات الآتية: البلازما أو الميوعة الفائقة (Superfluids). واكتب تقريرًا 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 تمامًا، 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 سائلًا. وعند إمالة الأنبوب تحرك السائل على طول جانب الأنبوب في مجرًى 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؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

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.

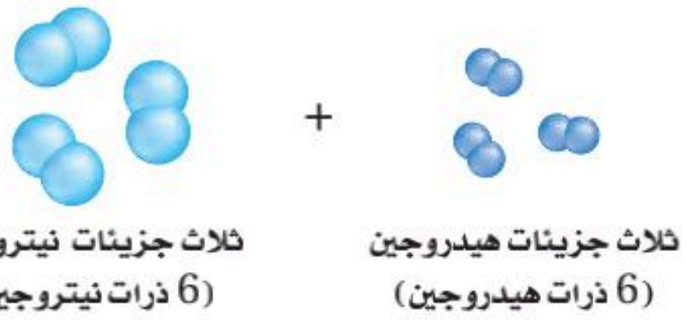
3. يحتوي دورق مغلق بإحكام على غازات النيون والكربتون والأرجون، فإذا كان الضغط الكلي داخل الدورق 3.782 atm، وكان الضغط الجزئي لكل من Ne وKr هو 0.435 atm و1.613 atm على التوالي، فما الضغط الجزئي لغاز Ar؟

a. 2.048 atm
b. 1.734 atm
c. 1556 atm
d. 1318 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.

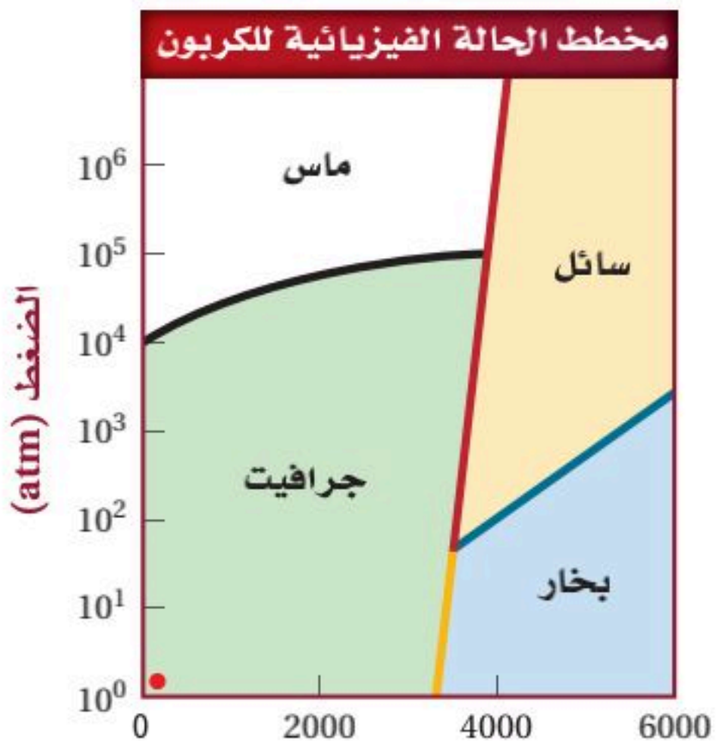
استخدم الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 5.



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 جزيئًا هيدروجين.
c. يتكوّن 6 جزيئات أمونيا ولا يتبقى أي جزيء.
d. يتكوّن جزيئا أمونيا ويتبقى جزيئًا نيتروجين.

استخدم الرسم البياني الآتي للإجابة عن الأسئلة من 6 إلى 8



6. ما الظروف التي يتكون فيها الألماس؟

a. درجة الحرارة < 5000K والضغط > 100atm
b. درجة الحرارة > 6000K والضغط < 25atm
c. درجة الحرارة > 3500K والضغط < 10^5atm
d. درجة الحرارة > 4500K والضغط > 10atm

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

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

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

8. ما الأشـــكال التي يوجد عليها الكربون عند $6000\ K$ و $10^5\ atm$

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 7-1 خصائص الرابطة الأحادية

الرابطة	طاقة الرابطة 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

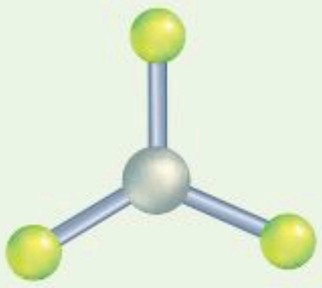
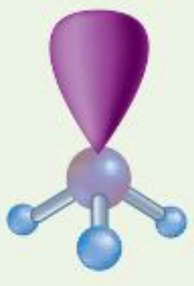
9. ارســـم العلاقة بين طول الرابطة وطاقـــة الربط بيانيًّا، واضعًا طاقة الربط على المحور السيني.

10. لخص العلاقة بين طاقة الرابطة وطول الرابطة.

أسئلة الإجابات المفتوحة

استخدم الجدول الآتي للإجابة عن السؤال 11.

الجدول 8-1 الشكل الهندسي لـ $AlCl_3$ و PCl_3

المركب	$AlCl_3$	PCl_3
شكل الجزيء		

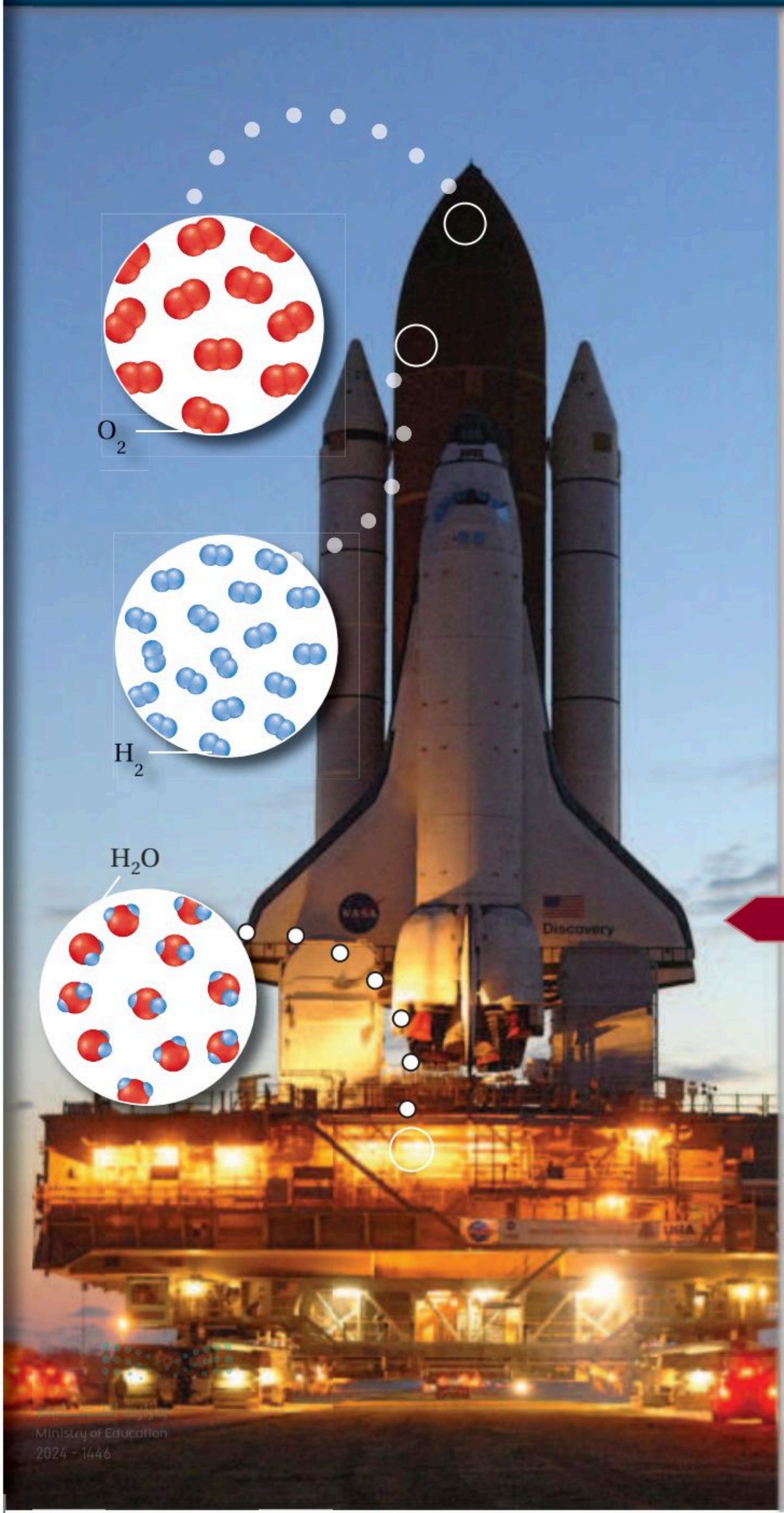
11. ما أســـماء أشكال الجســـيمات لكلا المركبين؟ فسر كيف يؤدي ترتيب الذرات في كل مركب إلى اختلاف أشكالها على الرغم من أن لهما الصيغة الكيميائية نفسها؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الطاقة والتغيرات الكيميائية

Energy and Chemical Changes

الفصل 2



الفكرة العامة تمتص التفاعلات الكيميائية الحرارة أو تطلقها عادة.

2-1 الطاقة

الفكرة الرئيسة قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائمًا.

2-2 الحرارة

الفكرة الرئيسة التغير في المحتوى الحرارى للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحاً منه المحتوى الحراري للمتفاعلات.

2-3 المعادلات الكيميائية الحرارية

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

2-4 حساب التغير في المحتوى الحراري

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

حقائق كيميائية

- تستعمل المحركات الثلاثة الرئيسة لمكوك الفضاء أكثر من 547,000 kg من الأكسجين السائل و 92,000 kg تقريبًا من الهيدروجين السائل.
- ترفع المحركات كتلة تصل إلى 2.04×10^6 kg
- يتسارع مكوك الفضاء إلى سرعة تزيد على 17,000 km /h خلال ثماني دقائق.

Ministry of Education
2024 - 1446

تجربة استهلالية

كيف تعمل كمّادة باردة؟



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

خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. أحضر ثلاثة أنابيب اختبار.
3. استعمل **مخبارًا مدرجًا** لنقل 15 mL من **الماء المقطر** إلى كل أنبوب من **أنابيب الاختبار الثلاثة**.
4. استعمل **مقياس درجة حرارة غير زئبقي** لقياس درجة حرارة الماء المقطر، ثم سجل درجة الحرارة الأولية للماء في جدول البيانات.
5. استعمل **الميزان** لقياس كتلة 1.0 g من **نترات البوتاسيوم KNO_3** وضعها في أنبوب الاختبار رقم 1. **تحذير: أبعد جميع المواد الكيميائية المستعملة في هذه التجربة عن مصادر الحرارة.**
6. حرك الخليط جيدًا، وسجل درجة حرارة المحلول.
7. أعد الخطوتين 4 و 5 مستعملاً كلًّا من **كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$**، و**نترات الأمونيوم NH_4NO_3** بدلاً من **نترات البوتاسيوم KNO_3**.

التحليل

1. **حلل واستنتج** أي المواد الكيميائية الثلاث المستعملة في التجربة تعد الأفضل لعمل كمّادة 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.

المطويات منظمات الأفكار

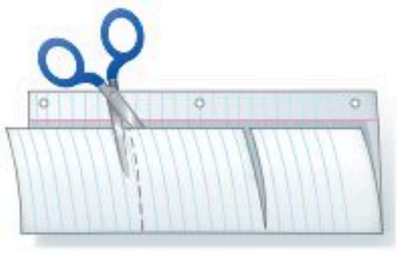
التغير في المحتوى الحراري اعمل المطوية الآتية لتنظيم دراستك عن المحتوى الحراري.



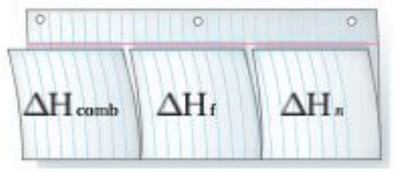
الخطوة 1 اطو الورقة طوليًّا من منتصفها على أن تكون الحافة الخلفية أطول من الأمامية 2cm تقريبًا.



الخطوة 2 اطو الورقة مرة أخرى مكوّنًا ثلاثة أجزاء.



الخطوة 3 افتح المطوية واقطع على خطّي الطي للجزء الأمامي مشكّلاً ثلاثة أشرطة.



الخطوة 4 عنون الأشرطة كما يأتي:
ΔH_{vap}، ΔH_{fus}، ΔH_{comb}

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–1

الأهداف

- **تعرّف** الطاقة.
- **تميّز** بين طاقة الوضع والطاقة الحركية.
- **تربط** بين طاقة الوضع الكيميائية والحرارة المفقودة أو المكتسبة في التفاعلات الكيميائية.
- **تحسب** كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة عندما تتغير درجة حرارة المادة.

مراجعة المفردات

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

المفردات الجديدة

الطاقة

قانون حفظ الطاقة

طاقة الوضع الكيميائية

الحرارة

السُّعر

الجول

الحرارة النوعية

الطاقة Energy

الفكرة الرئيسة **قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائمًا.**

الربط مع الحياة هل راقبت يومًا العربة الأفعوانية وهي تنتقل صعودًا ونزولاً على سِكَّتها؟ 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. و يكثر 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 كافةُ الأنشطة البدنية والذهنية التي تقوم بها طاقةً. إن كل خلية في جسمك هي مصنع صغير جدًّا يعمل بالطاقة المستمدة من الطعام الذي تأكله.

ما الطاقة؟ تعرف **الطاقة** بأنها القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة، وهي توجد عمومًا في صورة طاقة وضع وطاقة حركية. تسمى الطاقة التي تعتمد على تركيب أو موضع جسم ما طاقة الوضع. **الشكل 1a–2** 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 1b–2**. تنجم الطاقة الحركية عن حركة الأجسام، ويمكنك ملاحظتها في حركة الأجسام والناس من حولك. وتحتوي الأنظمة الكيميائية على طاقة حركية وطاقة وضع.



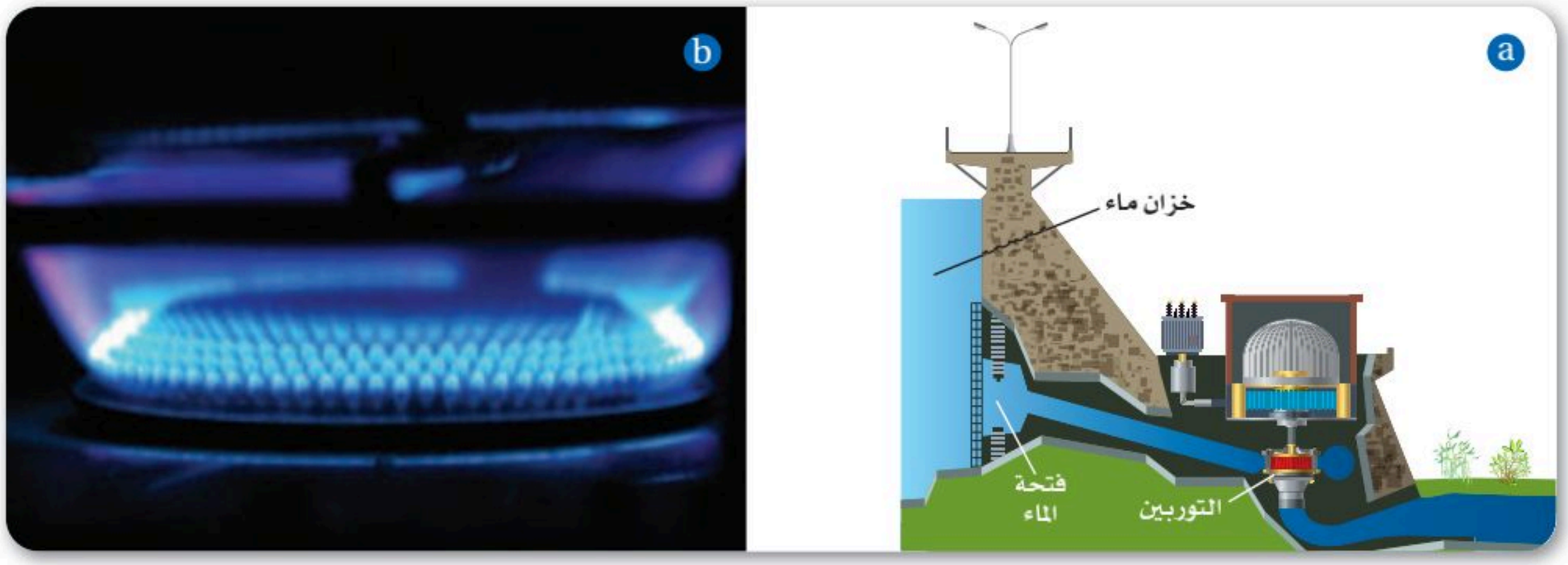
الشكل 1-2

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؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 2-2 يمكن أن تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، ولكنها محفوظة دائمًا.

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 معًا 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 ثابتًا. فمثلاً عندما يتدفق الماء عبر التوربينات في محطة التوليد الكهرومائية المبينة في **الشكل 2a-2** يتحول جزء من طاقته الحركية إلى طاقة كهربائية. وعلى سبيل المثال أيضًا، يعد غاز البروبان C_3H_8 وقودًا مهمًا للطهو والتسخين. انظر **الشكل 2b-2**؛ حيث يتحد غاز البروبان مع الأكسجين مكوّنًا ثاني أكسيد الكربون والماء، وتتحرر 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 بقي ثابتًا. ولفهم حفظ الطاقة بشكل أفضل، افترض أن لديك نقودًا في حسابين في البنك، وقد قمت بتحويل بعضها من أحد الحسابين إلى الآخر. فعلى الرغم من أن كمية النقود في كلا الحسابين قد تغيرت إلا أن مجموع نقودك في البنك بقي كما هو دون تغيير. وهذا يشبه قانون حفظ الطاقة.

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

طاقة الوضع الكيميائية تسمى الطاقة المخزنة في الروابط الكيميائية للمادة **طاقة الوضع الكيميائية**. وتلعب هذه الطاقة دورًا مهمًا 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الجدول 2-1 العلاقات بين وحدات الطاقة

العلاقة	معامل التحويل
$1\ J = 0.2390\ cal$	$\frac{1\ J}{0.2390\ cal}$ $\frac{0.2390\ cal}{1\ J}$
$1\ cal = 4.184\ J$	$\frac{1\ cal}{4.184\ J}$ $\frac{4.184\ J}{1\ cal}$
$1Cal = 1Kcal$	$\frac{1\ Cal}{1000\ cal}$ $\frac{1000\ cal}{1\ Cal}$

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 جزءًا كبيرًا من طاقة الوضع الكيميائية المختزنة في الأوكتان تنطلق في صورة حرارة. ويستعمل الرمز q ليدل على الحرارة، وهي طاقة تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم الأبرد. فعندما يفقد الجسم الساخن طاقة، تنخفض درجة حرارته. وعندما يمتص الجسم الأبرد طاقة ترتفع درجة حرارته.

قياس الحرارة Measuring Heat

يعد انتقال الطاقة، وما يتبعه من تغير في درجة الحرارة مفتاحين لطريقة قياس الحرارة. وتسمى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 g من الماء النقي 1°C **السُّعر** calorie (cal). فعندما يحطم جسمك جزيئات السكر والدهون مكونًا ثاني أكسيد الكربون والماء ينتج عن هذا التفاعل الطارد للطاقة حرارة يمكن قياسها بالسُّعرات الغذائية (Cal).

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

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

مثال 1-2

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

1 تحليل المسألة

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

المعطيات

الطاقة = 230 Cal

المطلوب

الطاقة = ؟J

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

2 حساب المطلوب

حوّل Cal إلى cal.

طبق العلاقة 1 Cal = 1000 cal

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

حوّل cal إلى J

طبق العلاقة 1cal = 4.184 J

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

3 تقويم الإجابة

القيمة 10^5 إلى 10^6 متوقعة؛ لأن القيمة 10^2 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°C. تعرف هذه الكمية 4.184 J /g.°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°C). ولأن لكل مادة تركيبًا مختلفًا عن المواد الأخرى لذا فإن لكل مادة حرارة نوعية مميزة لها.

لرفع درجة حرارة كمية من الماء 1°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 J /g.°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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الجدول 2-2 الحرارة النوعية لبعض المواد عند 298k (25°C)

المادة	الحرارة النوعية J/g.°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

حساب الحرارة الممتصة افترض أن قطعة من رصيف أسمنتي (Concreate) كتلتها $5.00\times10^3\,g$ زادت درجة حرارتها بمقدار $6.0\,°C$ فهل يمكن حساب كمية الحرارة التي امتصتها؟ تذكرّ أن الحرارة النوعية للمادة هي كمية الحرارة التي يجب أن يمتصها 1g من المادة لترفع درجة حرارته 1°C.

يبين **الجدول 2-2** الحرارة النوعية لبعض المواد. الحرارة النوعية للأسمنت مثلاً، هي $0.84\ J/g.°C$؛ إذن يمتص 1g من الأسمنت 0.84 J عندما تزداد درجة حرارته 1°C . لإيجاد الحرارة التي تمتصها $5.00\times10^3\,g$ من الأسمنت عليك أن تضرب 0.84 في $5.00\times10^3\,g$، ولأن درجة حرارة الأسمنت ازدادت $6.0°C$ فإن عليك أن تضرب الناتج عن ضرب الكتلة والحرارة النوعية في 6°C.

معادلة حساب الحرارة

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

q: الطاقة الحرارية الممتصة أو المطلقة

c: الحرارة النوعية للمادة

m: كتلة المادة بالجرام

ΔT: التغير في درجة الحرارة (°C) أو T النهائية – T الأولية ($T_f - T_i$)

يمكنك استعمال هذه المعادلة لحساب الحرارة التي امتصتها قطعة الأسمنت.

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

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

مجموع كمية الحرارة التي امتصتها قطعة الأسمنت هو 25,200 J أو 25.2 kJ. بالمقارنة مع الماء، ما كمية الحرارة التي يمتصها $5.00 \times 10^3\,g$ من الماء عندما تزداد درجة حرارته $6.0°C$؟ يمكننا حساب q_{water} بنفس طريقة حسابها للأسمنت، ولكن هنا يجب استعمال الحرارة النوعية للماء، $4.184\ J/g.°C$

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

إذا قسمت الحرارة التي امتصها الماء 130 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 حرارتهما.

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 $74.0°C$ في يوم مشمس وانخفضت إلى $40.0°C$ في أثناء الليل، فما كمية الحرارة المنطلقة؟ احسب أولاً ΔT:

$$\Delta T = 74.0°C - 40.0°C = 34.0°C$$

ثم استعمل معادلة كمية الحرارة: $q = c \times m \times \Delta T$

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

تجربة عملية

حرارة التفاعل وحرارة المحلول

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثال 2-2

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

الطاقة المنطلقة = 114 J

كتلة الحديد = 10 g Fe

$T_i = 50.4°C$

$T_f = 25°C$

المطلوب

الحرارة النوعية للحديد = ؟ J/g °C

2 حساب المطلوب

احسب ΔT.

$$\Delta T = 50.4\ °C - 25.0\ °C = 25.4\ °C$$

اكتب معادلة لحساب كمية الحرارة

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

أوجد قيمة c

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

عوض $q = 114\ J$. $m = 10.0\ g$.

$\Delta T = 25.4\ °C$

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

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

$$c = 0.449\ J/g{\cdot}°C$$

3 تقويم الإجابة

قيمة مقام المعادلة تساوي ضعفي قيمة البسط تقريبًا، 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؟ عيّن 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؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 3-2 مدرستان بالرياض (جبر بن عتيك، والأمير عبد المجيد بن عبد العزيز) تعملان بالطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة الكهربية؛ تمهيدًا لإطلاق خطة الطاقة الشمسية (2030) الأكبر في العالم بهذا المجال.

الطاقة الشمسية يستغل الماء أحيانًا 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 فترةً محددةً كل يوم، كما أنّ تراكم الغيوم فوق بعض الأماكن تخفف من كمية أشعة الشمس الساقطة عليها. وبسبب هذه المتغيرات كان لابد من ابتكار طرائق فعالة لتخزين الطاقة. إن تطوير الخلايا الكهروضوئية-انظر **الشكل 3-2**-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 التطبيقيّة وسيلة فعّالة لتلبية حاجة المملكة لتطوير نشاط بحثيّ قويّ يُركّز على تحقيق أهداف حيويّة محدّدة ذات أهميّة اجتماعيّة واقتصاديّة وطنيّة تؤدّي إلى خلق صناعات وخدمات وطنيّة رائدة في العالم، وتعتبر مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية(kacst) الجهة الوطنية الرائدة في مجالات البحوث التطبيقية و إحدى المجالات التي برزت فيها جهود المدينة هو مجال الطاقة كما يظهر في **الشكل 3-2**.



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

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

الربط مع رؤية 2030

اقتصاد مزدهر

٣.٢.٤ زيادة مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة.

التقويم 2-1

الخلاصة

- 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.

7. الفكرة الرئيسة **وضح** كيف تتغير الطاقة من شكل إلى آخر في التفاعل الطارد للطاقة والتفاعل الماصّ لها.

8. **ميّز** بين الطاقة الحركية وطاقة الوضع في الأمثلة الآتية: مغناطيسين منفصلين؛ انهيار ثلجي، كتب موضوعة على رفوف، نهر، سباق سيارات، فصل الشحنات في بطارية.

9. **وضح** علاقة الضوء والحرارة في شمعة محترقة بطاقة الوضع الكيميائية.

10. **احسب** كمية الحرارة الممتصة عند تسخين 50.0 g ألومنيوم من درجة حرارة 25 °C إلى درجة حرارة 95.0° C ، علمًا أن الحرارة النوعية للألومنيوم 0.897 J /g °C.

11. **تفسير البيانات** وضعت كتل متساوية من الألومنيوم والذهب والحديد والفضة تحت أشعة الشمس في الوقت نفسه ولفترة زمنية محددة. استعمل **الجدول 2-2** لترتيب الفلزات الأربعة وفق ازدياد درجات حرارتها من الأعلى إلى الأقل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–2

الأهداف

- **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)

الحرارة Heat

الفكرة الرئيسة **التغيُّر في المحتوى الحراري للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحًا منه المحتوى الحراري للمتفاعلات.**

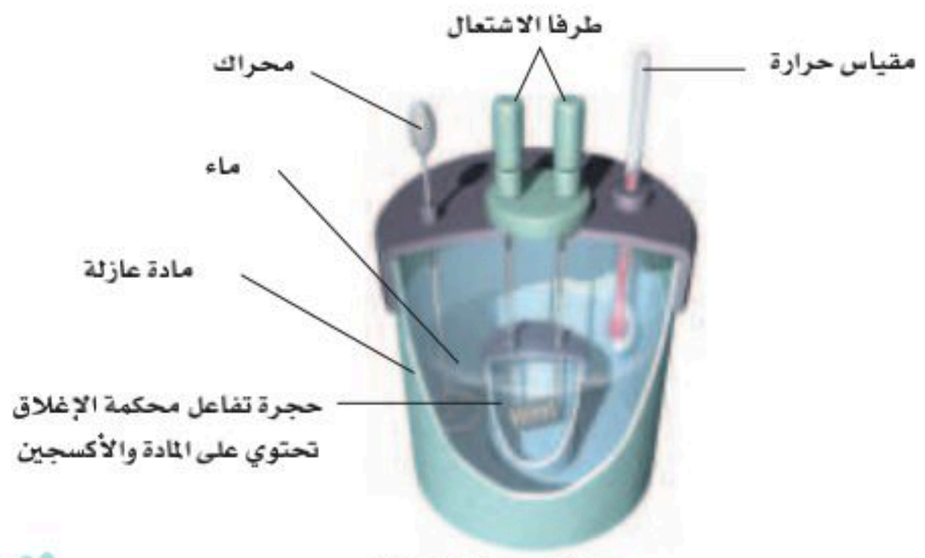
الربط مع الحياة لعلك تشعر بالاسترخاء عند وقوفك تحت الدش الدافئ؛ حيث يمتص جسمك حرارة من الماء، في حين أنك تشعر بالارتعاش عندما تقفز في مسبح بارد؛ حيث يفقد جسمك حرارة. بطريقة مشابهة تَمتص أو تطلِق بعضُ التفاعلات الكيميائية الحرارةَ.

المسعر Calorimetry

هل تساءلت يومًا 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 حراريًّا 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 4-2** نوعًا من المساعر 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 المساعر مفتوحة على الجو، ولذلك فالتفاعلات التي تحدث فيها تكون تحت ضغط ثابت. ويمكنك استخدامها لتحديد الحرارة النوعية لفلز ما.

افترض أنك وضعت 125 g من الماء في مسعر (كأس مصنوعة من البوليسترين)، وقست درجة حرارته الأولية فوجدتها 25.60 °C، ثم سخنت عينة من فلز ما كتلتها 50.0 g إلى درجة حرارة 115.0 °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.



مسعر التفجير (القنبلة)

الشكل 4-2 وضعت عينة في حجرة فولاذية داخلية تسمى القنبلة، مملوءة بالأكسجين المضغوط ضغطًا عاليًا، وحول القنبلة كمية معلومة من الماء تحرك بمحراك قليل الاحتكاك للمحافظة على درجة حرارة منتظمة. بدأ التفاعل بشرارة، وسجلت درجة الحرارة حتى وصلت إلى أقصاها.

استنتج لماذا يعد من المهم ألا ينتج المحراك احتكاكاً؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 5-2 a. سجلت درجة الحرارة الأولية 25.60°C لـ 125 g من الماء في المسعر.

b . سخّنت قطعة من فلز مجهول كتلتها 50.0 g حتى أصبحت درجة حرارتها 115.0°C، ثم وضعت في المسعر

c . ينقل الفلز الحرارة إلى الماء حتى تتساوى درجة حرارة الفلز والماء. وكانت درجة الحرارة النهائية 29.30°C.

يبين **الشكل 5-2** خطوات عمل التجربة. لاحظ أن درجة الحرارة في المسعر تثبت عند 29.30°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:

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

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(J/g.°C).

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

$$q_{\mathrm{water}} = 4.184\ \mathrm{J/(g{\cdot}°C)} \times 125\ \mathrm{g} \times 3.70°\mathrm{C}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

بمقارنة الحرارة النوعية للفلز 0.453 J/(g•°C) بالقيم الواردة في **الجدول 2-2** يتبين أن هذا الفلز هو الحديد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثال 3-2

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

1 تحليل المسألة

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

المعطيات

كتلة الفلز $m = 4.68\ g$

كمية الحرارة المكتسبة، $? = J/(g \cdot °C)$

$\Delta T = 182°C$

المطلوب

الحرارة النوعية $c = ?\ J/g.°C$.

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كمية الحرارة q

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

حل المعادلة لإيجاد C

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

عوض $q = 256\ J.\ m = 4.68\ g$

$\Delta T = 182°C$

$$c = \frac{256\ J}{(4.68\ g)(182°C)} = 0.301\ J/(g.°C)$$

بالرجوع إلى **الجدول 2-2** فإن الفلز هو الإسترانشيوم.

3 تقويم الإجابة

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

مسائل تدريبية

12. عينة من فلز كتلتها 90.0 g امتصت 25.6 J من الحرارة عندما ازدادت درجة حرارتها 1.18°C. ما الحرارة النوعية للفلز؟

13. ارتفعت درجة حرارة عينة من الماء من 20.0°C إلى 46.6°C عند امتصاصها 5650 J من الحرارة. ما كتلة العينة؟

14. ما كميـة الحـرارة التي تكتسـبها صـخـرة مـن الجـرانيت كتلتهـا 2.00×10^3 g إذا ارتفعـت درجة حرارتها من 10.0°C إلى 29.0°C، إذا علمت أن الحرارة النوعية للجرانيت 0.803 J/(g.°C)؟

15. 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

يرافـق كل تفاعل كيميائي وكل تغير في الحالة الفيزيائية إطلاق أو امتصاص حرارة. وتدرس **الكيمياء الحرارية** تغيرات الحـرارة 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 شديدًا طاردًا للحرارة لتسخين وجباتهم. كما قد تُستخدم كمّادة ساخنة لتدفئة الأيدي في الأيام الباردة. وتنتج هذه الطاقة المنطلقة من الكمّادة الساخنة نتيجة للتفاعل الكيميائي الآتي:

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)} + 1625\ kJ$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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 تقريبًا 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 J/(g.°C). ولأن كثافة الماء تساوي 1.0 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 الرئيسة 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.

الكون= النظام+المحيط

ما نوع انتقال الطاقة الذي يحدث في أثناء التفاعل الطارد للحرارة في الكمّادة الساخنة؟ تنتقل الحرارة الناتجة عن التفاعل من الكمادة الساخنة (النظام) إلى يديك الباردتين (جزء من المحيط). ماذا يحدث في العملية أو التفاعل الماصّ 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 ماصّ 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 السميّة 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 يبلل اللوح ومن اللوح نفسه، فتنخفض درجة حرارة الماء حتى التجمد فيمسك اللوح بالكأس.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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**. ولأنّ 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. ويعرّف **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 الممتصّة أو المنطلقة في التفاعل الكيميائي. ويسمى التغير في المحتوى الحراري **المحتوى للتفاعل الحراري (أو حرارة التفاعل)** (ΔH_{rxn}). لقد تعلمت سابقًا أن الرمز المسبوق بالحرف اليوناني دلتا (Δ) يعني التغير في خاصية ما. لذا فإن ΔH_{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 ΔH_{rxn} بالمعادلة:

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

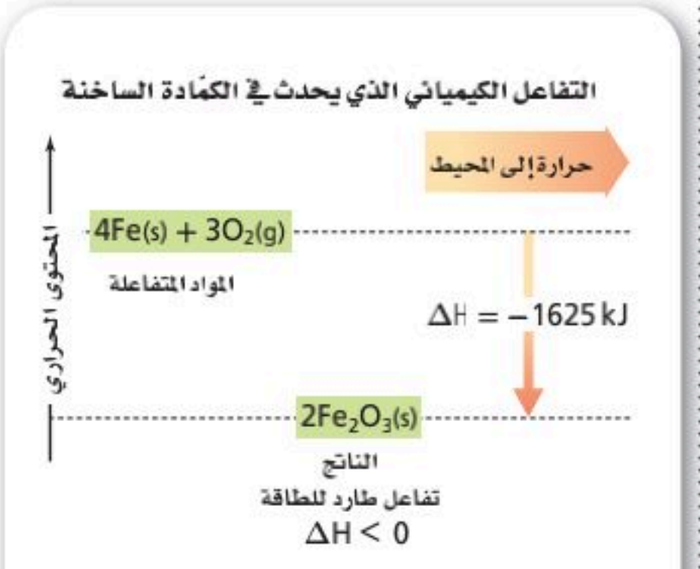
إشارة المحتوى الحراري للتفاعل تذكّر التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الكمّادة الساخنة.

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)} + 1625\ kJ$$

يتبين من معادلة التفاعل أنّ 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 ΔH_{rxn}، ويقودنا ذلك إلى أنّ تغيرات المحتوى الحراري للتفاعلات الطاردة للحرارة سالبة دائمًا. لذلك فإن معادلة التفاعل الذي يحدث في الكمّادة الساخنة والتغير في محتواه الحراري تكتب عادةً كما يأتي:

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)}\ \Delta H_{rxn} = -1625\ kJ$$

ويبين **الشكل 7-2** مخطط التغير في المحتوى الحراري.





الشكل 7-2 يشير السهم المتجه إلى أسفل إلى أن 1625 J من الحرارة انطلقت إلى المحيط، في التفاعل بين الحديد والأكسجين لتكوين Fe_2O_3. يمكن استخدام كمّادة ساخنة من هذا النوع لتدفئة الأيدي الباردة.

اشرح كيف يبين المخطط أن التفاعل طارد للحرارة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 8-2 يبين السهم الذي يشير إلى أعلى أن 27 kJ من الحرارة قد تم امتصاصها من المحيط في أثناء عملية إذابة NH_4NO_3. يعد هذا التفاعل الأساس في صناعة الكمّادة الباردة؛ فعند وضع الكمّادة على كاحل الشخص يزود الكاحل الكمادة بالحرارة و يبرد هو بدوره.

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

الآن تذكر عملية الكمّادة الباردة.

$$27\ kJ + NH_4NO_{3(s)} \rightarrow NH_{4(aq)}^{+} + NO_{3(aq)}^{-}$$

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

$$NH_4NO_{3(s)} \rightarrow NH_{4(aq)}^{+} + NO_{3(aq)}^{-} \quad \Delta H_{rxn} = 27\ kJ$$

يبين **الشكل 8-2** التغير في الطاقة في الكمّادة الباردة، حيث يزيد المحتوى الحراري للنواتج بمقدار 27 kJ على المحتوى الحراري للمواد المتفاعلة؛ لأنه تم امتصاص طاقة. لذلك تكون إشارة ΔH لهذا التفاعل وجميع التفاعلات والعمليات الماصّة للحرارة موجبة. تذكر أن إشارة ΔH_{rxn} سالبة للتفاعلات والعمليات الطاردة للحرارة.

التغير في المحتوى الحراري ΔH 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 $q = \Delta H_{rxn}$.

التقويم 2-2

الخلاصة

- تعرِّف 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 التغيُّر في المحتوى الحراري (ΔH_{rxn}).
- عندما يكون ΔH_{rxn} موجبًا يكون التفاعل ماصًّا للحرارة، أما عندما يكون ΔH سالبًا فيكون التفاعل طاردًا للحرارة.

16. **الفكرة الرئيسة** **صف** كيف تحسب كمية الحرارة المكتسبة أو المنطلقة من المادة عندما تتغير درجة حرارتها؟

17. **اشرح** لماذا تكون إشارة ΔH_{rxn} سالبة للتفاعل الطارد للحرارة؟

18. **اشرح** لماذا يشكل الحجم المعلوم من الماء جزءًا مهمًّا من المسعر؟

19. **اشرح** لماذا يجب أن تعرف الحرارة النوعية للمادة حتى تحسب الحرارة المكتسبة أو المفقودة من المادة نتيجة تغير درجة الحرارة؟

20. **صف** معنى النظام في الديناميكا الحرارية، واشرح العلاقة بين النظام والمحيط والكون.

21. **احسب** الحرارة النوعية J/(g.°C) لمادة مجهولة؛ إذ تطلق عينة كتلتها 2.50 g منها 12.0 cal عندما تتغير درجة حرارتها من 25°C إلى 20.0°C (استعن **بالجدول 1 - 2** صفحة 58).

22. **صمّم تجربة** صِف خطوات العمل التي يمكنك أن تتبعها لإيجاد الحرارة النوعية لقطعة فلز كتلتها 45.0 g .

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–3

الأهداف

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

مراجعة المفردات

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

المفردات الجديدة

المعادلة الكيميائية الحرارية

حرارة الاحتراق

حرارة التبخر المولارية

حرارة الانصهار المولارية

المعادلات الكيميائية الحرارية
Thermochemical Equations

الفكرة الرئيسة **تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصّة 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 ΔH في الكثير من المعادلات الكيميائية. وتسمى المعادلات الكيميائية التي تكتب فيها قيم ΔH معادلات كيميائية حرارية.

$$4Fe_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Fe_2O_{3(s)} \qquad \Delta H = -1625\ kJ$$
$$NH_4NO_{3(s)} \rightarrow NH^+_{4\,(aq)} + NO^-_{3(aq)} \qquad \Delta H = 27\ kJ$$

تكتب **المعادلة الكيميائية الحرارية** في صورة معادلة كيميائية موزونة تشتمل على الحالات الفيزيائية لجميع المواد المتفاعلة والناتجة، والتغير في الطاقة، والذي يعبّر عنه عادة بأنه تغير في المحتوى الحراري ΔH.

ينتج عن تفاعل احتراق الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$ الطارد للحرارة – في أثناء عملية الأيض في الجسم – كمية كبيرة من الطاقة، كما هو مبين في المعادلة الكيميائية :

$$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} \quad \Delta H_{comb} = -2808\ kJ$$

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

المطويات

أدخل معلومات من هذا القسم في مطويتك.

الجدول 3-2 حـرارة الاحتراق القياسية

المادة	الصيغة الكيميائية	ΔH°_{comb} kJ/mol
السكروز (سكر المائدة)	$C_{12}H_{22}O_{11(s)}$	−5644
الأوكتان (أحد مكونات البنزين)	$C_8H_{18(l)}$	−5471
الجلوكوز (سكر بسيط يوجد في الفواكه)	$C_6H_{12}O_{6(s)}$	−2808
البروبان (وقود غازي)	$C_3H_{8(g)}$	−2219
الميثان (وقود غازي)	$CH_{4(g)}$	−891

تغيرات الحالة Changes of State

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

تسمّى الحرارة اللازمة لتبخر 1 mol من سائل **حرارة التبخر المولارية** (ΔH_{vap}) Molar enthalpy (heat) of vaporization. وبالمثل أيضًا إذا أردت شرب كأس ماء بارد فقد تضع فيه مكعبًا من الثلج؛ فيبرد الماء؛ لأنه يزود مكعب الثلج بالحرارة لكي ينصهر. تسمى الحرارة اللازمة لصهر 1 mol من مادة صلبة **حرارة الانصهار المولارية** Molar enthalpy (heat) of fusion (ΔH_{fus}). ولأن تبخر السائل وصهر المادة الصلبة عمليتان ماصتان للحرارة، تكون ΔH لكل من العمليتين موجبة. يبين **الجدول 4-2** حرارة التبخر والانصهار القياسية لعدد من المواد المألوفة.

الجدول 4-2 حرارة التبخر والانصهار القياسية

المادة	الصيغة الكيميائية	ΔH°_{vap} kJ/mol	ΔH°_{fus} kJ/mol
الماء	H_2O	40.7	6.01
الإيثانول	C_2H_5OH	38.6	4.94
الميثانول	CH_3OH	35.2	3.22
حمض الإيثانويك (الخل)	CH_3COOH	23.4	11.7
الأمونيا	NH_3	23.3	5.66

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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

$$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(g)} \qquad \Delta H_{vap} = 40.7\ kJ$$

$$H_2O_{(s)} \rightarrow H_2O_{(l)} \qquad \Delta H_{fus} = 6.01\ kJ$$

تبين المعادلة الأولى أن 40.7 kJ من الطاقة تُمتص عندما يتحول 1 mol من الماء الى 1 mol من بخار الماء. بينما تشـير المعادلة الثانية إلى أن 6.01 kJ من الطاقـة تُمتص عندما ينصهر مول واحد من الجليـد ليكون مولاً واحدًا من الماء السائل.

ماذا يحدث في العمليتين العكسـيتين عندما يتكثّف بخـار الماء ليكوِّن الماء السائل أو عندما يتجمد الماء مكونًا الجليد؟ كميات الحرارة في هذه العمليات الطاردة للحرارة مسـاوية لكميات الحرارة التي تمتـص في عمليتي التبخر والانصهـار الماصتين للحرارة. وهكذا فإن قيمة حـرارة التكثّف المولارية Molar enthalpy (heat) of condensation (ΔH_{cond}) وقيمـة حرارة التبخير المولارية متسـاويتان رقميًّا وإن اختلفتا في الإشارة. كذلك فإن قيمـة حرارة التجمـد المولارية (ΔH_{solid}) وقيمة حـرارة الانصهار المولاريـة لهما القيمة الرقمية نفسـها، ولكنهما تختلفان في الإشـارة. وهذه العلاقات موضحة في **الشكل 9-2**.

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

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

قارن بين معادلتي تكثّف وتجمد الماء الآتيتين بالمعادلتين المتعلقتين بتبخر الماء وصهره.

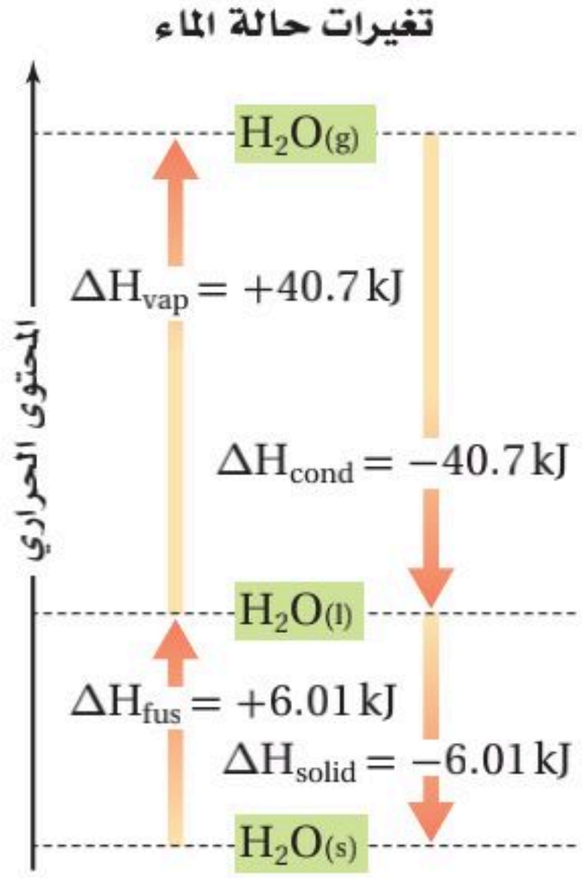
$$H_2O_{(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} \qquad \Delta H_{cond} = -40.7\ kJ$$

$$H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(s)} \qquad \Delta H_{solid} = -6.01\ kJ$$

يسـتغل بعض المزارعين في البلاد الباردة حرارة انصهار الماء لحماية الفاكهة والخضراوات من التجمد. فـإذا كان من المتوقع أن تنخفض درجة الحرارة إلى درجة التجمد في أحد الأيام فإنهم يغمرون بسـاتينهم وحقولهم بالماء في تلك الليلة. ويعود السـبب في ذلك إلى أن عمليـة تجمد الماء تطلق طاقة ΔH_{solid} تدفـئ الهواء المحيط لدرجة كافيـة لمنع الفاكهة والخضراوات من التلف. وسـوف ترسم في مختبر حل المشـكلات الآتي منحنى تسخين الماء لتفسير استعمال حرارة الانصهار والتبخر.

ماذا قرأت؟ صنف عمليات كل مـن التكثّف، والتجمّد، والتبخّر، والانصهار، إلى طاردة للحرارة أو ماصّة لها.

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



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مختبر حل المشكلات

اعمل رسومًا بيانية واستعملها

كيف ترسم منحنى التسخين للماء؟

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

التحليل

استعمل بيانات الجدول لرسم منحنى التسخين لعينة من الماء كتلتها 180 g عند تسخينها بمعدل ثابت من −20°C إلى 120°C. ثم سجل الوقت الذي يحتاج إليه الماء ليمر في كل قطاع من الرسم البياني.

التفكير الناقد

1. **حلل** كلًّا 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.

$180\ g\ H_2O = 10\ mol\ H_2O, \Delta H_{fus} = 6.01\ kJ/mol,$
$\Delta H_{vap} = 40.7\ kJ/mol,\ C_{H_2O(s)} = 2.03\ J/g \cdot °C,$
$C_{H_2O(\ell)} = 4.184\ J/g \cdot °C,\ C_{H_2O(g)} = 2.01\ J/g \cdot °C$

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

3. **استنتج** كيف يبدو شكل منحنى التسخين للإيثانول؟ ينصهر الإيثانول عند −114 °C ويغلي عند 78 °C. ارسم منحنى تسخين الإيثانول في مدى درجات الحرارة من −120 °C إلى 90 °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 C°	الزمن min	درجة الحرارة 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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثال 4-2

الحرارة المنطلقة من تفاعل يستعمل المسعر في قياس الحرارة الناتجة عن تفاعلات الاحتراق؛ إذ يتم التفاعل في حجم ثابت يحوي أكسجينًا مضغوطًا ضغطًا عاليًا. ما كمية الحرارة الناتجة عن احتراق 54.0 g جلوكوز $C_6H_{12}O_6$ بحسب المعادلة الآتية:

$$C_6H_{12}O_{6(s)} + 6O_{2(g)} \rightarrow 6CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)} \qquad \Delta H_{comb} = -2808\ kJ$$

1 تحليل المسألة

لديك كتلة معروفة من الجلوكوز، ومعادلة احتراق الجلوكوز، و ΔH_{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 ΔH_{comb}.

المعطيات

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

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

المطلوب

$q = ?\ kJ$

2 حساب المطلوب

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

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

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

اضرب مولات $C_6H_{12}O_6$ في المحتوى الحراري للاحتراق، ΔH_{comb}

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

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

3 تقويم الإجابة

الطاقة الناتجة أقل من ثلث ΔH_{comb}.

مسائل تدريبية

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

24. ما كمية الحرارة المنطلقة عن تكثّف 275g من غاز الأمونيا إلى سائل عند درجة غليانه؟ استعن **بالجدول 4-2** لتحديد ΔH_{cond} .

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

الربط مع 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 يتكسّر الجلوكوز وينطلق ثاني أكسيد الكربون والماء اللذان ينتجان أيضًا 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.

تجربة عملية

حرارة احتراق مادة الشمع

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تفاعلات الاحتراق Combustion Reactions

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

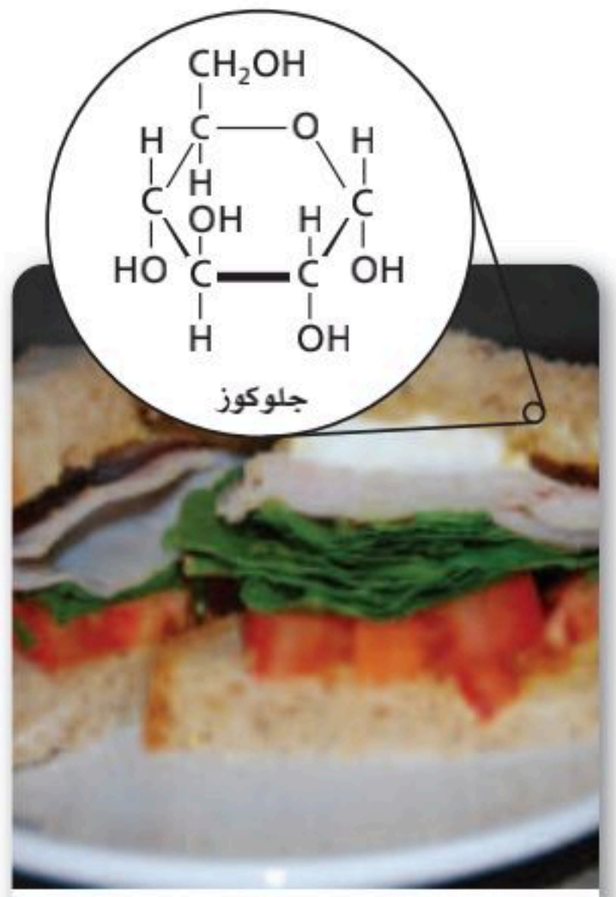
$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 891\ kJ$$

تعمل معظم المركبات- ومنها الســيارات والطائرات والســفن والشــاحنات- باحتراق الجاوزلين، والذي يتكون غالبًا من الأوكتان C_8H_{18}. ويبين **الجدول 3-2** أن احتراق 1mol من الأوكتان ينتج 5471kJ من الحرارة.

$$C_8H_{18(l)} + \frac{25}{2}O_{2(g)} \rightarrow 8CO_{2(g)} + 9H_2O_{(l)} + 5471\ kJ$$

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

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)} + 286\ kJ$$



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

التقويم 3-2

الخلاصة

- تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الطبيعيــة للمواد المتفاعلة والنواتج، كما تبين التغير في المحتوى الحراري.
- حرارة التبخــر المولارية ΔH_{vap}، هي كمية الطاقة اللازمة لتبخر مول واحد من السائل.
- حــرارة الانــصــــهار الــمــولارية ΔH_{fus}، هي كمية الحرارة اللازمة لــصــهر مول واحـــد من الــمادة الصلبة.

26. الفكرة الرئيسة **اكتــب** مــعادلة كيميائية حرارية كاملة لاحتراق الإيثانول C_2H_5OH إذا علمت أن $\Delta H_{comb} = -1367\ kJ/mol$

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

a. $C_2H_5OH_{(l)} \rightarrow C_2H_5OH_{(g)}$

b. $Br_{2(l)} \rightarrow Br_{2(s)}$

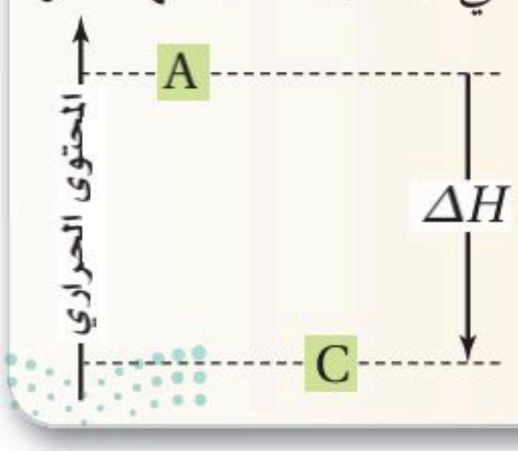
c. $C_5H_{12(g)} + 8O_{2(g)} \rightarrow 5CO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$

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

29. احسب كمية الحــرارة المنطلقة عنــد احتراق 206 g من غــاز الهيدروجين؟ $\Delta H_{comb} = -286\ kJ/mol$

30. طبّــق إذا كانت حرارة التبخُّر المولارية للأمونيا هي 23.3 kJ /mol فما مقدار حرارة التكثّف المولارية للأمونيا؟

31. تفسير الرسـوم العلمية يبين الرسم المجاور المحتــوى الحــراري للتفاعــل $A \rightarrow C$. هل التفاعل طارد أم ماصّ للحرارة؟ فسر إجابتك.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–4

الأهداف

- **تطبق** قانون هس لحساب التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما.
- **توضح** المقصود بحرارة التكوين القياسية.
- **تحسب** التغير في المحتوى الحراري للتفاعل ΔH°_{rxn} مستعملاً المعادلات الكيميائية الحرارية.
- **تحسب** التغير في المحتوى الحراري لتفاعل باستعمال بيانات حرارة التكوين القياسية.

مراجعة المفردات

التآصل: 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 الرئيسة **يمكن حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الكيميائية باستعمال قانون هس.**

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

قانون هس Hess's Law

يكون من المستحيل أحيانًا أو من غير العملي أن تقيس التغير في المحتوى الحراري ΔH لتفاعل باستعمال المسعر. يبين **الشكل 11-2** تغير الكربون في صورته المتآصلة (الألماس)، إلى الكربون في صورته المتآصلة (الجرافيت). $C(s, \text{جرافيت}) \rightarrow C(s, \text{ألماس})$.

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 ΔH لمثل هذه التفاعلات. لنفترض أنك تدرس تكوين ثالث أكسيد الكبريت في الجو، فعليك أن تحدد ΔH للتفاعل.

$$2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)} \quad \Delta H = ?$$

لسوء الحظ، إن التجارب المختبرية التي تجرى لإنتاج ثالث أكسيد الكبريت لتحديد ΔH للتفاعل ينتج عنها مخلوط من النواتج، معظمها يتكون من ثاني أكسيد الكبريت SO_2. في مثل هذه الحالة يمكنك حساب ΔH 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 "الألماس يبقى إلى الأبد diamonds are forever" يدل على أن عملية تحويل الألماس إلى جرافيت عملية بطيئة جدًّا حتى أنه من المستحيل أن تقيس التغير في محتواه الحراري.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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

$$2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)} \quad \Delta H = ?$$

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

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

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

$$\text{c. } 2S_{(s)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{2(g)} \quad \Delta H = 2(-297\ kJ) = -594\ kJ$$

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

عندما تعكس المعادلة يجب عليك أيضًا أن تغير إشارة ΔH، فتصبح المعادلة b كما يأتي:

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

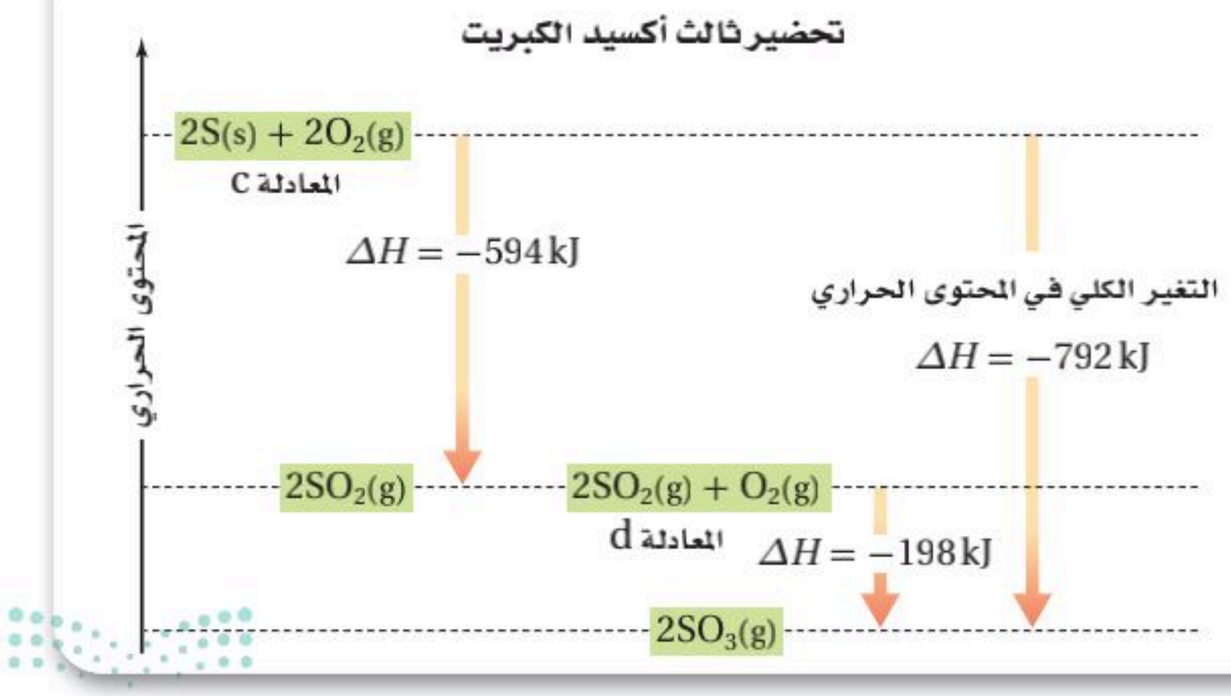
الخطوة 4 اجمع المعادلتين c و d لتحصل على المعادلة المطلوبة.

$$2S_{(s)} + 2O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{2(g)} \qquad \Delta H = -594\ kJ$$
$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)} \qquad \Delta H = -198\ kJ$$
$$2SO_{2(g)} + 2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{2(g)} + 2SO_{3(g)} \quad \Delta H = -792\ kJ$$

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

$$2S_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2SO_{3(g)} \quad \Delta H = -792\ kJ$$

ويبين **الشكل 12-2** تغيرات الطاقة في هذا التفاعل.



الشكل 12-2 يدل السهم الموجود عن اليسار على إطلاق 594 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 kJ (السهم الأوسط). إن التغير الكلي في الحرارة (مجموع العمليتين) يمثله السهم الأيمن.

أوجد التغير في المحتوى الحراري لتحلّل SO_3 إلى S و O_2.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تكون المعادلات الكيميائيــة الحرارية عادةً موزونةً لمول واحد من الناتج. لــذا 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:

$$S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)} \quad \Delta H = -396\ kJ$$

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

مثال 5-2

قانـون هـس: اســتعمل المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b أدناه لإيجاد ΔH لتحلّل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2، وهو مركب له عدة استعمالات، منها إزالة لون الشعر، وتزويد محركات الصواريخ بالطاقة.

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

a. $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -572\ kJ$

b. $H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{2(l)} \qquad \Delta H = -188\ kJ$

1 تحليل المسألة

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

المعطيات

$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -572\ kJ$

$H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{2(l)} \quad \Delta H = -188\ kJ$

المطلوب

$\Delta H = ?\ kJ$

2 حساب المطلوب

H_2O_2 هو مادة متفاعلة

اعكس المعادلة b وغيّر إشارة ΔH

$H_2O_{2(aq)} \rightarrow H_{2(g)} + O_{2(g)} \qquad \Delta H = 188\ kJ$

يلزم 2 mol من H_2O_2

اضرب المعادلة b بعد عكسها في 2 لتحصل على المعادلة c

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

اضرب 188 kJ في 2 لتحصل على ΔH للمعادلة c

$\Delta H = 188\ kJ \times 2 = 376\ kJ$

اكتب المعادلة c متضمنة ΔH

c. $2H_2O_{2(aq)} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2O_{2(g)} \qquad \Delta H = 376\ kJ$

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

اكتب المعادلة a

a. $2H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} \qquad \Delta H = -572\ kJ$

اكتب المعادلة c

c. $2H_2O_{2(l)} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2O_{2(g)} \qquad \Delta H = 376\ kJ$

اجمع المعادلتين a و c

$2H_2O_{2(l)} \rightarrow 2H_2O_{(l)} + O_{2(g)} \qquad \Delta H = -196\ kJ$

3 تقويم الإجابة

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مسائل تدريبية

32. استعمل المعادلتين a و b لإيجاد ΔH للتفاعل الآتي:

$$2CO_{(g)} + 2NO_{(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} + N_{2(g)} \qquad \Delta H = ?$$
$$a.\ 2CO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2CO_{2(g)} \qquad \Delta H = -566.0\ kJ$$
$$b.\ N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{(g)} \qquad \Delta H = -180.6\ kJ$$

33. تحفيز إذا كانت قيمة ΔH للتفاعل الآتي 1789 kJ-، فاستعمل ذلك مع المعادلة a لإيجاد ΔH للتفاعل b.

$$4Al_{(s)} + 3MnO_{2(s)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)} + 3Mn_{(s)} \qquad \Delta H = -1789\ kJ$$
$$a.\ 4Al_{(s)} + 3O_{2(g)} \rightarrow 2Al_2O_{3(s)} \qquad \Delta H = -3352\ kJ$$
$$b.\ Mn_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow MnO_{2(s)} \qquad \Delta H = ?$$



الشكل 13-2 يتحد ثالث أكسيد الكبريت مع الماء في الجو مكونًا حمض الكبريتيك H_2SO_4، وهو حمض قوي يصل إلى الأرض على شكل مطر حمضي، فيدمّر الأشجار والممتلكات ببطء.

حرارة التكوين القياسية

Standard Enthalpy (Heat) of Formation

يمكّنك قانون هس من حساب التغير في المحتوى الحراري ΔH، وذلك بالاعتماد على تفاعلات تم حساب ΔH لها من قبل من خلال تجارب مختبرية. ولكن عملية حساب وتسجيل قيم ΔH لكافة التفاعلات الكيميائية المعروفة مهمة صعبة وضخمة. وعوضًا 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 (1atm) ودرجة حرارة 25°C (298 K). فالحديد مثلاً صلب، والزئبق سائل، والأكسجين غاز ثنائي الذرة في الحالة القياسية.

ويسمى ΔH لهذا التفاعل المحتوى الحراري، أو حرارة التكوين القياسية للمركب. ويعرف المحتوى الحراري أو **حرارة التكوين القياسية** ΔH_f° 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 SO_3 مثالاً على تفاعل حرارة تكوين قياسية.

$$S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)} \qquad \Delta H_f^\circ = -396\ kJ$$

ينتج عن هذا التفاعل ثالث أكسيد الكبريت SO_3، وهو غاز خانق يتسبب في إنتاج المطر الحمضي عندما يختلط بالرطوبة الموجودة في الجو. والشكل **13-2** يبين النتائج المدمرة للمطر الحمضي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

ما مصدر حرارة التكوين؟ إن حرارة التكوين القياسية تعتمد على الفرضية الآتية: العناصر في حالاتها القياسية يكون لها ΔH_f° تساوي 0.0 kJ /mol. فإذا أخذنا الصفر نقطة بداية أمكننا أن ننظم تدريجًا قيم حرارة التكوين للمركبات، والتي تم إيجادها عمليًا. يمكنك التفكير في الصفر على هذا التدريج بما يشبه الصفر المئوي 0.0°C الذي حُدِّد درجةً 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 :

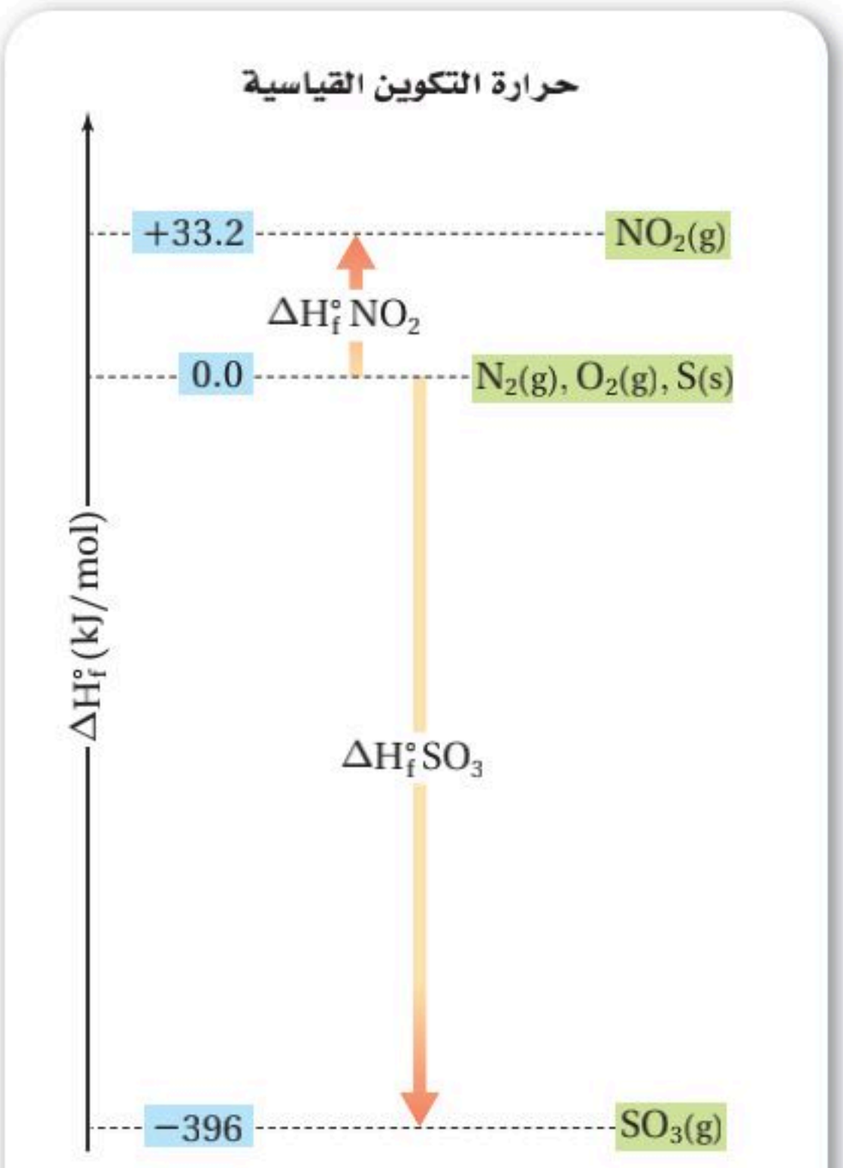
$$\frac{1}{2}N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H_f^\circ = +33.2\ kJ$$

النيتروجين والأكسجين في الحالة القياسية غازان ثنائيًا الذرة، لذا تكون حرارة التكوين لكل منهما صفرًا. وعند تفاعل النيتروجين مع الأكسجين لتكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين وجد عمليًا أن ΔH يساوي +33.2 kJ.

وهذا يعني أن +33.2 kJ من الطاقة قد امتصت في هذا التفاعل الماصّ للحرارة. أي أنّ المحتوى الحراري للناتج NO_2 أعلى من المحتوى الحراري للمتفاعلات بمقدار +33.2 kJ. يبين **الشكل 14-2** أنه على تدريج 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 ΔH_f° تساوي −396 kJ. يحتوي **الجدول 5-2** على قيم حرارة التكوين القياسية لبعض المواد الشائعة.

الجدول 5-2 حرارة التكوين القياسية

المركب	معادلة التكوين	ΔH_f° (kJ/mol)
$H_2S_{(g)}$	$H_{2(g)} + S_{(s)} \rightarrow H_2S_{(g)}$	−21
$HF_{(g)}$	$\frac{1}{2}H_{2(g)} + \frac{1}{2}F_{2(g)} \rightarrow HF_{(g)}$	−273
$SO_{3(g)}$	$S_{(s)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_{3(g)}$	−396
$SF_{6(g)}$	$S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightarrow SF_{6(g)}$	−1220



الشكل 14-2 ΔH_f° 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 33.2kJ من الطاقة.

لذا فإن ΔH_f° لـ NO_2 تساوي 33.2 kJ/mol. أما عند تفاعل S مع O_2 لتكوين مول واحد من SO_3 فينطلق 396 kJ من الطاقة. لذا فإن ΔH_f° لـ SO_3 تساوي −369 kJ/mol.

توقع صف الموقع التقريبي للماء على الرسم أعلاه.

$$H_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$$

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 15-2 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 ΔH°_{rxn} لكثير من التفاعلات في الظروف القياسية باستعمال قانون هس. افترض أنك أردت أن تحسب ΔH°_{rxn} لتفاعل ينتج سادس فلوريد الكبريت، وهو غاز مستقر، غير نشط، له تطبيقات مهمة، أحدها مبين في **الشكل 15-2**.

$$H_2S_{(g)} + 4F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} + SF_{6(g)} \qquad \Delta H^\circ_{rxn} = ?$$

الخطوة 1 ارجع إلى **الجدول 5-2** لتجد معادلة تفاعل تكوين كل من المركبات الثلاثة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية ΔH°_{rxn}.

a. $\frac{1}{2}H_{2(g)} + \frac{1}{2}F_{2(g)} \rightarrow HF_{(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -273\ kJ$

b. $S_{(s)} + 3F_{2(g)} \rightarrow SF_{6(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -1220\ kJ$

c. $H_{2(g)} + S_{(s)} \rightarrow H_2S_{(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -21\ kJ$

الخطوة 2 المعادلتان **a** و **b** تصفان تكوُّن الناتجين HF و SF_6 في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية ΔH°_{rxn}، لذا استعمل المعادلتين **a** و **b** كما هما.

المعادلة **c** تصف تكوُّن H_2S، ولكن H_2S هو أحد المواد المتفاعلة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية. لذا اعكس المعادلة **c** وغيّر إشارة ΔH°_{rxn} فيها.

$$H_2S_{(g)} \rightarrow H_{2(g)} + S_{(s)} \qquad \Delta H^\circ_f = 21\ kJ$$

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

$$H_{2(g)} + F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = 2(-273) = -546\ kJ$$

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

$$\cancel{H_{2(g)}} + F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -546\ kJ$$

$$\cancel{S_{(s)}} + 3F_{2(g)} \rightarrow SF_{6(g)} \qquad \Delta H^\circ_f = -1220\ kJ$$

$$H_2S_{(g)} \rightarrow \cancel{H_{2(g)}} + \cancel{S_{(s)}} \qquad \Delta H^\circ_f = 21\ kJ$$

$$H_2S_{(g)} + 4F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} + SF_{6(g)} \qquad \Delta H^\circ_{rxn} = -1745\ kJ$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

يمكن تلخيص خطوات حساب حرارة التفاعل القياسية ΔH°_{rxn} بالصيغة أدناه:

معادلة التجميع

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_{f(\text{ products})} - \Sigma \Delta H^\circ_{f(\text{ reactants})}$$

ΔH°_{rxn} تمثل حرارة التفاعل القياسية، و Σ تمثل مجموع الحدود.

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

$$H_2S_{(g)} + 4F_{2(g)} \rightarrow 2HF_{(g)} + SF_{6(g)}$$

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [(2)\Delta H^\circ_f (HF) + \Delta H^\circ_f (SF_6)] - [\Delta H^\circ_f (H_2S) + (4)\ \Delta H^\circ_f (F_2)]$$

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

$$\Delta H^\circ_{rxn} = -1745\text{ kJ}$$

مثال 6-2

إيجاد تغير المحتوى الحراري من حرارة التكوين القياسية استعمل حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH°_{rxn} لتفاعل احتراق الميثان.

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)}$$

1 تحليل المسألة

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

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_{f\ (\text{ products})} - \Delta H^\circ_{f\ (\text{ reactants})}$$

المعطيات

$\Delta H^\circ_f (CO_2) = -394\text{ kJ}$

$\Delta H^\circ_f (H_2O) = -286\text{ kJ}$

$\Delta H^\circ_f (CH_4) = -75\text{ kJ}$

$\Delta H^\circ_f (O_2) = 0.0\text{ kJ}$

المطلوب

$\Delta H^\circ_{rxn} = ?\text{ kJ}$

2 حساب المطلوب

استعمل العلاقة الرياضية:

$$\Delta H^\circ_{rxn} = \Sigma \Delta H^\circ_{f\ (\text{ products})} - \Sigma \Delta H^\circ_{f\ (\text{reactants})}$$

عوض عن المواد الناتجة بـ CO_2، H_2O وعن المواد المتفاعلة بـ CH_4، O_2. واضرب كلًّا من H_2O، و O_2 في 2

$$\Delta H^\circ_{rxn} = [\Delta H^\circ_f (CO_2) + (2)\Delta H^\circ_f (H_2O)] - [\Delta H^\circ_f (CH_4) + (2)\Delta H^\circ_f (O_2)]$$

عوض في قيم حرارة التكوين في المعادلة

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

احتراق 1mol من CH_4 يعطي 891 kJ

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

3 تقويم الإجابة

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مسائل تدريبية

34. بيّن كيف أن مجموع معادلات حرارة التكوين يعطي كلًّا من التفاعلات الآتية، دون البحث عن قيم ΔH واستعمالها في الحل.

a. $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$ **b.** $SO_{3(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_2SO_{4(aq)}$

35. مستعينًا بجدول قيم حرارة التكوين القياسية في صفحة (79)، احسب ΔH°_{rxn} للتفاعل الآتي.

$$4NH_{3(g)} + 7O_{2(g)} \rightarrow 4NO_{2(g)} + 6H_2O_{(l)}$$

36. أوجد ΔH°_{comb} لحمض البيوتانويك، $C_3H_7COOH_{(l)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 4CO_{2(g)} + 4H_2O_{(l)}$

مستعينًا بجدول قيم حرارة التكوين والمعادلة الكيميائية أدناه:

$$4C_{(s)} + 4H_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow C_3H_7COOH_{(l)} \quad \Delta H = -534\ kJ$$

37. تحفيز بدمج معادلتي حرارة التكوين a وb تحصل على معادلة تفاعل أكسيد النيتروجين مع الأكسجين، الذي ينتج عنه ثاني أكسيد النيتروجين. ما قيمة ΔH°_f للتفاعل b؟

$$NO_{(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H^\circ_{rxn} = -58.1\ kJ$$

a. $\frac{1}{2}N_{2(g)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow NO_{(g)} \quad \Delta H^\circ_f = 91.3\ kJ$

b. $\frac{1}{2}N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H^\circ_f = ?$

التقويم 2-4

الخلاصة

- 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.

38. الفكرة الرئيسة **وضح** المقصود بقانون هس، وكيف يستعمل لإيجاد ΔH°_{rxn}؟

39. اشرح بالكلمات الصيغة التي يمكن استعمالها لإيجاد ΔH°_{rxn} عند استعمال قانون هس.

40. صف كيف تعرّف العناصر في حالاتها القياسية على تدريج حرارة التكوين القياسية؟

41. تفحص البيانات في **الجدول 5-2**. ماذا يمكن أن تستنتج عن ثبات أو استقرار المركبات المذكورة مقارنةً بالعناصر في حالاتها القياسية؟ تذكر أن الثبات أو الاستقرار يرتبط مع الطاقة المنخفضة.

42. احسب استعمل قانون هس لإيجاد ΔH للتفاعل أدناه:

$NO_{(g)} + O_{(g)} \rightarrow NO_{2(g)} \quad \Delta H = ?$. مستعينًا بالتفاعلات الآتية:

$$O_{2(g)} \rightarrow 2O_{(g)} \quad \Delta H = +495\ kJ$$

$$2O_{3(g)} \rightarrow 3O_{2(g)} \quad \Delta H = -427\ kJ$$

$$NO_{(g)} + O_{3(g)} \rightarrow NO_{2(g)} + O_{2(g)} \quad \Delta H = -199\ kJ$$

43. تفسير الرسوم العلمية استعمل البيانات أدناه لعمل رسمٍ مشابهٍ **للشكل 14-2**، واستعمله في إيجاد حرارة تبخر الماء عندَ درجة حرارة 298 K.

الماء السائل: $\Delta H^\circ_f = -285.8\ kJ/mol$؛

الماء في الحالة الغازية: $\Delta H^\circ_f = -241.8\ kJ/mol$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

كيف تعمل الأشياء؟



المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود

قــد لا تزودنا محطات الوقود في المســتقبل غير البعيد بأنواع مــن الجازولين فقط، ولكنها ستضخ أيضًا وقودًا يســمى E85. يمكن استعمال هذا الوقود في المركبات ذات المرونة في اســتعمال الوقود flexible fuel – vehicle أو (FFV). والفرق بين هذا النوع من المركبات والمركبات التقليديــة أن المركبات التقليدية تعمل على الجازولين بنسبة 100% أو على خليط يتكون من 10% إيثانول و90% جازولين، في حين تعمل FFV عــلى أنواع الوقود التي تعمل بها المركبــات التقليدية، وعلى E85 الذي يحتوي على 85% كحول. ويتميز الوقود E85 بعدم اعتماده على الوقود الأحفوري بنسبة عالية.



1 **مصدر متجدد** E85 وقود 15% من حجمه جازولين و 85% إيثانول. والإيثانول C_2H_5OH وقودٌ 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 الى خليط أغنى (وقود أكثر، هواء أقل) من حجم مماثل من الجازولين. حافات الوقود في FFV يجب أن يكون لديها القدرة على حقن كمية وقود أكبر من 30%.

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

الكتابة في الكيمياء

اكتب معادلات كيميائية حرارية تمثل الاحتراق الكامل لكل من 1mol من الأوكتان C_8H_{18}، وهو أحد مكونات البنزين، و 1mol من الإيثانول.
($\Delta H_{comb}\ C_8H_{18} = -5471\ kJ/mol$; $\Delta H_{comb}\ C_2H_5OH = -1367\ kJ/mol$)،
أيهما يطلق كمية أكبر من الطاقة لكل 1mol من الوقود؟
أيهما يطلق كمية أكبر من الطاقة لكل 1 Kg من الوقود؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مختبر الكيمياء

قياس السُّعرات الحرارية

الخلفية يطلِق حرقُ شريحة بطاطس الحرارةَ 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
كأس سعتها 250 mL
مخبار مدرج سعته 100 mL
طبق تبخير
مقياس حرارة غير زئبقي
حامل معدني مع حلقة
شبكة تسخين
أعواد ثقاب
ساق تحريك زجاجية
ميزان

إجراءات السلامة

تحذير: بعض الأشياء الساخنة قد لا تبدو ساخنة.

لا تسخنِّ 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.



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 ماصّ لها؟ كيف عرفت ذلك؟
2. **لاحظ واستنتج** صف المادة المتفاعلة ونواتج التفاعل الكيميائي. هل استُهلكت المادة المتفاعلة (شرائح البطاطس) كليًّا؟ 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.

الاستقصاء

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تمتص التفاعلات الكيميائية الحرارة أو تطلقها عادة.

2-1 الطاقة

الفكرة الرئيسة قد يتغير شكل الطاقة، وقد تنتقل، ولكنها تبقى محفوظة دائمًا.

المفردات

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

الأفكار الرئيسة

- الطاقة هي القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.
- طاقة الوضع الكيميائية هي الطاقة المختزنة 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 الرئيسة التغيُّر في المحتوى الحراري للتفاعل يساوي المحتوى الحراري للنواتج مطروحًا منه المحتوى الحراري للمتفاعلات.

المفردات

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

الأفكار الرئيسة

- تعرِّف الكيمياءُ الحرارية الكونَ على أنه النظام مع المحيط.
- تسمى كمية الحرارة المفقودة أو المكتسبة في النظام في أثناء التفاعل أو العملية التي تتم تحت ضغط ثابت التغيرَ في المحتوى الحراري (ΔH).
- عندما يكون ΔH موجبًا يكون التفاعل ماصًّا للحرارة، أما عندما يكون ΔH سالبًا فيكون التفاعل طاردًا للحرارة.

2-3 المعادلات الكيميائية الحرارية

الفكرة الرئيسة تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن مقدار الحرارة المنطلقة أو الممتصّة في التفاعلات الكيميائية.

المفردات

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

الأفكار الرئيسة

- تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الطبيعية للمواد المتفاعلة والنواتج، كما تبين التغير في المحتوى الحراري.
- حرارة التبخر المولارية ΔH_{vap} هي كمية الطاقة اللازمة لتبخر مول واحد من السائل.
- حرارة الانصهار المولارية ΔH_{fus} هي كمية الحرارة اللازمة لصهر مول واحد من المادة الصلبة.

2-4 حساب التغير في المحتوى الحراري

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

المفردات

- قانون هس
- حرارة التكوين القياسية

الأفكار الرئيسة

- 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

2-1

إتقان المفاهيم

44. قارن بين درجة الحرارة والحرارة.

45. كيف تتغير طاقة الوضع الكيميائية لنظام خلال تفاعل ماصّ للحرارة؟

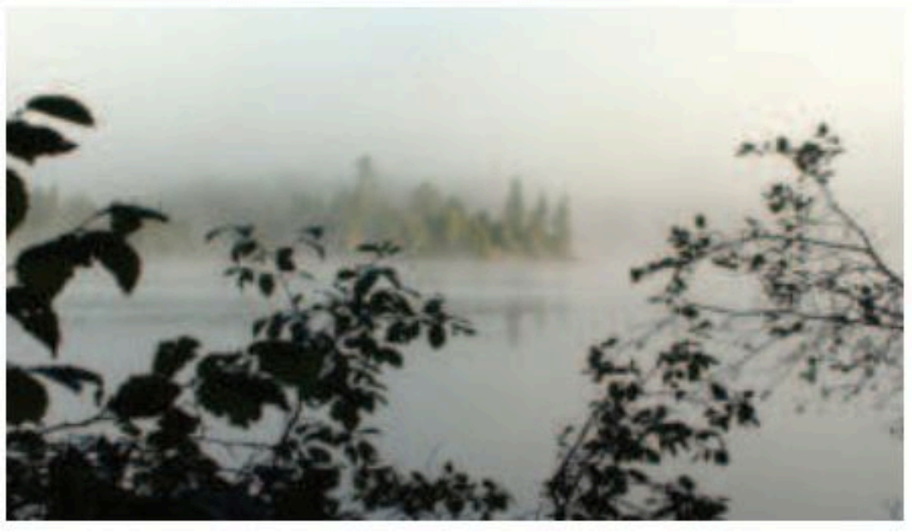
46. صف تطبيقات عملية تبين فيها كيف تتغير طاقة الوضع إلى طاقة حركية؟

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 ا لكمية التي تقاس بوحدة $J/g.^{\circ}C$؟

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 $2.44\ J/g.^{\circ}C$. 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 1mol 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 °C إلى 78 °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 وعرّف مفهوم الكون في هذين المثالين.

62. متى تكون كمية الحرارة (q) الناتجة أو الممتصة في تفاعل كيميائي مساوية للتغير في المحتوى الحراري ΔH ؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 2

63. إذا كانت قيمــة التغير في المحتوى الحراري ΔH لتفاعل سالبة. فبم يوحي لك ذلك عن الطاقة الكامنة الكيميائية للنظام قبل التفاعل وبعده؟

64. ما إشــارة ΔH لتفاعل طارد للحــرارة، ولتفاعل ماصّ للحرارة؟

إتقان حل المسائل

65. كم جولاً(J) من الحرارة تفقدها 3580 Kg من الجرانيت عندما تبرد درجــة حرارتها من 41.2°C إلى 12.9°C- ؟ (الحرارة النوعية للجرانيت هي 0.803 J /g.°C).

66. حوض الســباحةُ ملئ حوض سباحة 20 m× 12.5 m بالمــاء إلى عمــق 3.75 m . إذا كانت درجــة حرارة ماء الحوض الابتدائيــة 18.4 0°C، فما كمية الحرارة اللازمة لرفــع درجــة حرارتــه إلى 29.0°C؟ كثافــة الماء هي 1.000 g /mL.

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

68. إعــداد الطعام وضــع 10.2 gمــن زيــت الكانولا في مقلاة، ولــزم 3.34 kJ لرفع درجة حرارته من 25°C إلى 196.4°C. ما الحرارة النوعية لزيت الكانولا؟

69. الســبائك إذا وضعت ســبيكة كتلتها 58.8 g في 125 g من الماء البارد في مســعر، فنقصت درجة حرارة السبيكة بمقــدار 106.1°C، بينــما ارتفعت درجة حــرارة الماء 10.5°C، فما الحرارة النوعية للسبيكة؟

2-3

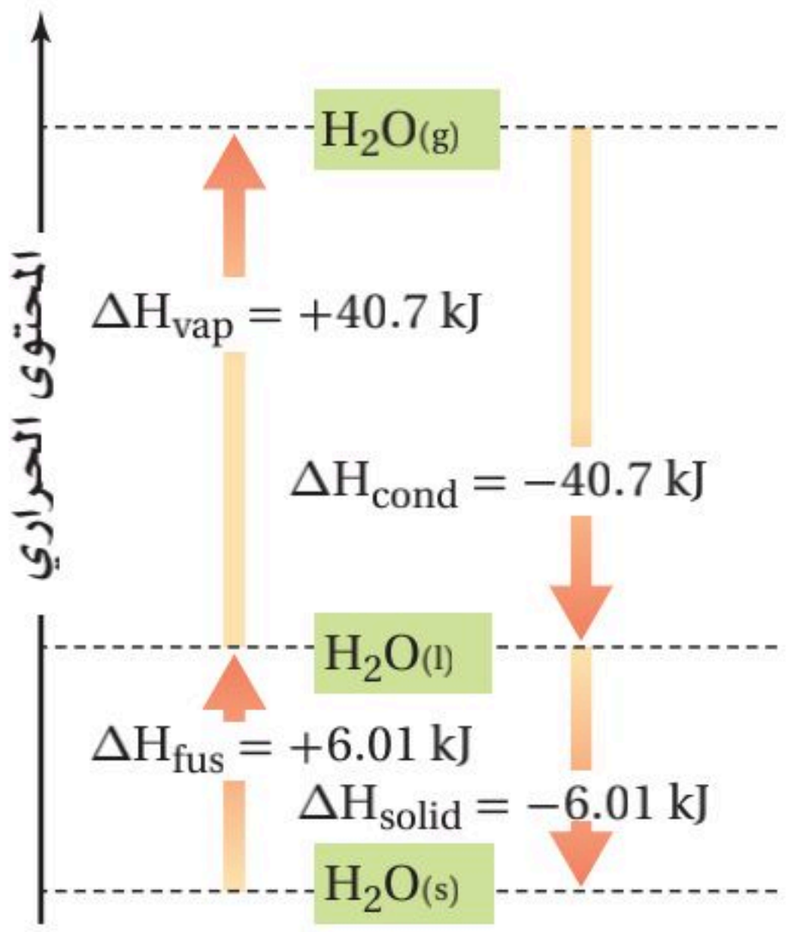
إتقان المفاهيم

70. حــرارة الانصهــار المولاريــة للميثانــول CH_3OH هي 3.22 kJ /mol. ماذا يعني ذلك؟

71. اكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق الميثان CH_4.

إتقان حل المسائل

72. اســتعن بالمعلومات الواردة في **الشــكل 18-2** لحساب كمية الحــرارة اللازمة لتبخــر 4.33 mol من الماء عند درجة حرارة 100°C.



الشكل 18-2

73. شــوّاية ما كتلة البروبــان C_3H_8 التي يجــب حرقها في شــوّاية لكي تطلق 4560 kJ من الحرارة؟ إذا علمت أنّ ΔH_{comb} للبروبان 2219 kJ /mol- .

74. التدفئة باســتعمال الفحم ما كمية الحرارة التي تنطلق عند احتراق 5.0 Kg من الفحم إذا كانت نسبة كتلة الكربون فيه 96.2% والمواد الأخرى التــي يحتــويها الفحم لا تتـفاعل؟

(ΔH_{comb} للكربون يساوي 394 kJ /mol-) .

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

76. إذا أُطلقت عينــة من الأمونيا NH_3 5.66 kJ من الحرارة عندما تصلبت عند درجة انصهارها. فما كتلة العينة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 2

2-4

إتقان المفاهيم

77. مالذي تصفه حرارة التكوين القياسية لمركب معين؟

78. كيف تتغير ΔH في معادلة كيميائية حرارية إذا تضاعفت كميات المواد جميعها ثلاث مرات وعكست المعادلة؟

إتقان حل المسائل

79. استعمل حرارة التكوين القياسية لحساب ΔH°_{rxn} للتفاعل الآتي:

$$P_4O_{6(s)} + 2O_{2(g)} \rightarrow P_4O_{10(s)}$$

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

a. $C(s, \text{جرافيت}) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -394\ kJ$

b. $C(s, \text{ألماس}) + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} \quad \Delta H = -396\ kJ$

مراجعة عامة

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

82. فرّق بين حرارة تكوين $H_2O_{(l)}$ و $H_2O_{(g)}$. لماذا من الضروري تحديد الحالة الفيزيائية للماء في المعادلة الكيميائية الحرارية الآتية:

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \text{ أو } {}_{(g)} \quad \Delta H = ?$$

83. استعمل قانون هس والتغيرات في المحتوى الحراري للتفاعلين الآتيين لحساب ΔH للتفاعل:

$$2A + B_2C_3 \rightarrow 2B + A_2C_3$$

$$2A + \frac{3}{2}C_2 \rightarrow A_2C_3 \qquad \Delta H = -1874\ kJ$$

$$2B + \frac{3}{2}C_2 \rightarrow B_2C_3 \qquad \Delta H = -285\ kJ$$

التفكير الناقد

84. طبّق يعد ثالث كلوريد الفوسفور مادة أولية في تحضير مركبات الفوسفور العضوية. بين كيف يمكن استعمال المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b لتحديد التغير في المحتوى الحراري للتفاعل:

$$PCl_{3(l)} + Cl_{2(g)} \rightarrow PCl_{5(s)}$$

a. $P_{4(s)} + 6Cl_{2(g)} \rightarrow 4PCl_{3(l)} \quad \Delta H = -1280\ kJ$

b. $P_{4(s)} + 10Cl_{2(g)} \rightarrow 4PCl_{5(s)} \quad \Delta H = -1774\ kJ$

85. توقع أي المركبين: غاز الميثان CH_4، وبخار الميثانال CH_2O، 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 CH_4 و 11.6% إيثان C_2H_6. فإذا كانت حرارة الاحتراق القياسية للميثان هي 891 kJ / mol−، وينتج عن احتراقه غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وماء سائل H_2O، فاكتب معادلة احتراق غاز الإيثان مكونًا ثاني أكسيد الكربون والماء، ثم احسب حرارة الاحتراق القياسية للإيثان مستعملاً حرارة التكوين القياسية. استعمل النتيجة وحرارة الاحتراق القياسية للميثان من **الجدول 3-2**، في حساب الطاقة المنطلقة عن احتراق 1 kg من الغاز الطبيعي.

مراجعة تراكمية

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

88. عدد ثلاث خصائص جامعة للمحاليل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 2

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

89. الوقـود البديـل ابحث من خلال المصادر وشـبكة الإنترنت كيف يمكـن إنتـاج الهيدروجين وشـحنه واسـتعماله وقودًا للسيارات؟ لخص فوائد وعوائق اسـتعمال الهيدروجين وقودًا بديلاً في محركات الاحتراق الداخلي.

أسئلة المستندات

زيـت الطبخ قامت مجموعة بحث جامعيـة بحرق أربعة أنواع من زيوت الطبخ في مسـعر لتحديد ما إذا كان هنـاك علاقة بين حرارة الاحتراق وعـدد الروابط الثنائية في جـزيء الزيت. تحتوي زيوت الطبخ على سلاسـل طويلة من ذرات الكربـون التي ترتبط بروابط مفـردة أو ثنائية. السلسـلة التي لا تحتوي على روابط ثنائية تسـمى المشـبعة. والزيوت التي تحتوي على رابطة ثنائية أو أكثر تسـمى غير مشبعة. حـرارة الاحتراق للزيـوت الأربعـة مـوجودة في **الجدول 6-2** .حسب الباحثون نسـبة انحراف النتائج فوجدوا أنها 0.6%، واستنتجوا أنه لا يمكن تحري أي علاقة بين التشبع وحرارة الاحتراق بالطريقة المختبرية المستعملة.

الجدول 6-2 نتائج حرق الزيوت

نوع الزيت	ΔH_{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 مـن 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؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. الحـــرارة النوعية للإيثانـــول $2.44\ J/g.^\circ C$. ما الطاقة (KJ) اللازمة لتســـخين 50 g مـــن الإيثانول من درجة حرارة $20.0\ ^\circ C$ إلى $68.0\ ^\circ C$؟

a. 10.7 KJ

b. 8.30 KJ

c. 2.44 KJ

d. 5.86 KJ

2. إذا سُـــخِّنت رقاقـــة ألومنيوم كتلتهـــا 3.00 g في فرن، فارتفعت درجة حرارتها من $20.0\ ^\circ C$ إلى $662.0\ ^\circ C$، وامتصـــت 1728 J من الحـــرارة، فما الحـــرارة النوعية للألومنيوم؟

a. $0.131\ J/g.^\circ C$

b. $0.870\ J/g.^\circ C$

c. $0.897\ J/g.^\circ C$

d. $2.61\ J/g.^\circ C$

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

a. حرارة الاحتراق

b. حرارة التبخّر 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 دائمًا

d. سالبة دائمًا

5. ادرس العبارات الآتية:

العبـــارة الأولى : تحتوي المعادلة الكيميائية الحرارية على الحالات الفيزيائية للمـــواد 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 التى يفقدها أو يكتســـبها النظام خلال تفاعـــل أو عملية تتم عند ضغط ثابت تســـمى التغير في المحتوى الحراري ΔH .

أي العبارات أعلاه صحيحة:

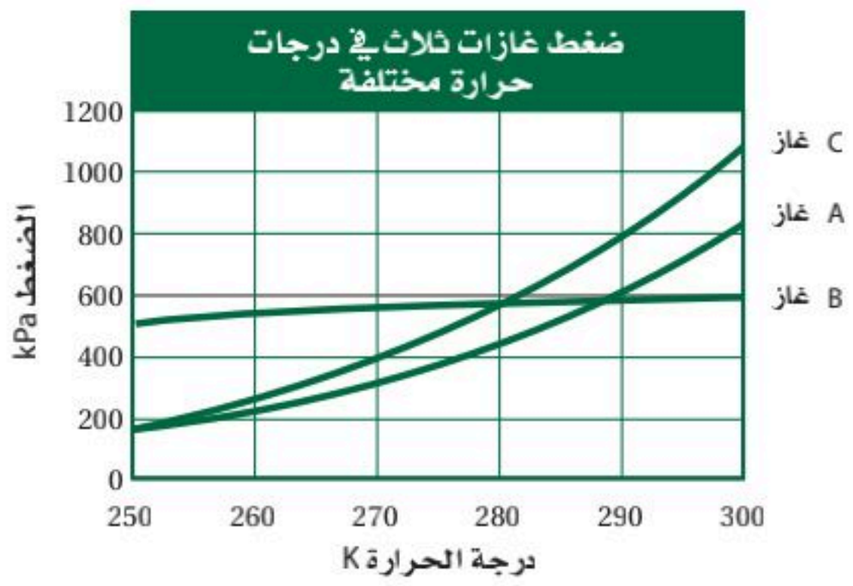
a. الأولى والثانية

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 K؟

a. 500 kPa

b. 600 kPa

c. 700 kPa

d. 900 kPa

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

7. وضعت كمية مـن الماء درجة حرارتـه 25.60 °C في مسعر، ثم سـخنت قطعة من الحديد كتلتها 50.0 حتى أصبحت درجة حرارتها 115.0 °C، ووضعت في الماء الموجود بالمسعر، وبعد التبادل الحراري بين الماء وقطعة الحديد أصبحت درجة الحرارة النهائية لمحتويات المسعر 29.30°C، وكانـت كميـة الحرارة التـي 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 إشـارة ΔH لكل من تغيرات الحالـة الفيزيائية الآتية:

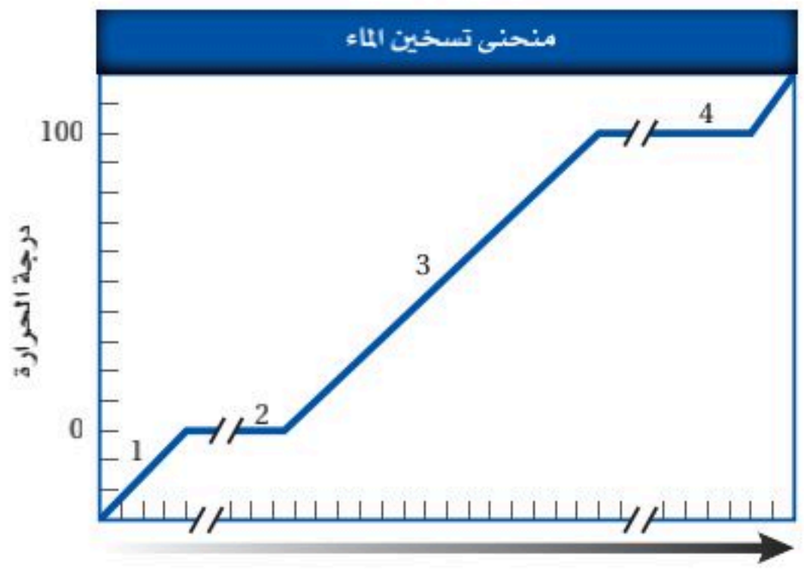
a. $C_2H_5OH_{(s)} \rightarrow C_2H_5OH_{(l)}$

b. $H_2O_{(g)} \rightarrow H_2O_{(l)}$

c. $CH_3OH_{(l)} \rightarrow CH_3OH_{(g)}$

d. $NH_{3(l)} \rightarrow NH_{3(s)}$

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



أسئلة الإجابات المفتوحة

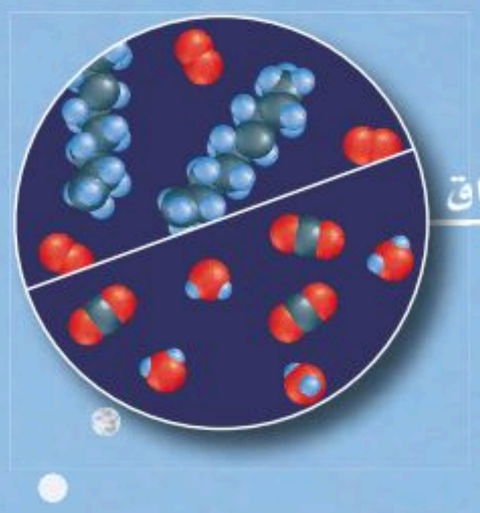
10. يرش الماء على البرتقال في ليلة باردة. إذا كان متوسط ما يتجمّد من الماء على كل برتقالة 11.8 g فما كمية الحرارة المنطلقة؟

11. اشرح كيف يساعد التعرّق على تبريد جسمك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 3

سرعة التفاعلات الكيميائية
Reaction Rates



متفاعلات ونواتج الاحتراق



مكبس وأسطوانة



محرك



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

3-1 نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة نظريـــة التصادم هـــي المفتاح لفهم الاختلاف في سرعة التفاعلات.

3-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

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

3-3 قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة قانون سرعـــة التفاعل عبارة عـــن علاقة رياضية -يمكـــن 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 بيير دي روشاز عام 1862م.
- تتحد مكونات الجازولين مع الأكسجين في عملية الاحتراق التام داخل أسطوانة محرك الســـيارة لتنتج ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء وطاقة كافية لتحريك السيارة.

وزارة التعليم
Ministry of Education

تجربة استهلالية

كيف يمكن زيادة سرعة التفاعل؟

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



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. اعمل جدولاً لتسجيل المشاهدات والملاحظات قبل وبعد التجربة.
3. اسكب 10 mL تقريبًا من **فوق أكسيد الهيدروجين في كأس زجاجي**. ثم سجّل ملاحظاتك 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 ملاحظاتك 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.

المطويات
منظمات الأفكار

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



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

الخطوة 3 ثبّت الطيات، كما في **الشكل**، واكتب عنوانًا 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، واكتب ملخصًا حول تأثيره في سرعة التفاعل، ثم أعط أمثلة عليها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

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 أوطاقة حركة.

المفردات الجديدة

سرعة التفاعل الكيميائي

نظرية التصادم

المعقد المُنشط

طاقة التنشيط

نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي

Collision Theory and Reaction Rate

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

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

التعبير عن سرعة التفاعل Expressing Reaction Rates

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

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

$$\text{متوسط السرعة} = \frac{\Delta_{\text{quantity}}}{\Delta_t}$$

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

الشكل 1–3 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.





وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



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 mol /L.s. وتشير الأقواس التي تكون حول الصيغة الجزيئية للمواد إلى التركيز المولاري. فمثلاً $[NO_2]$ تمثل التركيز المولاري لـ 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.

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

من خلال التفاعل السابق تكُون قيمة سرعة تكوُّن المواد الناتجة موجبة. ويمكن التعبير عن حساب سرعة تكوُّن NO كما يأتي:

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

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

$$\text{Rate} = \frac{0.010\ \text{M} - 0.000\ \text{M}}{2.00\ \text{s} - 0.00\ \text{s}}$$
$$= \frac{0.010\ \text{M}}{2.00\ \text{s}} = 0.0050\ \text{mol/L·s}$$

لاحظ كيفية اشتقاق الوحدة:

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

المفردات

المفردات الأكاديمية

التركيز Concentration

الاستعمال العلمي: كمية المذاب في كمية محددة من المذيب أو المحلول. ونقول مثلاً: *إن تركيز المحلول هو 6 mol /L.*

الاستعمال الشائع: تركيز الانتباه على هدف أو غرض واحد.

فنقول مثلاً: *اقتصر تركيز الجمهور على الأداء فقط.*

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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

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

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 دائمًا 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

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

حيث تمثل Δ [reactants] التغير في تركيز المواد المتفاعلة.

Δt تمثل التغير في الزمن $t_2 - t_1$

مثال 1-3

حساب متوسط سرعة التفاعل إذا علمت أن تركيز كلوريد البيوتيل C_4H_9Cl في بداية تفاعله مع الماء 0.22 M ثم أصبح 0.100 M بعد مرور 4.00 ثوانٍ على التفاعل. احسب متوسط سرعة التفاعل خلال هذه الفترة بوحدة mol /L.s.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت التركيز والزمن الابتدائيين والنهائيين لـ C_4H_9Cl، لذا يمكنك حساب متوسط سرعة التفاعل الكيميائي باستعمال التغير في تركيز كلوريد البيوتان خلال أربع ثوان.

المعطيات

$t_1 = 0.00$ s

$t_2 = 4.00$ s

$[C_4H_9Cl]_{t_1} = 0.220$ mol /L

$[C_4H_9Cl]_{t_2} = 0.100$ mol /L

المطلوب

Rate = ?mol/L.s

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة متوسط سرعة التفاعل

$$\text{Rate} = -\frac{[C_4H_9Cl]_{t_2} - [C_4H_9Cl]_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

عوض عن الزمن والتركيز الابتدائيين والنهائيين

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

احسب الناتج بوحدة mol/ L.s

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

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

3 تقويم الإجابة

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مسائل تدريبية

استعمل البيانات الموجودة في الجدول أدناه لحساب متوسط سرعة التفاعل :

بيانات التجربة للتفاعل $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$			
الزمن s	$[H_2]$	$[Cl_2]$	$[HCl]$
0.00	0.030	0.050	0.000
4.00	0.020	0.040	

1. احسب متوسط سرعة التفاعل معبرًا عنه بعدد مولات H_2 المستهلكة لكل لتر في كل ثانية.
2. احسب متوسط سرعة التفاعل معبرًا عنه بعدد مولات Cl_2 المستهلكة لكل لتر في كل ثانية.
3. **تحفيز** 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

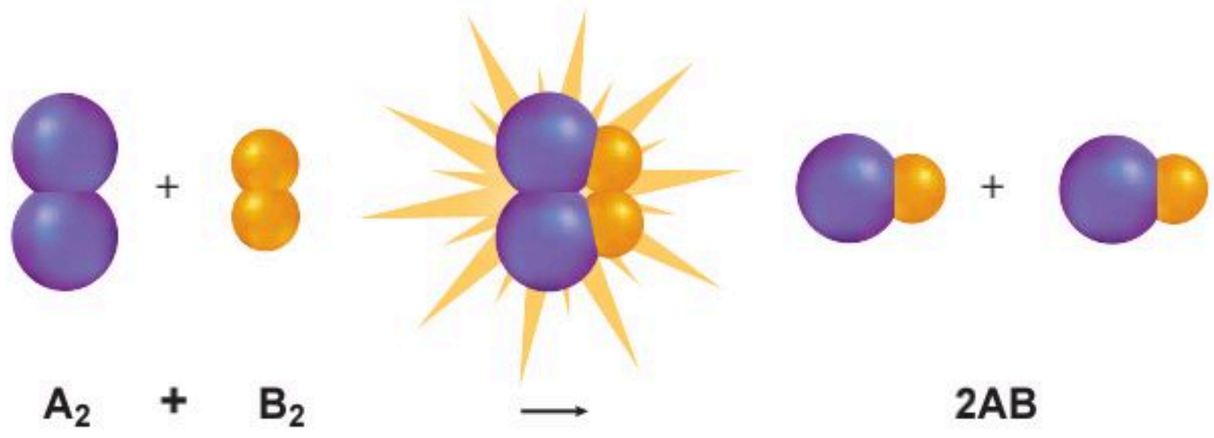
في التفاعل الكيميائي؛ يجب أن تتصادم جزيئات المواد المتفاعلة لتكوين النواتج. يمثل **الشكل 3-3** التفاعل بين جزيئات A_2 و B_2 لتكوين مركب AB . ويجب أن تتصادم جزيئات المواد المتفاعلة معًا لتكوين جزيئات AB. لذا يوضح هذا الشكل **نظرية التصادم** التي تنص على وجوب تصادم الذرات والأيونات والجزيئات بعضها ببعض 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_2 الذي يحدث عند درجة حرارة أعلى من 500 K والموضح بالمعادلة:

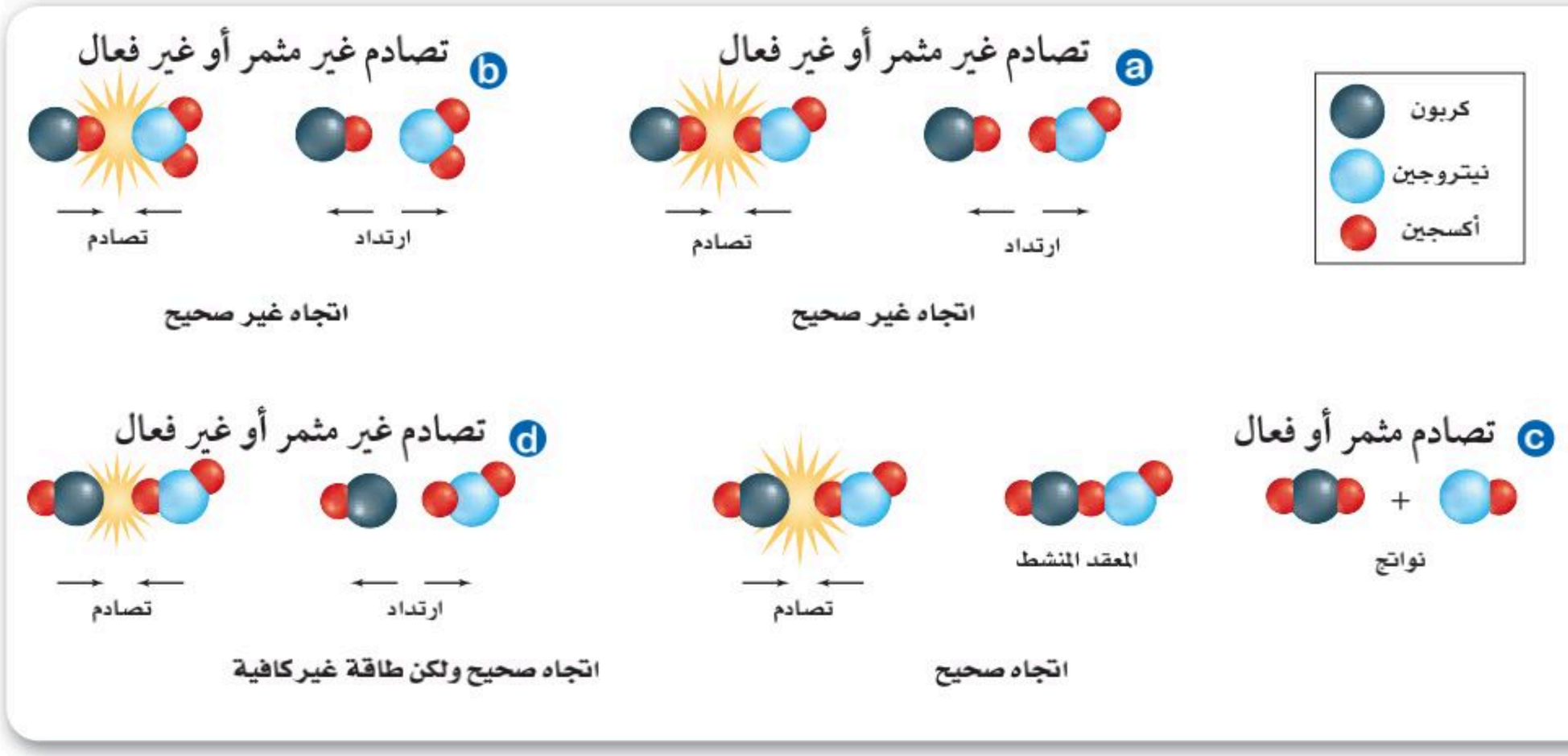
$$CO_{(g)} + NO_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + NO_{(g)}$$

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



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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 4 - 3 يبين الشكل أربعة احتمالات مختلفة لاتجاهات التصادم بين جزيئات CO و NO_2. 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.

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

يوضّح **الشكلان 3-4a، 3-4b** الإجابة المحتملة عن هذا السؤال؛ فلكيْ يؤدي الاصطدام إلى حدوث تفاعل يجب أن ترتبط ذرة الكربون من جزيء CO مع ذرة أكسجين من جزيء NO_2 في لحظة الاصطدام، وهذه هي الطريقة الوحيدة لتتكون رابطة مؤقتة. أما الاصطدامات الموضّحة في **الشكلين 3-4b** و **3-4a** 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 مناسبًا في أثناء التصادم، كما في **الشكل 3-4 C**، يحدث التفاعل، وتنتقل ذرة أكسجين من جزيء NO_2 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.

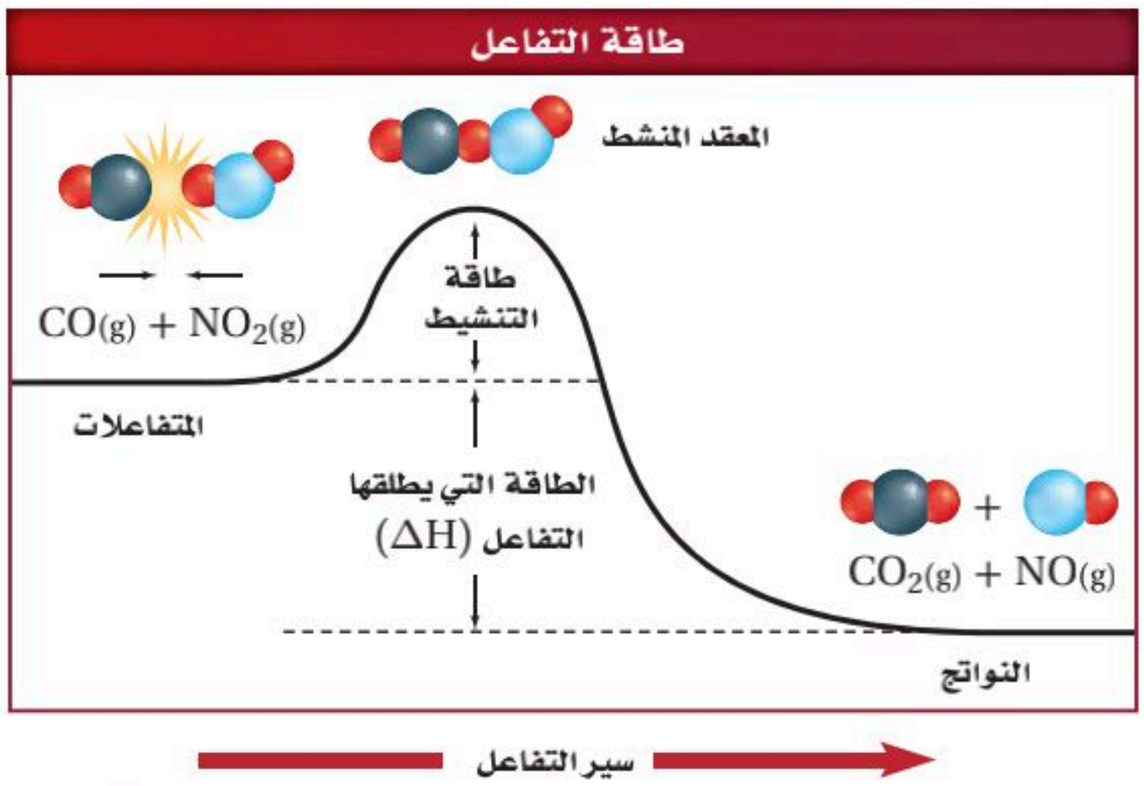
طاقة التنشيط وسرعة التفاعل لا يؤدي التصادم في **الشكل 3-4d** إلى تفاعل لعدم توافر طاقة كافية لحدوث التفاعل، لذلك لا يحدث تفاعل بين جزيئات CO و NO_2 ما لم تتصادم بقوة كافية. ويسمى الحد الأدنى من الطاقة لدى الجزيئات المتفاعلة واللازم لتكوين المعقد المنشط وإحداث التفاعل **طاقة التنشيط** Activation energy (E_a).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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

يلخص **الجدول 1-3** 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 فهـذا يعني أن هناك عددًا كبيرًا من الاصطدامـات 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 مرتفعًا فسـوف يحتاج الشـخص إلى طاقة كبيرة لدفع العربة نحو القمة، كما أنه سيسـتغرق وقتًا طويلاً للوصول إلى قمة التل. أما إذا كان التل منخفضًا فسوف يحتاج إلى كمية أقل من الطاقة اللازمة لدفع العربة إلى قمة التل، إضافة إلى قدرته على إنجاز المهمّة في وقت أسرع.

يبين **الشـكل 5-3** مخطط الطاقة لتفاعل أول أكسـيد الكربون مع ثاني أكسيد النيتروجـين. هل يختلف مخطـط الطاقة هذا عما تعلمته سـابقًا في فصل الطاقة والتغيرات الكيميائية؟ ولماذا؟ يبين هذا المخطط طاقة التنشيط للتفاعل التي تعد حاجزًا أمام حدوث التفاعل. لذلك يجب أن تتغلب المواد المتفاعلة عليه لتكوّن مواد ناتجة. وفي هذه الحالة تتصادم جزيئات CO و NO_2 ، مع وجود كمية كافية من الطاقة؛ لتتغلب على هذا الحاجـز، وتكون طاقة النواتج أقل من طاقة المواد المتفاعلة. وتسمى التفاعلات التي تفقد طاقةً التفاعلاتِ الطاردةَ للحرارة.

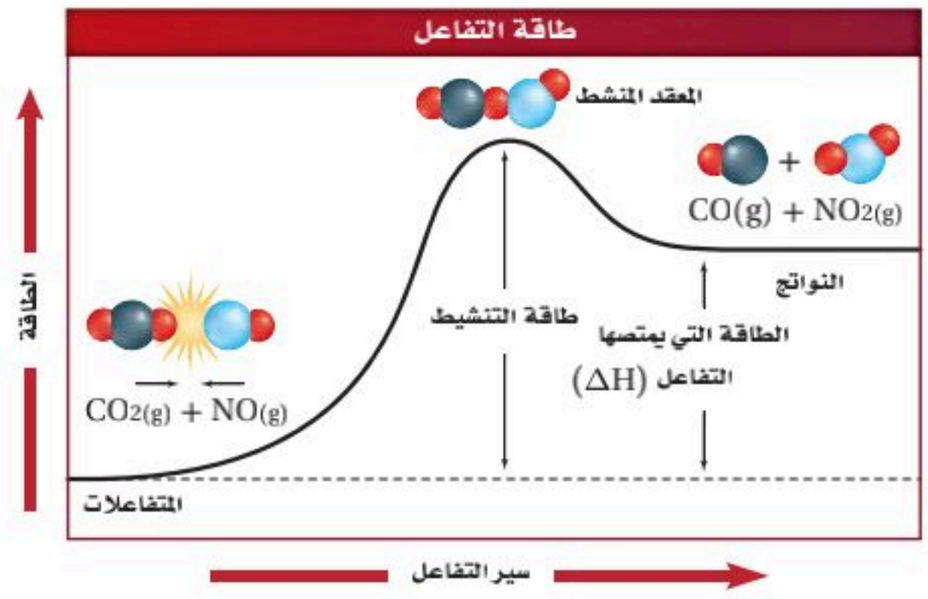


الشـكل 5-3 عندما يحدث تفاعل طارد للحرارة تصطدم الجزيئات التي لها طاقة كافية فتكون المعقد المنشط وتطلق طاقة، وتكوِّن نواتج ذات محتوى طاقة أقل من المواد المتفاعلة.

اختبار الرسم البياني

فسر كيف يمكنك أن تعرف من خلال الرسـم ما إذا كان التفاعل طاردًا للحرارة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



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

اختبار الرسم البياني

قارن بين طاقتي التنشيط، للتفاعلين الأمامي والعكسي؟

تعد عملية التحول بين المواد المتفاعلة والناتجة لبعض التفاعلات عمليات انعكاسية. ويبين **الشكل 6-3** التفاعل العكسي الماصّ للطاقة بين CO_2 و NO لإعادة إنتاج CO و NO_2. ويكون مستوى طاقة المتفاعلات في هذا التفاعل أدنى من مستوى طاقة النواتج. لذلك يجب التغلب على طاقة التنشيط لإعادة إنتاج CO و NO_2. وهذا يحتاج إلى طاقة عالية أكبر من طاقة التفاعل الأمامي. وإذا حدث هذا التفاعل العكسي وأنتج CO و NO_2 فسيكون مستوى طاقتها أعلى.

مختبر حل المشكلات

تفسير البيانات

كيف تتغير سرعة التحلل خلال الزمن؟ يتحلل مركب خامس أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_5 في الهواء وفقًا للمعادلة الآتية:

$$2N_2O_{5(g)} \rightarrow 4NO_{2(g)} + O_{2(g)}$$

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

التحليل

يبين الجدول المقابل النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها عند قياس تركيز N_2O_5 خلال فترة زمنية محددة، عند الضغط الجوي العادي، ودرجة حرارة $45\ ^\circ C$.

الزمن(min)	$[N_2O_5]$
0	0.01756
20.0	0.00933
40.0	0.00531
60.0	0.00295
80.0	0.00167
100.0	0.00094

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 N_2O_5.
2. **أحسب** متوسط سرعة التفاعل خلال كل فترة زمنية بعدد مولات 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.
3. **فسّر** البيانات والنتائج التي توصلت إليها، ثم استعملها في وصف كيفية تغير سرعة تحلل N_2O_5 خلال الزمن.
4. **طبّق** نظرية التصادم لتفسير سبب تَغير سرعة التفاعل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

التقويم 1-3

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 mol /L.s.
- لا بد من تصادم الجسيمات لحدوث التفاعل.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–2

الأهداف

- **تحدد** العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل.
- **تفسر** 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

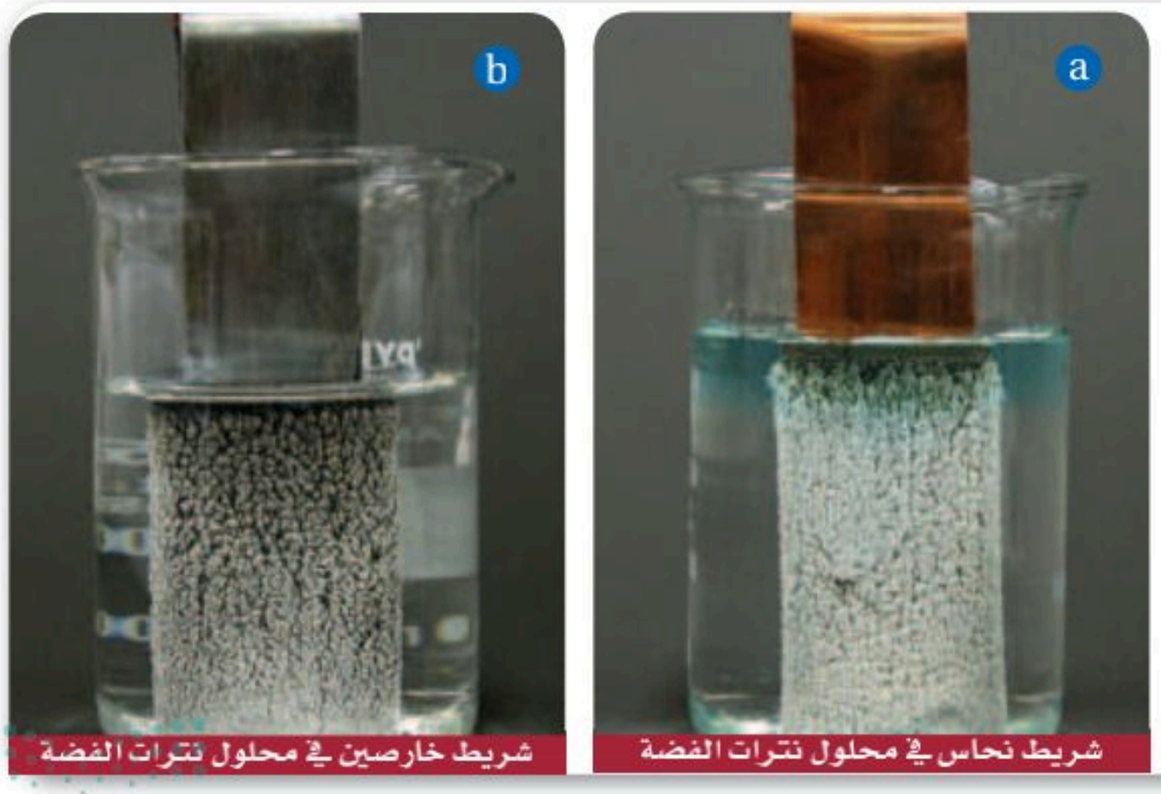
Factors Affecting Reaction Rates

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

الربط مع الحياة تُرى، ما سرعة انتشار النار في غابة إذا كانت أشجارها متباعدًا بعضها عن بعض أو كان الخشب رطبًا؟ 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 فلزَّا النحاس والخارصين (الزنك) في خواصهما الفيزيائية؛ بسبب قرب موقعيهما في الجدول الدوري، ومع ذلك فهما يتفاعلان بسرعات مختلفة عند وضع كل منهما في كأس تحتوي على محلول نترات الفضة بالتركيز نفسه. فعند وضع شريط من النحاس في محلول نترات الفضة تركيزه 0.05 M كما في **الشكل 3-7a**، يتفاعل النحاس مع نترات الفضة ليكوّن فلز الفضة ومحلول نترات النحاس II. وعند وضع شريط من الخارصين في محلول نترات الفضة تركيزه 0.05 M ، كما في **الشكل 3-7b**، يتفاعل الخارصين مع محلول نترات الفضة ليكوّن فلز الفضة ومحلول نترات الخارصين. 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 الخارصين مع نترات الفضة أكبر من الكمية الناتجة عن تفاعل النحاس مع الكمية نفسها من نترات الفضة. كما أن تفاعل الخارصين مع نترات الفضة يحدث أسرع؛ لأن الخارصين أنشط كيميائيًّا من النحاس.



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

اكتب المعادلات الكيميائية الموزونة التي تمثل التفاعلات الظاهرة في الشكل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



يبلغ تركيز الأكسجين في الهواء حول الشمعة 20% تقريبًا.



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

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

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 كبيرًا 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 وB لتكوين AB بسرعة محددة. ولكن ماذا يحدث إذا ازداد تركيز B؟ تزداد تصادمات جزيئات A مع جزيئات B؛ وذلك لازدياد عدد جزيئات B. لذا يؤدي ازدياد عدد الاصطدامات إلى زيادة سرعة التفاعل الكيميائي.

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

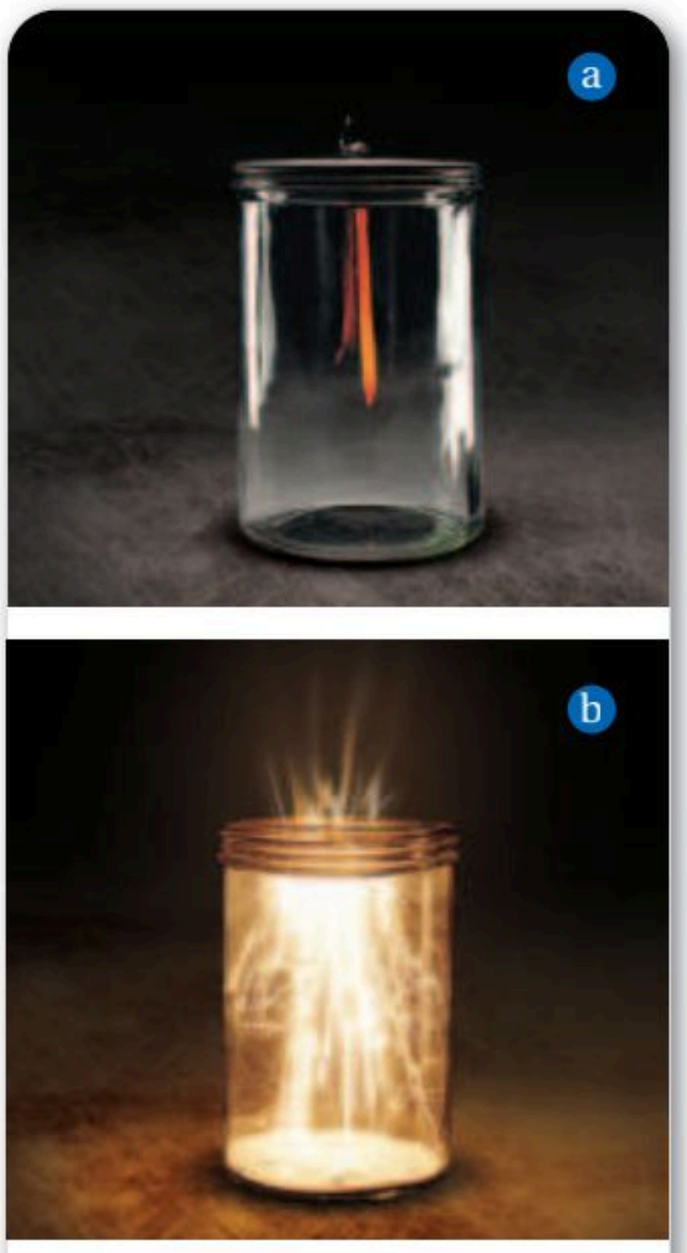
تأمل التفاعلات الموضحة في **الشكل 8-3**، حيث تحترق الشمعتان. ولكن كيف يمكن مقارنة الشمعة في الصورة اليمنى بالشمعة في الصورة اليُسرى التي وُضعت داخل زجاجة تحتوي على 100% أكسجين تقريبًا، وهذا يشكل خمسة أضعاف تركيز الأكسجين في الهواء الجوي؟ بالاعتماد على نظرية التصادم، كلما زاد تركيز الأكسجين زاد عدد الاصطدامات 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 المسمار 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.

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

درجة الحرارة Temperature

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

إن زيادة درجة حرارة المادة يزيد من متوســط 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 سرعــة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة. ولفهــم أفضل للعلاقة بين تغير سرعة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة، تفحّص الرســم البياني في **الشــكل 10-3**، الذي يقارن بين أعداد الجسيمات التي لها الطاقة الكافية للتفاعل عند درجات الحرارة T_1 و T_2؛ حيث T_2 أكبر من T_1. ويمثل الخط المتقطع طاقة التنشيط E_a للتفاعل. وتمثل المنطقة المظللة تحت كل منحنى عدد الاصطدامات التي لها طاقة مســاوية أو أكبر من طاقة التنشــيط. كيف يمكن المقارنة بين المناطق المظللــة؟ عدد الاصطدامات العالية الطاقــة عند درجة الحــرارة العالية T_2 أكبر كثيرًا من عــدد الاصطدامات عند درجة الحرارة المنخفضة T_1. لذلك كلما كانت درجــة الحرارة أعلى كان عدد الاصطدامات التي ينتج عنها تفاعلٌ أكبرَ.

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

تجربة عملية

سرعة التفاعل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

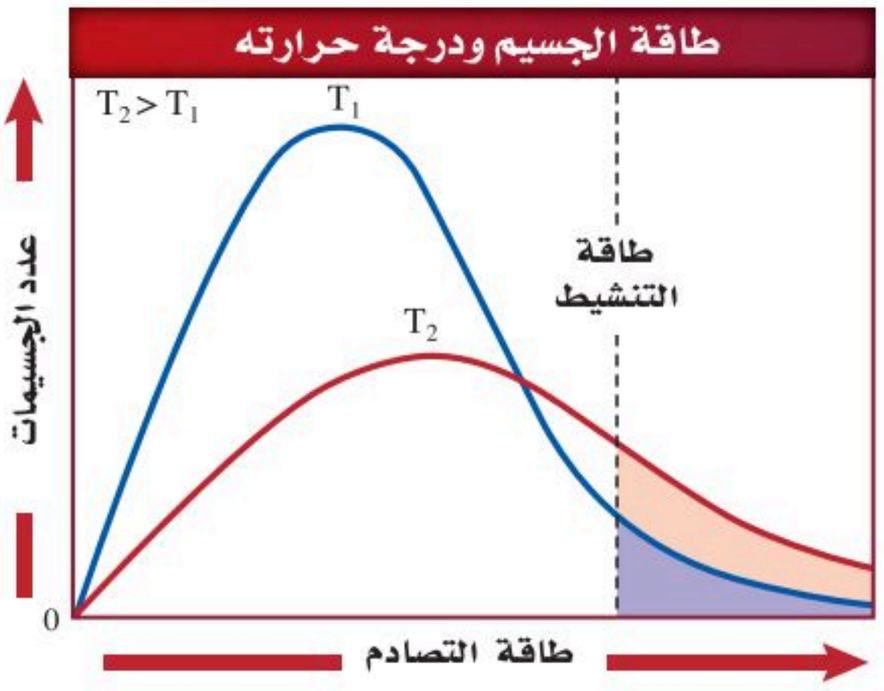
تجربة عملية

مساحة السطح وسرعة التفاعل

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشــكل 10-3 يـؤدي الارتفـاع في درجـة الحرارة إلى زيـادة الطاقة الحركية للجسـيمات، وبالتالي زيادة عدد الجسـيمات التـي 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.





وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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. جزّئ قرصًا 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°C تقريبًا) 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 تمامًا، باستعمال ساعة إيقاف أو ساعة يد بها عقرب ثوان.
5. كرّر الخطوتين 3 و 4، لكن في هذه المرة سخّن الماء تدريجيًّا على سخّان كهربائي حتى تصل درجة حرارته إلى 50°C، وحافظ على درجة حرارة الماء عند هذه الدرجة طوال وقت التفاعل.

التحليل

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

المحفِّزات والمثبِّطات Catalysts and Inhibitors

يؤثر كل من درجة الحرارة وتركيز المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل. إلا أن زيادة درجة الحرارة ليست دائمًا 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، ولكنْ 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 المحفزات 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.

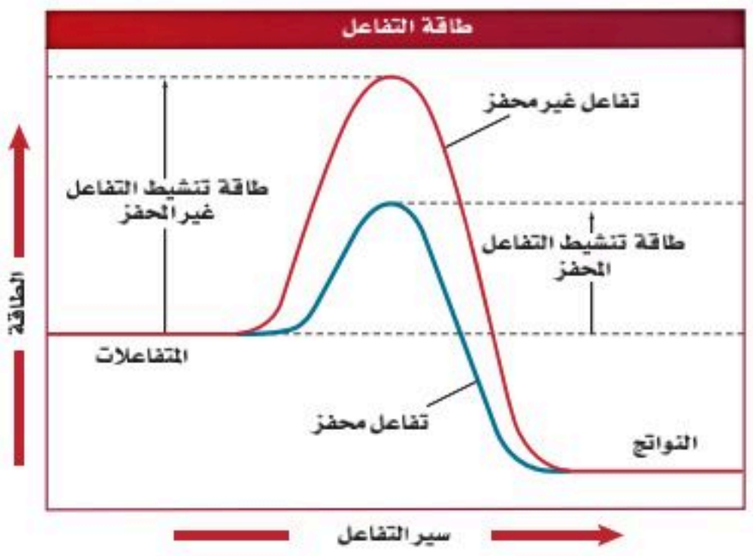
المثبّطات يسمى النوع الآخر من المواد التي تؤثر في سرعة التفاعل **المثبّطات**. وخلافًا للمحفز الذي يزيد سرعة التفاعل، تعمل المثبطات على إبطاء سرعة التفاعل. كما تَحُول بعض المثبطات دون حدوث التفاعل على الإطلاق.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446





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.



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؟

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 المحفزِ. لاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل المحفَّز أقل كثيرًا من طاقة التنشيط في التفاعل غير المحفَّز. يمكنك اعتبار طاقة التنشيط في التفاعل عقبة يجب تخطّيها، كما هو مبين في **الشكل 12-3**. ففي هذا السياق يحتاج الحصان والفارس مثلاً طاقة أقل كثيرًا 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 المحفّز، 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 الموادَّ الحافظة، أو المواد المضادة للأكسدة. وتعدّ بعض المواد الحافظة آمنة للأكل، وتعطي فترة صلاحية أطول للغذاء.

التقويم 2-3

الخلاصة

- تتضمن العوامل الرئيسة التي تؤثر في سرعة التفاعل طبيعةَ 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.

12. **الفكرة الرئيسة** **وضّح** 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 ـ 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 تقريرًا قصيرًا يلخص النتائج التي حصلت عليها حول دور المحفزات في أحد هذه التطبيقات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

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

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

كتابة قوانين سرعة التفاعلات Writing Reaction Rate Laws

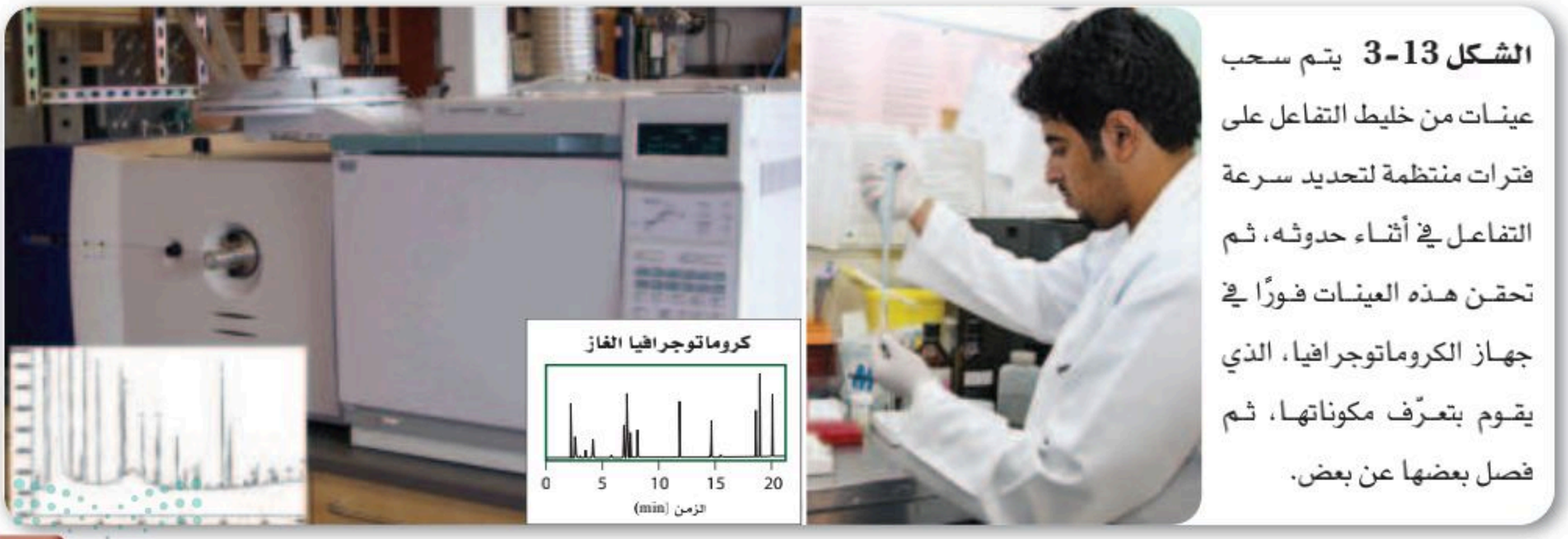
تعلمت من قبل كيفية حساب متوسط السرعة للتفاعل الكيميائي. وكلمة (متوسط rate) مهمة؛ لأن معظم التفاعلات الكيميائية تتناقص سرعتها عند استهلاك المواد المتفاعلة، ويقل عدد الجسيمات المتوافرة للتصادم. لقد وضع الكيميائيون نتائج نظرية التصادم في معادلة سميت **قانون سرعة التفاعل**، وهو يعبر عن العلاقة بين سرعة التفاعل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

$$R = k[A]$$

R يمثل سرعةالتفاعل، [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**. وتربط هذه القيمة العددية سرعة التفاعل بتركيز المواد المتفاعلة عند درجة حرارة معينة. وثابت السرعة قيمة محددة لكل تفاعل، وله وحدات قياس مختلفة مثل: $L^2/mol^2.s$ ، أو $L/mol.s$ ، أو s^{-1}. ويجب تحديد قانون سرعة التفاعل تجريبيًّا، كما هو موضح في **الشكل 13-3**.



الشكل 13-3 يتم سحب عينات من خليط التفاعل على فترات منتظمة لتحديد سرعة التفاعل في أثناء حدوثه، ثم تحقن هذه العينات فورًا في جهاز الكروماتوجرافيا، الذي يقوم بتعرّف مكوناتها، ثم فصل بعضها عن بعض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

يبين قانون السرعة أن سرعة التفاعل تتناسب طرديًّا 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، يُعبَّر عن قانون سرعة تفاعل تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 بالمعادلة: $R = k\,[H_2O_2]$.

ولأن سرعة التفاعل تتناسب طرديًّا 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 التغير نفسه في تركيز H_2O_2. فإذا انخفض تركيز H_2O_2 إلى النصف فإن سرعة التفاعل ستنخفض أيضًا 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 تجريبيًّا أيضًا. وأخيرًا، ولأن ثابت السرعة k يصف سرعة التفاعل، فإنه يجب تحديده تجريبيًّا أيضًا. ويبين **الشكل 14-3** كيف تتغير سرعة التفاعل الابتدائية لتحلل H_2O_2 مع التغير في تركيز H_2O_2.

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

قوانين سرعة التفاعل لرُتب أخرى الرتبة الكليّة للتفاعل الكيميائي هي ناتج جمع رتب المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي. ومن المعلوم أن الكثير من التفاعلات ـ وبخاصة تلك التي تحتوي على أكثر من مادة متفاعلة ـ ليست من الرتبة الأولى. لنتفحص الشكل العام لتفاعل كيميائي مكون من مادتين متفاعلتين، كما هو مبين في المعادلة الآتية؛ حيث ترمز a وb في هذه المعادلة الكيميائية للمعاملات.

$$aA + bB \rightarrow \text{نواتج}$$

يكون **الشكل** العام لسرعة مثل هذا التفاعل كما يأتي:

القانون العام لسرعة التفاعل

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

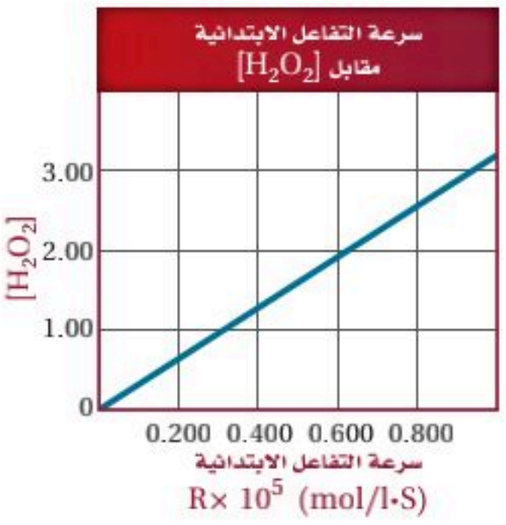
حيث $[A]$ و $[B]$ يمثلان تراكيز المواد المتفاعلة، وm و n يمثلان رتب التفاعل.

سرعة التفاعل تساوي حاصل ضرب ثابت سرعة التفاعل في تراكيز المواد المتفاعلة كل منها مرفوع للأس (الرتبة) التي يتم تحديدها تجريبيًّا.

إذا حدث التفاعل بين A و B في خطوة واحدة، وتكوَّن 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:

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

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



اختبار الرسم البياني

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

يحدث هذا التفاعل في أكثر من خطوة، لذا فإن قانون سرعة التفاعل له يكون: $R = k\,[H_2]\,[NO]^2$

ويُحَدَّد 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 $\rightarrow aA + bB$)، وافترض أنه أجري ثلاث مرات بتراكيز مختلفة لكل من A وB ، 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 ثابتًا، لاحظ أن تركيز المادة A في المحاولة 2 هو ضعف التركيز في المحاولة 1. ولاحظ أيضًا أن سرعة التفاعل في المحاولة 2 قد تضاعفت مرتين، مما يعني أن تفاعل المادة A أحادي الرتبة. ولأن $2 = 2^m$، 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 ثابتًا، مما يعني زيادة سرعة التفاعل أربع مرات عن المحاولة الثانية. ولأن $4 = 2^n$، 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 عمومًا من الرتبة الثالثة (مجموع الأسس $3 = 1 + 2$).

الجدول 2-3

بيانات السرعات الابتدائية للتفاعل
نواتج $\rightarrow aA + bB$

المحاولة	السرعة الابتدائية mol/l • s	التركيز الابتدائي [A] (M)	التركيز الابتدائي [B] (M)
1	2.00×10^{-3}	0.100	0.100
2	4.00×10^{-3}	0.200	0.100
3	16.00×10^{-3}	0.200	0.200

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مسائل تدريبية

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: نواتج $\rightarrow aA + bB$

(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	2.00×10^{-3}
2	0.200	0.100	2.00×10^{-3}
3	0.200	0.200	4.00×10^{-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	2.00×10^{-3}	2.70×10^{-11}
2	4.00×10^{-3}	10.8×10^{-11}
3	8.00×10^{-3}	

التقويم 3-3

الخلاصة

- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعة التفاعل الكيميائي عند درجة حرارةٍ وتركيزٍ محدَّدين للموادِ المتفاعلة قانونَ سرعة التفاعل.
- يحدد قانون سرعة التفاعل تجريبيًّا باستخدام طريقة مقارنة السرعات الابتدائية.

22. الفكرة الرئيسة **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 ثابتًا؟ وعلام تدل قيمة k في قانون سرعة التفاعل؟

26. اقترح تفسيرًا لأهميّة أن نعرف أنّ قيمة قانون سرعة التفاعل هو متوسط سرعة التفاعل.

27. فسّر 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 معادلة سرعته: $R = k[A]^2[B]^2$.

29. صمم تجربة اشرح كيف يمكن تصميم تجربة لتحديد القانون العام لسرعة التفاعل باستعمال طريقة مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل: نواتج $\rightarrow aA + bB$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

سرعة التفاعل ودرجة حرارة الجسم

تخّيــل أنك خرجت من المنزل في يوم بارد مسرعًا؛ 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 الجســم الطبيعيــة 37°C تقريبًــا، ولكنها قد تختلف باختلاف العمر، أو الجنس، أو الوقت، أو مســتوى النشاط الذي يقوم به الشــخص؛ فترتفع درجــة حرارة جســمك عندما تقوم بأنشــطة شــاقة، أو عندما تكون درجة حرارة الهــواء المحيط بك مرتفعة. ويمكن أن تنخفض درجة حرارة جســمك عند أخذ حمام بارد، أو ارتداء ملابس خفيفة في طقس بارد.

التفاعلات الكيميائية تسخّن الجسم
Chemical reactions heat the body

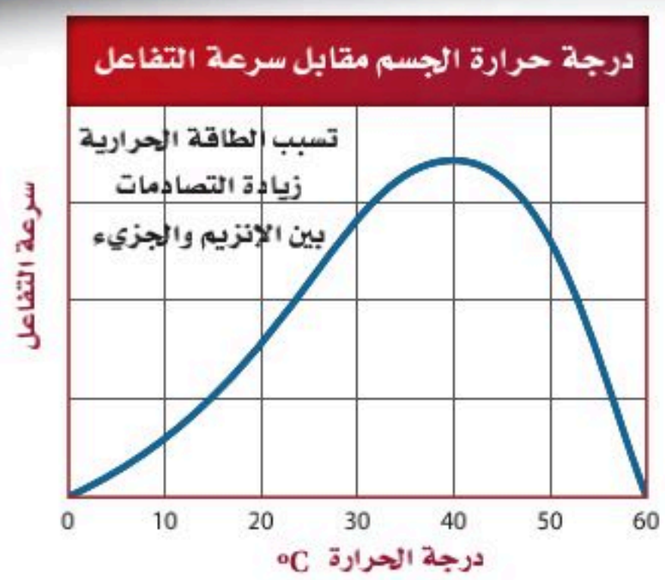
يتم هضم الطعام داخل كل خلية من خلايا الجســم؛ لإنتاج الطاقة التي تُستعمل أو تخزّن على شــكل جزيئات كبيرة تسمى أدينوسين ثلاثي الفوســفات (ATP). وعند الحاجة إلى الطاقة يتحول ATP إلى أدينــوسين ثنائي الفوسفات (ADP) ومجــموعة الفوسفات (P_i)، وتتحرر طاقة.

$$ATP \rightarrow ADP + P_i + \text{طاقة}$$

تتطلب مثل هذه التفاعلات إنزيــمات خاصة لكي تنظم سرعتها. والإنزيمات بروتينــات محفّزة تكون أكثر كفاءة ضمن درجة حرارة جسم الإنســان الطبيعية. لا يمكن أن تحدث مثل هذه التفاعلات بسرعة تلبي احتياجات الجســم دون مســاعدة الإنزيمات ودرجة حرارة قريبة مــن 37 °C. أما خارج نطاق هــذه 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 الطاقــة الحرارية الصادرة عــن التفاعــلات الكيميائية داخل الجسم، والطاقة الحرارية المتبادلة بين الجسم والبيئة المحيطة به.



الشــكل 1 تقترب درجة حرارة الجسم من 37°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 remperature

عندما تنخفــض درجة حرارة الجســم تبدأ غــدة تحت المهاد القيام بالعمليات التي من شــأنها زيادة تحرير الطاقة الحرارية. فالقشــعريرة أو الارتجــاف عملية تنتج عــن تقلصات سريعة للعضــلات نتيجة التفاعــلات الكيميائية التــي تطلق الطاقة الحرارية. كما يبدأ الجســم أيضًا إجــراءات للحفاظ على الطاقة الحرارية للجسم، ومن ذلك الحد من تدفق الدم إلى الجلد.

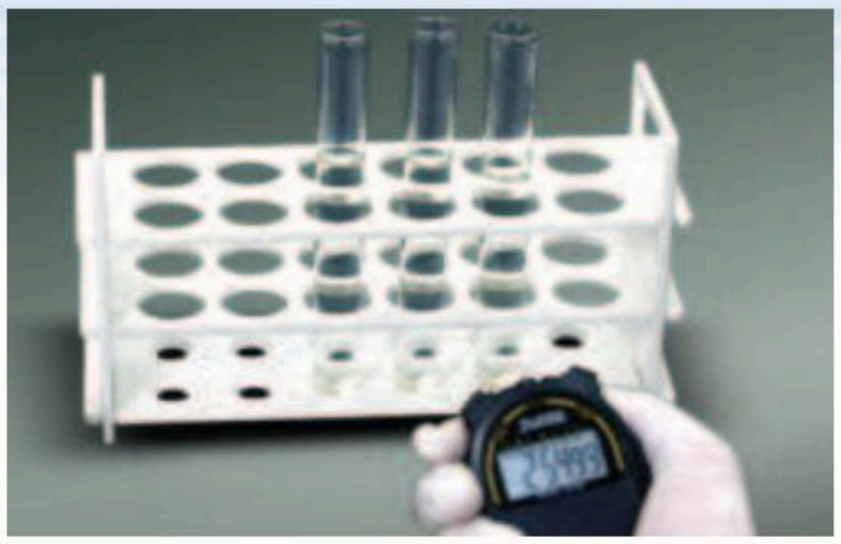
ارتفاع درجة حرارة الجسم
Hyperthermia-High body temperature

تؤدي الطاقة الحرارية المفرطة ســواء من البيئة أو بســبب زيادة التفاعلات الكيميائية داخل الجسم إلى استجابة الجسم بواسطة التعرق. وينتج ذلك عن توســع الأوعية الدمويــة القريبة من سطح الجلد وتمددها، إضافة إلى زيادة عمل القلب والرئة. ومن شأن هذه العمليات زيادة انتقال الطاقة الحرارية للبيئة. وقد خلق الله عز وجل النظــام الكامل للتحكم في درجة الحرارة من أجل الحفاظ على حدوث التفاعلات داخل الجسم بالسرعة المثلى.

الكتابة في الكيمياء **بحث** صمــم كتيبًــا للمرضى حول العــلاج الطبــي لانخفاض درجــة حرارة الجســم أو ارتفاعها. ثم صف المدى الطويل لتأثير هذه الأمراض، وكيف يمكن منعها؟

مختبر الكيمياء

تأثير التركيز في سرعة التفاعل الكيميائي



الخلفيـة 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

ماصة مدرجة سعتها 10 mL
ماء مقطر
شريط ماغنسيوم
مقص
ملاقط
مالئة ماصة
حامل أنابيب اختبار
ورق صنفرة
مسطرة بلاستيكية
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 المدرَّجة البلاستيكية لسحب 10 mL من حمض الهيدروكلوريك HCl الـذي تركيزه 6 M، ثم ضعها في أنبوب الاختبار رقم 1.
3. اسـحب 5 mL من حمض HCl الذي تركيزة 6 M، باسـتعمال الماصة من أنبـوب الاختبار رقم 1، ثم ضعها في أنبوب الاختبار رقم 2، وأضف إليها 5mL من الماء المقطر، ثم حرّك المزيج بساق التحريك، ليصبح تركيز المحلول 3.0 M HCl
4. اسـحب 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 مل من المـاء المقطر، وحركها بسـاق التحريك، ليصبح تركيز المحلول 1.5 M HCl.
5. اسـحب 5 mL من محلول حمض HCl الـذي تركيزه 1.5 M من أنبوب الاختبار رقم 3، وضعها في أنبوب الاختبار رقم 4. وأضـف إليها 5 mL من الماء المقطـر، 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 شريطـا من الماغنسـيوم طوله 1 cm باسـتعمال الملقط في الأنبوب رقم 1. سـجل في جـدول البيانات الزمن المسـتغرق بالثانية، حتى تتوقف الفقاعات عن الظهور.
8. كرر الخطوة رقم 7 مع أنابيب الاختبار الثلاثة المتبقية. وسـجل الزمن اللازم لتوقف الفقاعات عن الظهور.
9. **التنظيـف والتخلص من النفايـات** أفرغ المحاليل الحمضية في وعاء التخلص من الأحماض، واغسل أنابيب الاختبار وأدوات المختبر جيدًا باسـتعمال الماء، وتخلّص من المواد الأخرى بحسـب توجيهات المعلم. ثـم أعد الأدوات المختبرية جميعها إلى أماكنها.

التحليل والاستنتاج

1. **الرسـم البياني** ارسـم منحنى بيانيًّا يمثل تركيز الحمض (على محور السينات)، وزمن التفاعل (على محور الصادات).
2. **اسـتنتج** العلاقة بين تركيز الحمض وسرعة التفاعل الكيميائي، بالاعتماد على الرسم البياني.
3. **ضـع فرضية** بالاعتماد على: نظريـة التصادم، وسرعة التفاعل، وتركيز المواد المتفاعلة؛ لتفسير النتائج التي حصلت عليها.
4. **تحليل الخطأ** قارن نتائـج التجربة التي حصلت عليها بالنتائج التي حصل عليها الطلبة الآخرون في المختبر، وفسّر الاختلافات.

الاستقصاء

صمّم تجربة اعتمادًا على مشاهداتك والنتائج التي حصلت عليها، هل يؤثر التغيّر في درجة الحرارة في سرعة التفاعل؟ صمّم تجربة لاختبار فرضيتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

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

3-1 نظرية التصادم وسرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة نظريـــة التصـــادم هـــي المفتاح لفهـــم الاختـــلاف في سرعة التفاعلات.

المفردات

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

الأفكار الرئيسة

- يعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي بسرعة اســـتهلاك 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 عمومًا ويعبر عنها بوحدة mol /L.s.
- لا بد من تصادم الجسيمات لحدوث التفاعل.

3-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة تـؤثر عـــوامل كـثيرة في سرعة التفاعل الكيميائي، ومنها: طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ودرجة الحرارة، ومساحة السطح، والمحفزات.

المفردات

- المحفزات
- المثبطات

الأفكار الرئيسة

- تتضمّن العوامل الرئيســـة التي تؤثر في سرعة التفاعل طبيعةَ المواد المتفاعلة، والتركيز، ومساحة السطح، والحرارة، والمحفزات.
- تؤدّي زيادة درجة الحرارة عمومًا إلى زيادة سرعة التفاعل؛ وذلك بزيادة عدد الاصطدامات التي تشكل المعقد المنشط.
- تزيد المحفزات من سرعة التفاعل الكيميائي بتقليل طاقة التنشيط.

3-3 قوانين سرعة التفاعل الكيميائي

الفكرة الرئيسة قـانون سـرعة الـتفاعل عبارة عن علاقة رياضية -يمكن تحديدها بالتجربة- تربط بين سرعة التفاعل وتركيز المادة المتفاعلة.

المفردات

- قانون سرعة التفاعل
- ثابت سرعة التفاعل
- رتبة التفاعل

الأفكار الرئيسة

- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعـة الـتـفـاعل الكيميائي عـند درجة حرارةٍ وتركيزٍ محدَّدين للمواد المتفاعلة قانونَ سرعة التفاعل.

$$R = k\,[A]$$

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

- يحدد قانون سرعة التفـــاعل تجريبيًّا باستخدام طريقـــــة مقارنة السرعات الابتدائية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

3-1

إتقان المفاهيم

30. ماذا يحدث لتراكيز المواد المتفاعلة والناتجة 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. طبّق نظرية التصادم لتفسير السبب في عدم تفاعل مادتين مع بعضهما البعض؟

إتقان حل المسائل

35. يتفاعل الماغنسيوم مع حمض الهيدروكلوريك بحسب المعادلة:

$$Mg_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow H_{2(g)} + MgCl_{2(aq)}$$

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 2.25×10^{-2} mol /L.s عند درجة حرارة 322 K، فما مقدار هذه السرعة بوحدة mol /L.min؟

3-2

إتقان المفاهيم

37. ما دور نشاط المواد المتفاعلة في تحديد سرعة التفاعل الكيميائي؟

38. ما العلاقة بين سرعة التفاعل عمومًا وتركيز المواد المتفاعلة؟

39. طبّق 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 طبّق نظرية التصادم لتفسير فساد الطعام ببطء عند وضعه في الثلاجة بالمقارنة ببقائه خارجها عند درجة حرارة الغرفة.

42. طبّق نظرية التصادم لتفسير سبب تفاعل مسحوق الخارصين لإنتاج غاز الهيدروجين أسرع من تفاعل قطع كبيرة منه عند وضع كليهما في محلول حمض الهيدروكلوريك.

43. يتحلل فوق أكسيد الهيدروجين إلى ماء وغاز 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 تحلّلت لإنتاج 12 mL من غاز الأكسجين خلال 100 ثانية عند درجة حرارة 298 K. قدّر 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 قدّر الزمن اللازم لإنتاج 12 mL من غاز الأكسجين عند درجة حرارة 288 K.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 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 تحلل مركب الآزوميثان $CH_3N_2CH_3$ عند درجة حرارة محددة حسب المعادلة:

$$CH_3N_2CH_{3(g)} \rightarrow C_2H_{6(g)} + N_{2(g)}$$

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

الجدول 3-3 تحلل مادة الأزوميثان

رقم التجربة	$[CH_3N_2CH_3]$ الابتدائي	السرعة الابتدائية للتفاعل
1	0.012 M	2.5×10^{-6} mol/L•s
2	0.024 M	5.0×10^{-6} mol/L•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.

مراجعة عامة

51. قوّم صحة الجملة الآتية: يمكنك تحديد سرعة تفاعل كيميائي عن طريق معرفة نسبة مولات المواد المتفاعلة في معادلة موزونة. فسّر إجابتك.

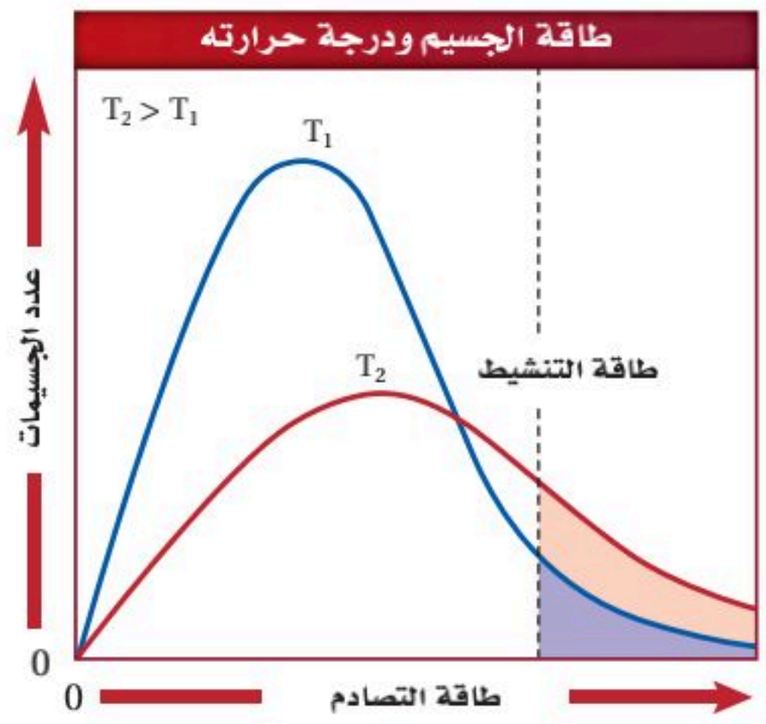
52. يتناقص تركيز المادة المتفاعلة A من 0.400 mol /L إلى 0.384 mol /L خلال 4.00 min. احسب متوسط سرعة التفاعل خلال هذه الفترة بوحدة mol /L.min.

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. يعبّر 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 3-15** عند درجتي الحرارة T_1 و T_2 بالاعتماد على عدد الاصطدامات التي تحدث في وحدة الزمن والتي لها طاقة أكبر من أو تساوي طاقة التنشيط.



الشكل 3-15

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 3

56. تأمل مخطط الطاقة لتفاعل ماصّ 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. طبّق نظرية التصادم لتفسير سببين يوضحان أن الزيادة في درجة حرارة التفاعل بمقدار 10 K تؤدي غالبًا إلى مضاعفة سرعة التفاعل.

59. ارسم مخططًا يبين جميع الاحتمالات للتصادمات بين جزيئين من المادة المتفاعلة A، وجزيئين من المادة المتفاعلة B، ثم زد عدد جزيئات A من 2 إلى 4، وارسم جميع احتمالات التصادم التي يتحد فيها A مع B. كم سيزداد عدد التصادمات التى ينتج عنها اتحاد A مع B؟ وعلام يدل ذلك فيما يتعلق بسرعة التفاعل؟

60. صمّم جدولاً لكتابة تراكيز المواد المتفاعلة في المعادلة الآتية، مبتدئًا بـ 0.100 M لكل المتفاعلات، ثم حدّد قانون سرعة التفاعل باستعمال طريقة مقارنة السرعات الابتدائية:

$$aA + bB + cD \rightarrow \text{نواتج}$$

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 $6.22 \times 10^{-4}\ s^{-1}$ ، وثبت تركيز البروبان الحلقي عند 0.0300 mol /L، فما كتلة البروبين الناتجة خلال 10.0 min في حجم مقداره 2.50 L ؟

مراجعة تراكمية

62. ما كتلة كلوريد الحديد III اللازمة لتحضير محلول مائي منه حجمه 1.0 L وتركيزه 0.225 M؟

63. ما المعلومات التي يجب معرفتها لحساب الارتفاع في درجة غليان محلول الهكسان في البنزين؟

64. إذا كانت ΔH لتفاعل ما سالبة، فقارن طاقة المواد الناتجة بطاقة المواد المتفاعلة، وهل التفاعل ماصّ أم طارد للطاقة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

65. الأدوية تخيّل انتشار مرض الأنفلونزا في بلد ما. ولحسن الحظ قام العلماء باكتشـــاف محفز جديد يزيد من سرعة إنتاج دواء فعّال ضد هـــذا المرض. اكتب مقالا صحفيًّا يصف كيفية عمل هذا المحفز على أن يشمل المقال مخطط الطاقة في التفاعلات التي تحدث، وشرحًا مفصلاً لأهمية هذا الاكتشاف.

أسئلة المستندات

الكواشـف الكيميائيـة يســتعمل الكاشــف الكيميائي (الفينولفثالين) للكشف عن القواعد. تبين بيانات **الجدول 4-3** 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 4-3 التفاعل بين الفينولفثالين وكمية فائضة من مادة قاعدية.

تركيز الفينولفثالين (M)	الزمن (s)
0.0050	0.0
0.0040	22.3
0.0020	91.6
0.0010	160.9
0.00050	230.3
0.00015	350.7

تم الحصول على البيانات من: شبكة بوند للأبحاث.2006 ، الكيمياء الحركة.

66. ما متوســط سرعة التفاعــل في أول 22.3 s معبرًا عنه بوحدة mol /(L.s)؟

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. جميع العبـــارات الآتية حول سرعة التفاعـــل 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 التى تؤثر في سرعة التفاعل طبيعـــة المـــادة المتفاعلة، والتركيز، ومســـاحة ســـطح التفاعل، ودرجة الحرارة، والمحفزات.

العبارة الثانية : تزيد المحفّـــزات 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 تركيـــزه 0.050 M لتخفيفـــه 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 وy

7. أي العينات تحتوي على جزيئات فلوريد الماغنسيوم؟

a. x

b. y

c. z

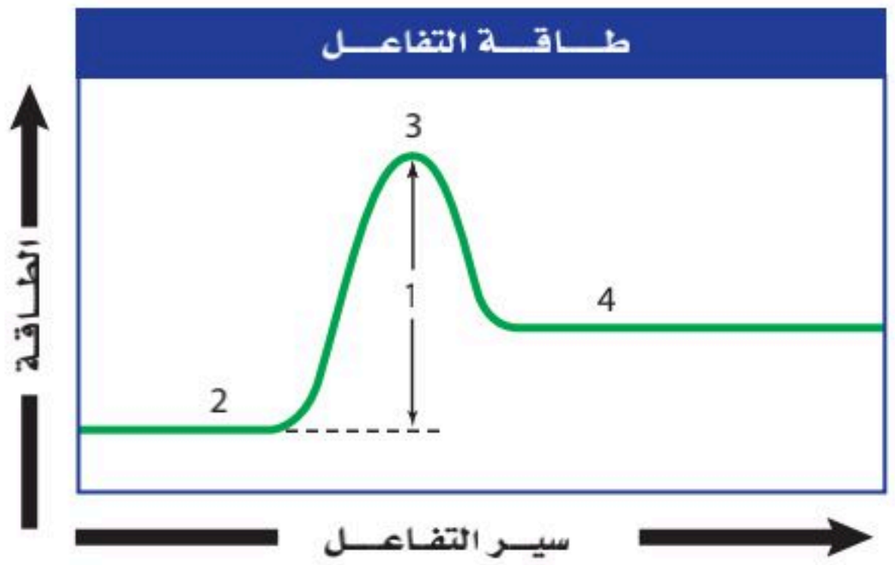
d. كل من x وy

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

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



9. يبين **الشكل** أعلاه منحنى طاقة تفاعل. إلام يشير كل رقم من الأرقام المبينة في الرسم؟

10. المعادلــة $R=K[A]$ تصف سرعة تفاعــل من الرتبة الأولى. إذا تضاعف تركيز المادة المتفاعلة A فماذا يطرأ على سرعة التفاعل؟

أسئلة الإجابات المفتوحة

11. يتفاعل اليود والكلور في الحالة الغازية:

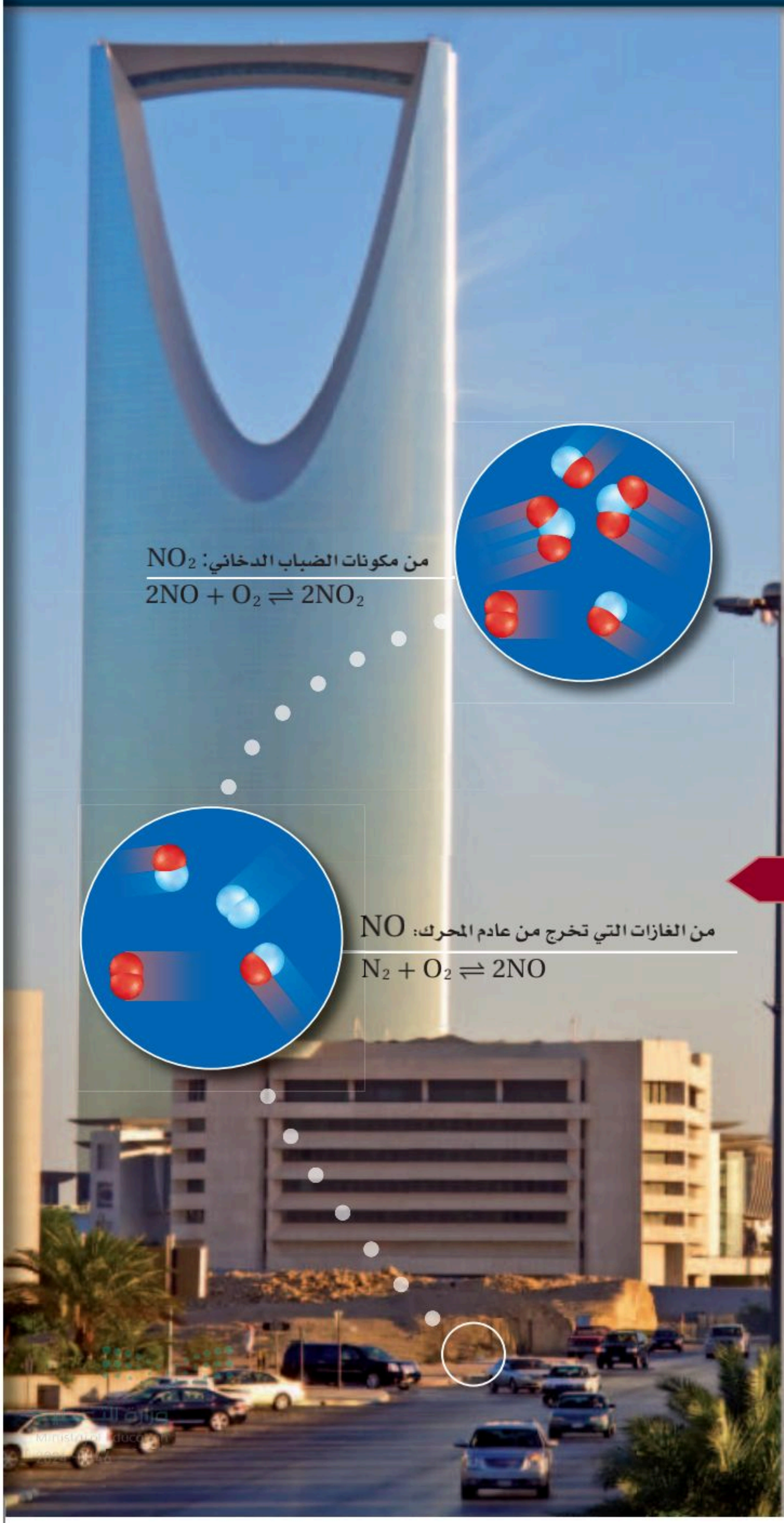
$$I_2 + Cl_2 \rightarrow 2ICl$$

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 4

الاتزان الكيميائي
Chemical Equilibrium



الفكرة العامة يصل الكثير من التفاعلات إلى حالة من الاتـــزان الكيميائي؛ حيث تتكون كل مـــن المـــواد المتفاعلـــة والناتجـــة بسرعات متساوية.

4-1 حالة الاتزان الديناميكي

الفكرة الرئيسة يوصف الاتزان الكيميائي بتعبـــير ثابت الاتزان، الـــذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة.

4-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

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

4-3 استعمال ثوابت الاتزان

الفكرة الرئيسة يمكـن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حســـاب تراكيز المـــواد 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 الســـيارات أنظف 40% مما كانت عليه قبل عقد من الزمن.

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

ما التساوي في الاتزان؟

الاتزان هو نقطة توازن تلغي عندها التغييرات المتعارضة بعضها بعضًا.



خطوات العمل

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. قس 20 mL من الماء في **مخبار مدرج** وأفرغها في **كأس زجاجية مدرجة** سعتها 100 mL، ثم املأ المخبار المدرج بالماء إلى 20 mL، وأضف ثلاث نقاط من **ملون الطعام** إلى الماء في كل من الكأس والمخبار 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 المخبار 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

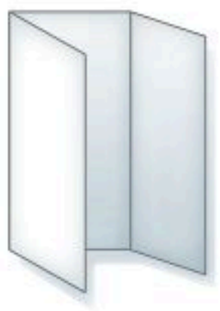
1. **صف** ملاحظاتك خلال عملية النقل.
2. **فسر** هل تختلف النتيجة النهائية إذا تابعت عملية النقل فترة أطول؟

استقصاء هل يمكن توضيح الاتزان إذا استعملت ماصات أو أنابيب زجاجية لها أقطار مختلفة؟ فسر ذلك.

المطويات منظمات الأفكار

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

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، وعنون الأعمدة: التغير في التركيز، التغير في الحجم والضغط، التغير في درجة الحرارة.



المطويات **استعمل هذه المطوية في القسم 2–4**، ولخص ما تعلمته عن تأثير التغيرات في اتزان النظام، مستعملاً المعادلات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–1

الأهداف

- **تعدّد** 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 الرئيسة **يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان، الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة.**

الربط مع الحياة لعلك شاهدت شد الحبل بين فريقين. قد يبدو في بعض الأحيان وكأن الفريقين لا يسحب كلًا 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?

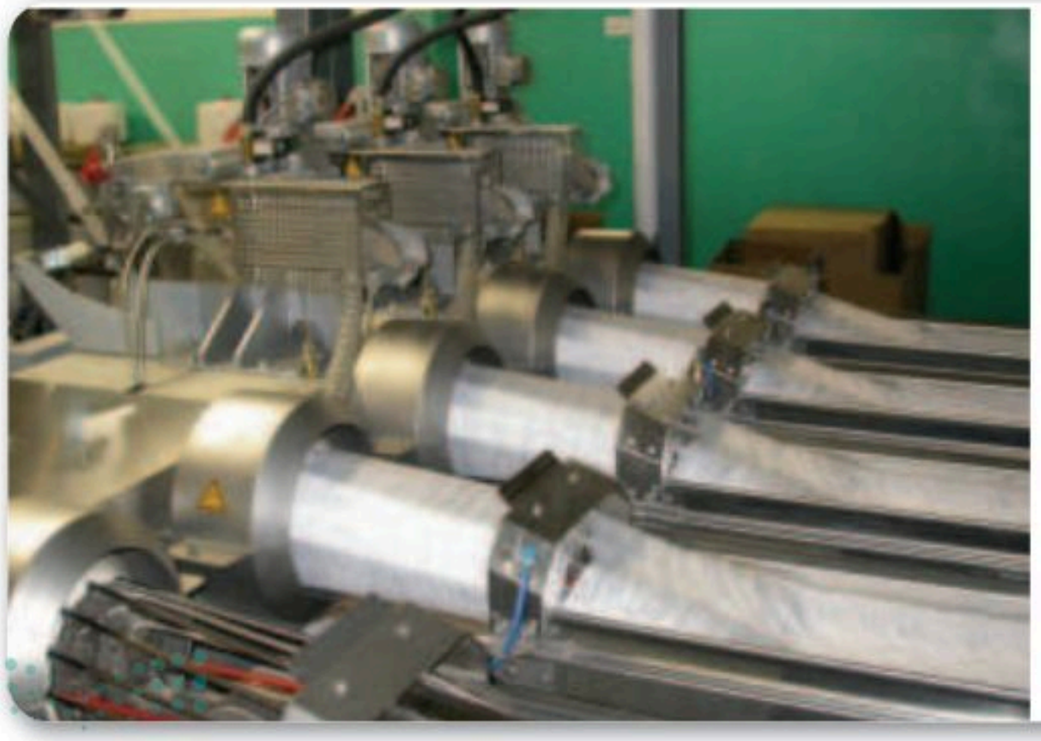
في كثير من الأحيان تصل التفاعلات الكيميائية إلى نقطة اتزان. إذا كنت قد أجريت التجربة الاستهلالية فستجد أنك وصلت إلى نقطة الاتزان من خلال نقل الماء من المخبار المدرج إلى الكأس، ومن الكأس إلى المخبار المدرج.

تأمل تفاعل تحضير غاز الأمونيا من غاز النيتروجين وغاز الهيدروجين باستعمال طريقة هابر:

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

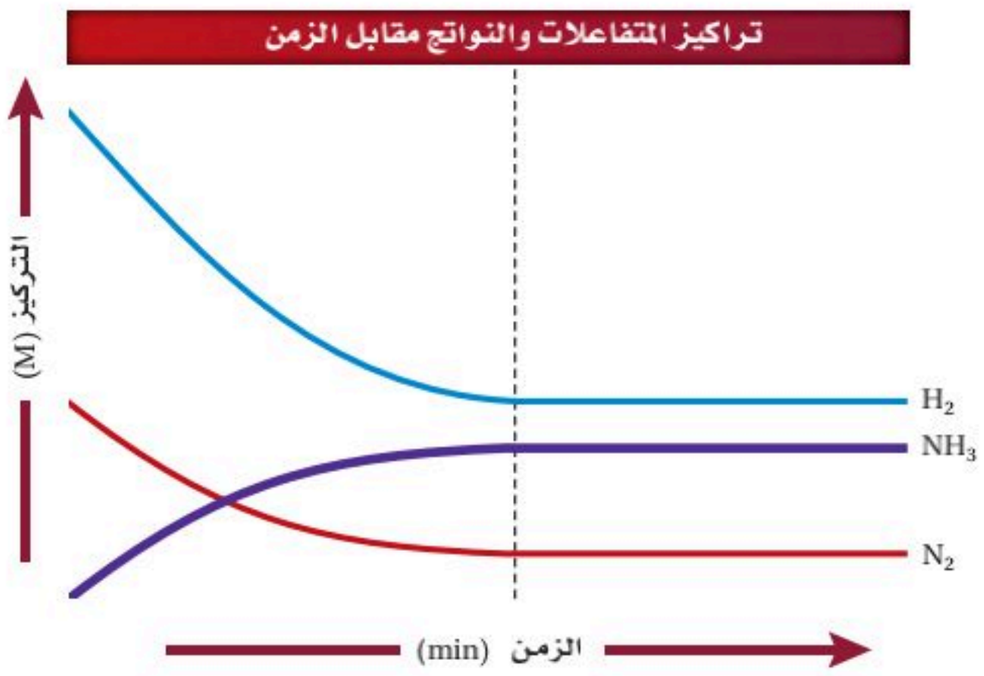
للأمونيا أهمية كبيرة في الزراعة؛ حيث تستعمل سمادًا ومادة إضافية في أطعمة الحيوانات. وفي الصناعة تمثل الأمونيا مادة خامًا في صناعة الكثير من المنتجات، ومنها النايلون، كما يظهر في **الشكل 1-4**.

يحدث تفاعل تحضير الأمونيا تلقائيًا في الظروف القياسية (درجة حرارة 298 K، وضغط جوي 1atm)، ولكن التفاعلات التلقائية ليست دائمًا سريعة. فعند إجراء هذا التفاعل في الظروف القياسية تتكون الأمونيا ببطء شديد. ولإنتاج الأمونيا بسرعة عملية يجب إجراء التفاعل في درجات حرارة أعلى وضغط أكبر.



الشكل 1-4 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 2-4 يتناقص تركيز المواد المتفاعلة H_2 ، N_2 في البداية، في حين يزداد تركيز الناتج NH_3، بحيث لا تستهلك المتفاعلات تمامًا وتصبح تراكيز جميع المواد ثابتة.

اختبار الرسم البياني

وضح كيف يبين الرسم البياني أنّ تراكيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة تصبح ثابتة.

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 تلقائيًّا.

يوضح **الشكل 2-4** سير التفاعل. لاحظ أن تركيز الأمونيا NH_3 الناتجة يساوي صفرًا في البداية، ويزداد مع الوقت، وأن المتفاعلات N_2 وH_2 تستهلك في أثناء التفاعل، لذلك يقل تركيزها تدريجيًّا. وبعد مرور فترة من الزمن لا تتغير تراكيز NH_3 وN_2 وH_2 (أي تصبح جميع التراكيز ثابتة) كما هو موضح في الخطوط الأفقية في الجانب الأيمن من الرسم البياني. لاحظ أنّ تراكيز H_2 و N_2 لا تساوي صفرًا، وهذا يعني أنه لم يتم تحويل كامل المتفاعلات إلى نواتج.

اختبار الرسم البياني صف ميل منحنى كل من الهيدروجين والنيتروجين والأمونيا في الطرف الأيسر من الرسم البياني. كيف يختلف ميل كل منحنى في الطرف الأيسر عن ميله في الطرف الأيمن من الرسم؟

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

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

العكسي: $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \leftarrow 2NH_{3(g)}$

يدمج الكيميائيون المعادلتين في معادلة واحدة يستعمل فيها السهم الثنائي ليشير إلى اتجاهي التفاعلين الحادثين. $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$

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 لتكوِّن كلًّا من غاز الهيدروجين وغاز النيتروجين .

المفردات

المفردات الأكاديمية

تحويل Convert

هو التغيرُّ من شكل أو وظيفة إلى أخرى.

حولت الغرفة الزائدة في منزلنا إلى مكتب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

كيف يؤثر التفاعل العكسي في إنتاج الأمونيا؟ يوضح **الشـكل** 3a-4 بدء تفاعل مزيج من الهيدروجين والنيتروجين بسرعة أولية محددة. ولا توجد أي كمية ناتجة من الأمونيا، وهذا يعني أنّ ما يحدث هو التفاعل الأمامي فقط.

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

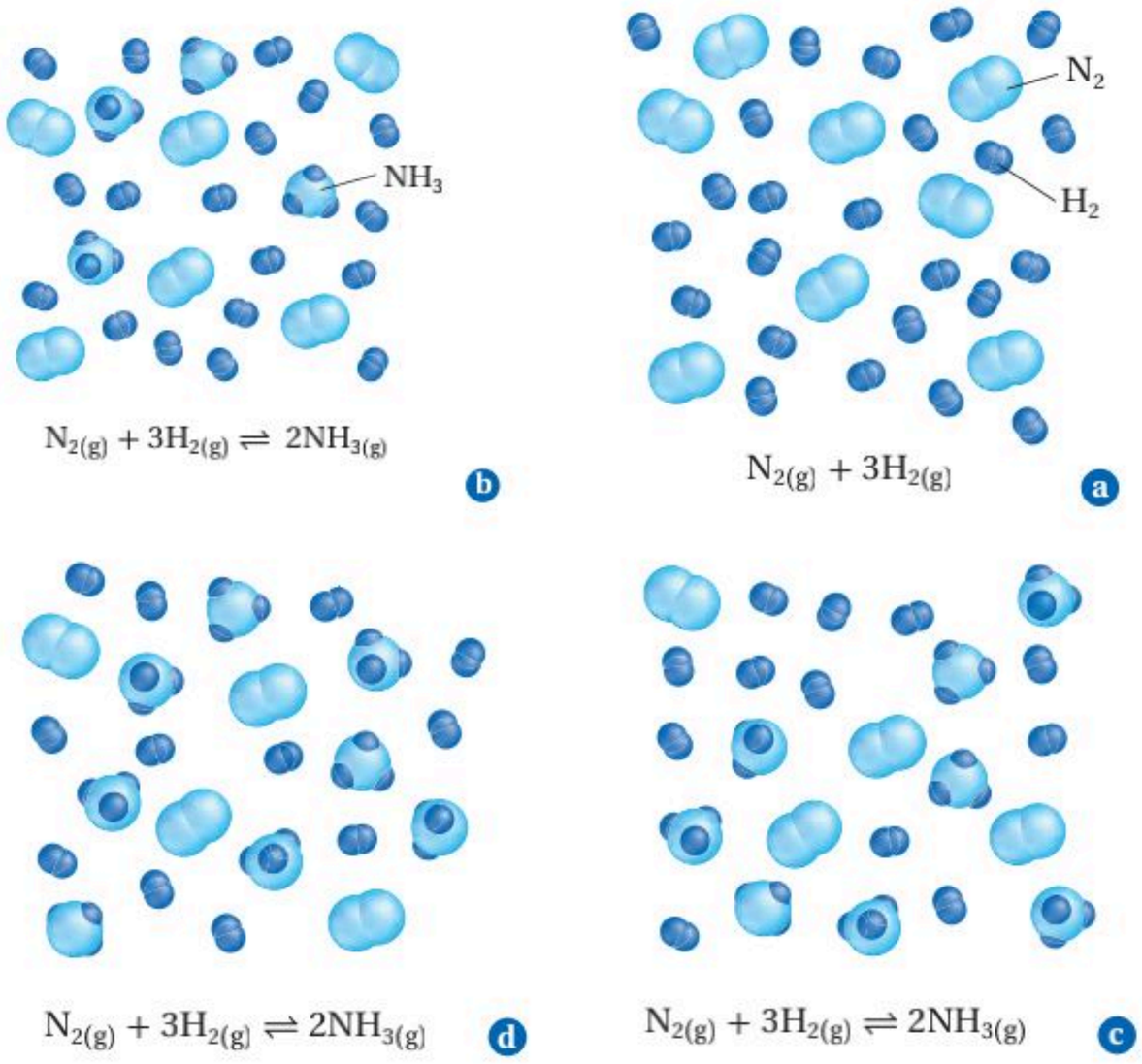
يقـل تركيز كل من الهيدروجـين والنيتروجين في أثناء اتحادهمـا لتكوين الأمونيا، كما هو موضح في **الشـكل** 3b-4. وتذكر مما درست سـابقًا أن سرعة التفاعل الكيميائي تعتمد على تراكيز المتفاعلات؛ إذ يسـبِّب نقص تراكيز المتفاعلات إبطاء سرعة التفاعل الأمامي. وفي هذا التفاعل، بمجـرد أن تنتج الأمونيا يحدث التفاعل العكسي ببطء، ثم تزداد سرعته مع زيادة تركيزها.

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

وفي أثناء سير التفاعل تستمر سرعة التفاعل الأمامي في النقصان، وتستمر سرعة التفاعل العكسي في الزيادة حتى تتسـاوى السرعتان. عند هذه النقطـة تتكون الأمونيا بالسرعة نفسـها التي تتحلـل بها، لذلك تبقى تراكيـز N_2 وH_2 وNH_3 ثابتـة كما هو موضح في **الشكلين** 3c-4 و3d-4، ويكون النظام عندها قد وصل إلى حالة الاتزان.

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

سرعة التفاعل الأمامي = سرعة التفاعل العكسي



الشـكل 3-4 توضـح الرسـوم من a إلـى d سـير التفاعـل لتكويـن الأمونيـا مـن الهيدروجين والنيتروجين.

استنتج

ادرس الأشكال وأجب عن الأسئلة الآتية:

a: **كيـف تعـلم أن التفاعل لم يبدأ بعد؟**

b: **مـا الدليـل الـذي يشـير إلى بدايـة التفاعـل العكسـي؟ قـارن الشـكلين** c **و** d**، كيـف تعلـم أن النظـام وصـل إلى حالـة الاتزان؟**

وزارة التعـليم
Ministry of Education
2024 - 1446

يمكنك معرفة أن تفاعل تكوّن الأمونيا وصل إلى حالة الاتزان الكيميائي؛ لأن معادلته كتبت بسهم مزدوج كما يأتي:

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

عند الاتزان تكـــون تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة ثابتة، كما يظهر في **الشـــكلين** 3c–4 و4–3d لكـــن هذا لا يعني أن كميات أو تراكيز المتفاعلات والنواتج متســـاوية؛ 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 الســـحب المؤثر في جســـم ما قوةً؛ فأنت تبـــذل قوة عندما تدفع الباب أو تســـحب 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 تســـاوي الفرق بينها، ويكون اتجاه القوة المحصلة في اتجاه القوة الكبرى. لهذا في لعبة شـــد الحبل عندما يســـحب الفريقان الحبل بقوى متساوية تكون محصلة القوى صفـــرًا، فلا يتحرك الحبل، ويُوصف النظـــام بأنه في حالة اتزان. وبالمثل، في **الشكل** 4–4a فالأشـــخاص الذين يلعبون لعبة التوازن (السيسو) يمثلون نظامًا متزنًا؛ إذ تســـمى القوى المتماثلة والمتعاكســـة على لعبة التوازن (السيسو) القوى المتوازنـــةَ، أما إذا كانـــت واحدة من هذه القوى أكبر من الأخـــرى فإن القوة المحصلة تكون أكبر من صفر وتســـمى القوى غير المتوازنة. وتسبب القوى غير المتوازنة تسارع الجسم، كما يحدث في **الشكل** 4b–4.



الشكل 4-4

a: تكون جميع القوى في توازن لذلك لا يتحرك موقع لعبة التوازن (السيسو).

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

وضح كيف تشبه لعبة التوازن (السيسو) الاتزان الكيميائي؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 5-4 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** 5-4 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.

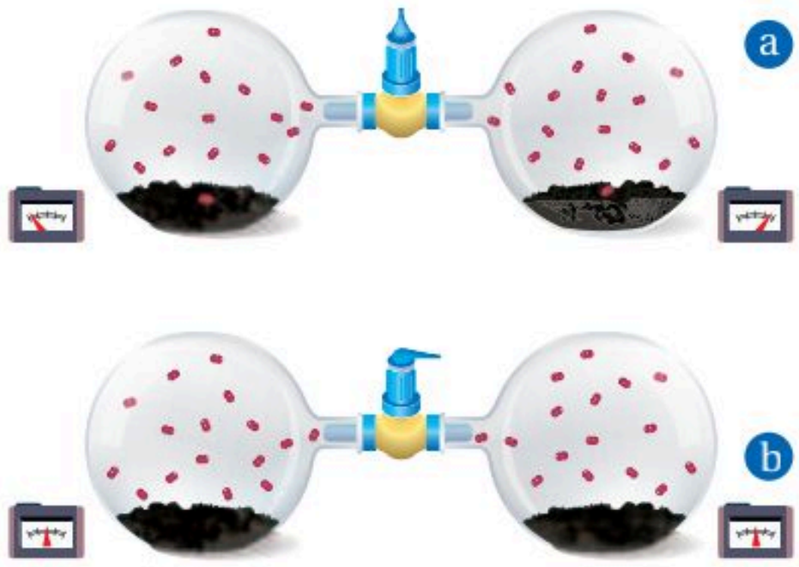
إذ يمثل كل دورق نظامًا مغلقًا، لذا لا يمكن لأي من المتفاعلات أو النواتج أن تدخل أو تخرج من الدورق. فعند درجة حرارة 298 K وضغط 1 atm يحدث الاتزان في كلا الدورقين.

$$I_{2(s)} \rightleftharpoons I_{2(g)}$$

في التفاعل الأمامي الذي يسمى التسامي، تتغير جزيئات اليود من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية مباشرة. وفي التفاعل العكسي تعود جزيئات اليود الغازية إلى الحالة الصلبة. أي يتكون اتزان صلب-غاز في كل دورق.

عندما يتم فتح المحبس في الأنبوب الذي يصل الدورقين، كما هو موضح في **الشكل** 6b-4، ينتقل بخار اليود بين الدورقين. وبعد فترة من الزمن تشير قراءات عدادات الإشعاع إلى وجود عدد من جزيئات اليود المشع I-131 في الدورق في الجهة اليسرى، كما في الدورق في الجهة اليمنى في الحالتين الصلبة والغازية.

توحي الأدلة بأن جزيئات اليود تتغير بشكل مستمر من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية 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 6-4 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

خواصّ الاتزان لعلك لاحظت خواصّ معينــة للتفاعلات الكيميائية التي تصل إلى حالة الاتزان .

أولاً: يجــب أن يتم التفاعــل في نظام مغلق، أي لا يخرج من النظــام أو يدخله أي من النواتج أو المتفاعلات. ثانيًا: يجب أن تبقى درجة الحرارة ثابتة.

ثالثًــا: توجد النواتج والمتفاعلات معًا، وهي في حركــة ديناميكية ثابتة، وهذا يعني أن الاتزان ديناميكي، وليس ساكنًا.

تعابير الاتزان Equilibrium Expressions

لبعض الأنظمة الكيميائية ميل قليل للتفاعل، في حين تســتمر أنظمة أخرى في التفاعل حتى تكتمل. وتصل معظم التفاعــلات إلى حالة الاتزان مع وجود بعض المتفاعلات غير مســتهلكة. عندما لا تستهلك المتفاعلات تمامًا تكون كمية النواتج أقل من المتوقع بحسب المعادلة الكيميائية الموزونة. وبالنظر إلى معادلة تحضير الأمونيا نجد أنه يتكون 2 mol من الأمونيــا 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.

قانــون الاتــزان الكيميائــي قدم وطــور الكيميائيان النرويجيان كاتو ماكســمليان جولدبرج Guldberg وبيتر ويــج Waage في عام 1864م **قانون الاتزان الكيميائي** الذي ينص على أنه عند درجة حرارة معينة يمكن للتفاعل الكيميائي أن يصل إلى حالة تصبح فيها نســب تراكيز المتفاعلات والنواتج ثابتة. وتكــون معادلة التفاعل العامة للتفاعل الذي في حالة اتزان كما يأتي:

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

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

تعبير ثابت الاتزان

تمثل [A] و[B] التراكيز المولارية للمتفاعلات

[C] و[D] التراكيز المولارية للنواتج

تمثل الأسس a و b و c و d معاملات المعادلة الموزونة

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

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

ثابت الاتزان K_{eq} هو القيمة العددية لنســبة حاصل ضرب تراكيز النواتج على حاصل ضرب تراكيز المتفاعلات، ويُرفع كل تركيز إلى أس مساوٍ 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 أكبرُ من مقامه تكون أكبر من 1. وتكون قيمة الكسر الذي بسطه أقل من مقامه أقلَّ من 1. على سبيل المثال ، قارن بين الكسرين $\frac{5}{1}$ و $\frac{1}{5}$. فالخمســة أكبر مــن الخُمس. ولأن تراكيز النواتج

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

توجد في بسـط معادلة ثابت الاتزان فـإن التفاعل يكون محتويًا عـلى نواتج أكثر من المتفاعلات إذا كانت القيمة العددية للثابـت 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 غـاز يوديد الهيدروجين عـن تفاعل الاتزان لغاز الهيدروجين مع اليود. لليود ومركباته اسـتعمالات مهمة في الطب، كما هو موضح في **الشكل** 7-4. كيف يمكنك كتابة تعبير ثابت الاتزان لهذا التفاعل؟

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

هـذا تفاعل **اتزان متجانس**، وهـذا يعني أن المتفاعلات والنواتـج 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 مساويًا لثابت الاتزان K_{eq}، عندما نضيف المعاملات بوصفها أسسًا من المعادلة الكيميائية الموزونة

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

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



الشـكل 7-4 بسـبب خـواصّ اليود المضادة للجراثيم، يستعمل محلول اليود ومركباته مطهراتٍ خارجية. كما تدخل بعض مركبات يوديد البوتاسيوم KI في الأدوية التي تعالج تضخم الغدة الدرقية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثال 1-4

تعبير ثابت الاتزان للتفاعلات المتجانسة تنتج ملايين الأطنان من الأمونيا NH_3 لاستعمالها في صناعة الأسمدة والألياف الصناعية. ويمكن أن تستعمل الأمونيا منظفًا منزليًّا؛ فهي مفيدة جدًّا في تنظيف الزجاج. وتصنع الأمونيا من عناصرها الهيدروجين والنيتروجين باستعمال طريقة هابر. اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل الآتي:

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

1 تحليل المسألة

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

المعطيات

$[A] = [N_2]$، معامل $N_2 = 1$

$[B] = [H_2]$، معامل $H_2 = 3$

$[C] = [NH_3]$، معامل $NH_3 = 2$

المطلوب

$K_{eq} = ?$

2 حساب المطلوب

عوض $A = N_2$، $B = H_2$، $C = NH_3$

$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^c}{[N_2]^a[H_2]^b}$$

عوض $a = 1$، $b = 3$، $c = 2$

$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

3 تقويم الإجابة

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

مسائل تدريبية

1. اكتب تعابير ثابت الاتزان للمعادلات الآتية:

a. $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$

b. $2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons 2H_{2(g)} + S_{2(g)}$

c. $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$

d. $4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightleftharpoons 4NO_{(g)} + 6H_2O_{(g)}$

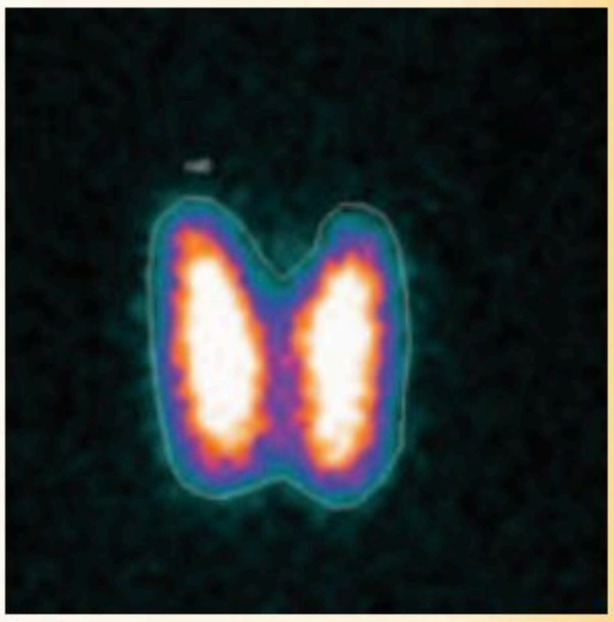
e. $CH_{4(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons CS_{2(g)} + 4H_{2(g)}$

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

$$K_{eq} = \frac{[CO]^2[O_2]}{[CO_2]^2}$$

الكيمياء في واقع الحياة

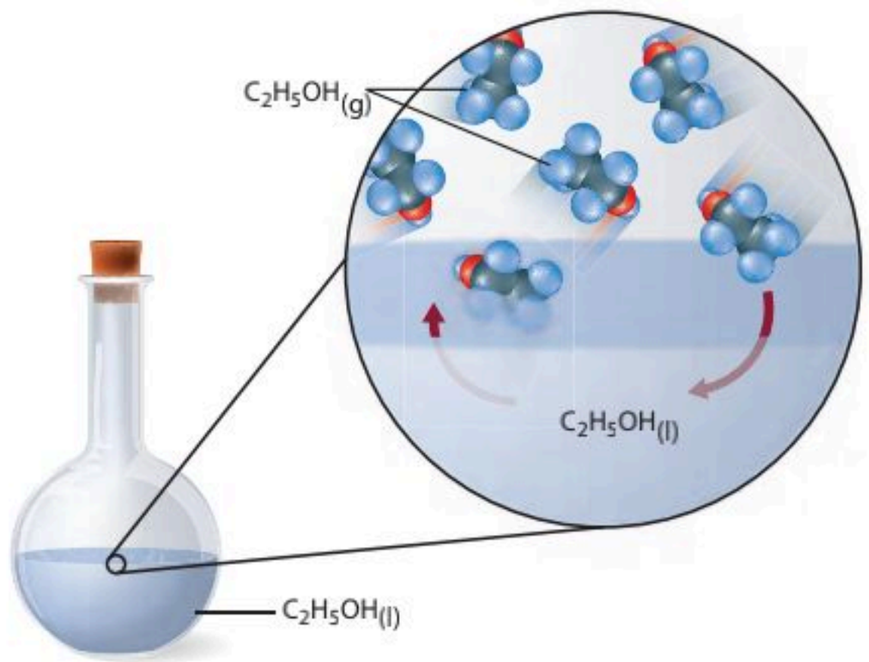
صحة الغدة الدرقية



الطب النووي تمتص الغدة الدرقية نظير اليود المشع I-131، الذي يستعمل في الطب لتشخيص وعلاج أمراض الغدة الدرقية. فعندما يتناوله المريض تعمل إشعاعات اليود على إعطاء صورة للغدة تكشف عن أي قصور.

تُظهر الصورة أعلاه الغدة الدرقية لمريض يعاني من مرض تضخم الغدة، وهو مرض يمكن علاجه، وسببه فرط نشاط الغدة الدرقية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 8-4 عند الاتزان، تكون سرعة تبخر الإيثانول C_2H_5OH مساويةً لسرعة التكثّف. يسمى هذا الاتزان المكون بين حالتين فيزيائيتين للمادة الاتزانَ غير المتجانس. تعتمد قيمة K_{eq} على $[C_2H_5OH_{(g)}]$ فقط.

تعابير 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 و النواتج في أكثر من حالة فيزيائية واحدة فيسمى **الاتزانَ 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 8-4**

$$C_2H_5OH_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5OH_{(g)}$$

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 ثابتًا. 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 بتراكيز ثابتة، لذلك يمكن تبسيط الاتزان الذي يحتوي مواد صلبة بالطريقة نفسها. تذكر تجربة تسامي جزيئات اليود في **الشكل 6-4**.

$$I_{2(s)} \rightleftharpoons I_{2(g)}$$
$$K_{eq} = [I_{2(g)}]$$

يعتمد ثابت الاتزان K_{eq} على تركيز غاز اليود في النظام فقط.

مهن 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثال 2-4

تعابير ثابت الاتزان غير المتجانس تستعمل صودا الخَبز (كربونات الصوديوم الهيدروجينية) في الخبز، ومضادًّا للحموضـــة، وفي التنظيف، كما أنّها توضع في أوعية مفتوحة في الثلاجات لإبقاء الجو منعشًا، كما هو موضح في **الشكل** 9-4. اكتب تعبير ثابت الاتزان لتحلل صودا الخبز.

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

1 تحليل المسألة

هذا الاتزان غير المتجانس يحتوي على غازات ومواد صلبة، يتم إزالة المواد الصلبة من تعبير ثابت الاتزان.

المعطيات

$[C] = [Na_2CO_3]$ ، معاملها = 1

$[D] = [CO_2]$ ، معاملها = 1

$[E] = [H_2O]$ ، معاملها = 1

$[A] = [NaHCO_3]$ ، معاملها = 2

المطلوب

تعبير ثابت الاتزان = ؟

2 حساب المطلوب

كوّن نسبة تراكيز النواتج إلى تراكيز المتفاعلات.

ضع التعبير العام لثابت الاتزان

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

عوض $A = NaHCO_3$ $D = CO_2$

$C = Na_2CO_3$ $E = H_2O$

$$K_{eq} = \frac{[Na_2CO_3]^c[CO_2]^d[H_2O]^e}{[NaHCO_3]^a}$$

عوض $a = 2$، $c = 1$، $d = 1$، $e = 1$

$$K_{eq} = \frac{[Na_2CO_3]^1[CO_2]^1[H_2O]^1}{[NaHCO_3]^2}$$

قم بإزالة المواد الصلبة

$$K_{eq} = [CO_2][H_2O]$$

3 تقويم الإجابة

يطبق تعبير ثابت الاتزان قوانين الاتزان الكيميائي بصورة صحيحة على المعادلة.



الشكل 9-4 تمتص كربونات الصوديوم الهيدروجينية (صودا الخبز) الروائح وتنعش الهواء داخل الثلاجة. وهي أيضًا من المكونات الرئيسة في بعض معاجين الأسنان.

مسائل تدريبية

3. اكتب تعبير ثابت الاتزان غير المتجانس لكل مما يلي:

a. $C_{10}H_{8(s)} \rightleftharpoons C_{10}H_{8(g)}$

b. $H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2O_{(g)}$

c. $CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$

d. $C_{(s)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + H_{2(g)}$

e. $FeO_{(s)} + CO_{(g)} \rightleftharpoons Fe_{(s)} + CO_{2(g)}$

4. تحفيـز يتفاعل الحديد الصلب مع غاز الكلور لتكوين كلوريد الحديد III $FeCl_3$. اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

ثوابت الاتزان Equilibrium Constants

تبقى قيمة K_{eq} ثابتة لتفاعل معين عند درجــة حرارة معينة، بغض النظر عن التراكيز الابتدائية للنواتج والمتفاعلات. لفحص هذه النظرية تم تنفيذ ثلاث تجارب للتفاعل:

$$H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$$

ويلخــص **الجــدول 1-4** نتائج تلك التجــارب. في المحاولــة الأولى وضــع 1.0000 mol من H_2 و2.0000 mol من I_2 في وعاء حجمــه 1.0000 L وليس هناك أي كمية من HI في بداية المحاولة 1. في بدايــة المحاولة 2 فقط كان HI موجودًا. أمــا في المحاولة 3 فكان لكل مادة من المواد الثلاث التركيز الابتدائي نفسه. وقد أجريت التفاعلات جميعها في درجة حرارة 731 K.

تراكيــز الاتــزان تم تحديد تركيز كل مادة تجريبيًا عند الاتــزان. 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.

قيمــة K_{eq} رغم أن نظام الاتزان لــه قيمة K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة، إلا أن له عددًا غير محدود من مواضع الاتزان، والتي تعتمد على التراكيز الابتدائية للمتفاعلات والنواتج.

تعنــي قيمة K_{eq} العاليــة في التفاعل $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$ أن النواتــج 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 ســبيل المثال ثابت الاتزان K_{eq} للتفاعل $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$ يســاوي 4.6×10^{-31} عند درجة حرارة 298 K. وتعني القيمة الصغيرة لـ K_{eq} أن كمية أكسيد النيتروجين NO الناتجة عمليًا تكون شبه معدومة عند الاتزان.

الجدول 1-4 **بيانات تجريبية لتفاعل يوديد الهيدروجين عند الاتزان**

	التراكيز الابتدائية			تراكيز الاتزان			K_{eq}
تجربة	$[H_2]$	$[I_2]$	$[HI]$	$[H_2]$	$[I_2]$	$[HI]$	$K_{eq} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$
1	1.0000	2.0000	0	0.06587	1.0659	1.8682	$49.70 = \frac{[1.8682]^2}{[0.06587][1.0659]}$
2	0	0	5.0000	0.5525	0.5525	3.8950	$49.70 = \frac{[3.8950]^2}{[0.5525][0.5525]}$
3	1.0000	1.0000	1.0000	0.2485	0.2485	1.7515	$49.70 = \frac{[1.7515]^2}{[0.2485][0.2485]}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

ماذا قرأت؟ فسر لماذا يعد من المهم وجود المتفاعلات والنواتج معًا 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 $[NH_3] = 0.933\ mol/L, [N_2] = 0.533\ mol/L, [H_2] = 1.600\ mol/l$

1 تحليل المسألة

لقدأعطيت تعبير ثابت الاتزان وتراكيز المتفاعلات والنواتج، يجب حساب ثابت الاتزان.

المعطيات

$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$

$[NH_3] = 0.933\ mol/L$

$[N_2] = 0.533\ mol/L$

$[H_2] = 1.600\ mol/L$

المطلوب

$K_{eq} = ?$

2 حساب المطلوب

عوض $[NH_3] = 0.933 mol/L$

$[N_2] = 0.533 mol/L, [H_2] = 1.6\ mol/L$

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

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 أنّ:

$[N_2O_4] = 0.0185\ mol/L, [NO_2] = 0.0627\ mol/L$

6. احسب قيمة K_{eq} للاتزان $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$. إذا علمت أنّ:

$[CO] = 0.0613\ mol/L,$

$[H_2] = 0.1839\ mol/L,$

$[CH_4] = 0.0387\ mol/L,$

$[H_2O] = 0.0387\ mol/L$

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 $COCl_2$؟ علمًا أنّ ثابت الاتزان K_{eq} عند درجة الحرارة نفسها يساوي 8.2×10^{-2}.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

التقويم 1-4

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 الرئيسة **فسر** كيف ترتبط قيمة ثابت الاتزان مع كمية النواتج K_{eq}؟

9. قارن بين الاتزان المتجانس والاتزان غير المتجانس.

10. عدِّد ثلاث خواص يجب أن توجد في خليط تفاعل ليصل إلى حالة اتزان.

11. احسب قيمة K_{eq} عند درجة حرارة 400 K للتفاعل الآتي:

$$PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

إذا علمت أنّ:

$[PCl_5] = 0.135\ mol/L$

$[PCl_3] = 0.550\ mol/L$

$[Cl_2] = 0.550\ mol/L$

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2

الأهداف

- **تصف** العوامل المتعددة التي تؤثر في الاتزان الكيميائي.
- **تفسر** كيف يطبق مبدأ لوتشاتلييه على أنظمة في حالة اتزان.

مراجعة المفردات

سرعة التفاعل: التغير في تركيز متفاعل أو ناتج في وحدة الزمن. ويحسب عادةً بوحدة مول لكل لتر في الثانية.

المفردات الجديدة

مبدا لوتشاتلييه

العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

Factors Affecting Chemical Equilibrium

الفكرة الرئيسة **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 ثابتًا. أما إذا زاد الطلب على المنتج فإن سعر المنتج سوف يزيد. ويصبح السعر ثابتًا مرة أخرى عندما يصل العرض والطلب إلى حالة اتزان. وهذا يشبه تصرف الأنظمة في حالة الاتزان.

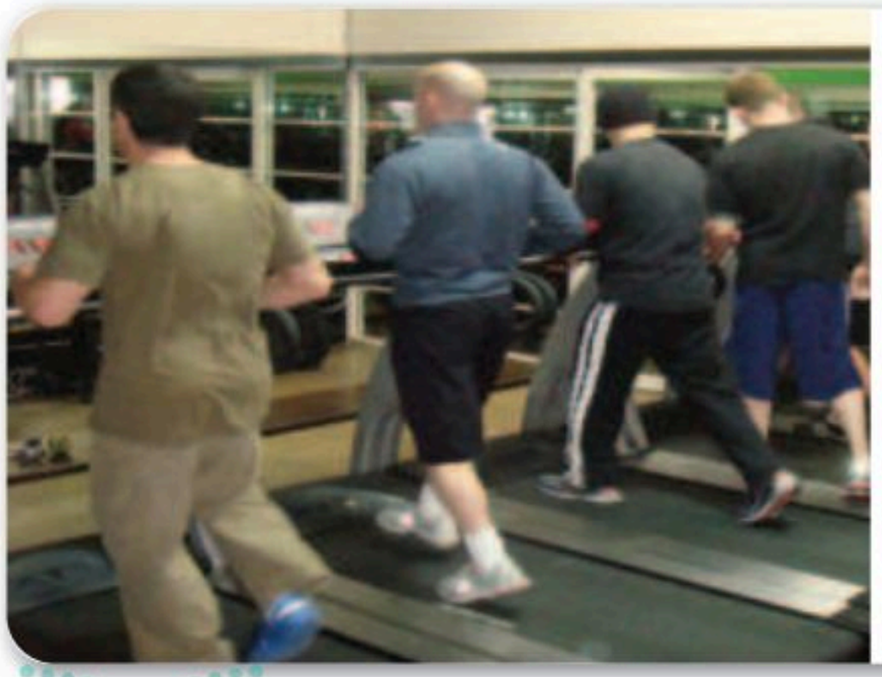
مبدأ لوتشاتلييه Le Châtelier's Principle

افترض أن غازي الهيدروجين وأول أكسيد الكربون من النواتج الجانبية لعملية صناعية. وأن الكيميائيين في الشركة يعتقدون أنه يمكن دمج الغازين لإنتاج وقود الميثان CH_4. فعند وضع كل من غاز أول أكسيد الكربون CO وغاز الهيدروجين H_2 في وعاء مغلق عند درجة حراره 1200 K، يصل التفاعل الطارد للحرارة ($\Delta H = -206.5\ kJ$) إلى حالة الاتزان.

$$\underset{0.30000\ M}{CO_{(g)}} + \underset{0.10000\ M}{3H_{2(g)}} \rightleftharpoons \underset{0.05900\ M}{CH_{4(g)}} + \underset{0.02000\ M}{H_2O_{(g)}} \quad \Delta H^\circ = -206.5\ kJ$$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3} = \frac{(0.05900)(0.02000)}{(0.30000)(0.10000)^3} = 3.933$$

ولأن تركيز الميثان 0.0590 mol /L قليل جدًّا فإنه لا يمكن استعماله عمليًّا. فهل يمكن لعلماء الكيمياء التحكم في موضع الاتزان للحصول على كمية أكبر من الميثان؟ يشبه هذا عدّاءً يركض على آلة المشي، كما في **الشكل 10–4**، فإذا زادَ العداء سرعة الآلة فإن عليه زيادة سرعته للعودة إلى حالة الاتزان.



الشكل 10-4 يزيد العداء من سرعة آلة المشي تدريجيًّا. 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

المطويات

أضف معلومات من هذا القسم إلى مطويتك.

في عام 1888م اكتشف العالم الفرنسي هنري لويس لوتشاتلييه Le chatielier أن هناك طرائق للتحكم في الاتزان لجعل التفاعل أكثر إنتاجًا. وقد طرح ما يسمى الآن **مبدأ لوتشاتلييه**: إذا بُذل جهد على نظام في حالة اتزان فإن ذلك يؤدي إلى إزاحة النظام في اتجاهٍ يخفف أثر هذا الجهد. والجهد هو أي تغيير يؤثر في اتزان نظام معين.

تطبيق مبدأ لوتشاتلييه Applying Le Châtelier's Principle

كيف يمكن للكيميائي الصناعي تطبيق مبدأ لوتشاتلييه لزيادة إنتاج الميثان؟ إنه يحتاج إلى تعديل أي من العوامل التي من شأنها أن تؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو النواتج في التفاعل.

التغير في التركيز يؤثر تغيير تراكيز النواتج أو المتفاعلات في الاتزان؛ إذ تنص نظرية التصادم على أن الجسيمات يجب أن تتصادم حتى تتفاعل، وأنّ 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_2، ويؤثر ذلك في اتزان التفاعل؛ إذ تزيد سرعة التفاعل الأمامي، كما هو موضح من السهم الأطول الذي يشير نحو اليمين في معادلة التفاعل .

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

مع الوقت، تقل سرعة التفاعل الأمامي مع انخفاض تركيز كل من CO و H_2، وفي الوقت نفسه تزداد سرعة التفاعل العكسي، مع إنتاج المزيد من CH_4 و H_2O حتى يصل التفاعل إلى موضع اتزان جديد (موضع 2).

$$\underset{0.99254\ M}{CO_{(g)}} + \underset{0.07762\ M}{3H_{2(g)}} \rightleftharpoons \underset{0.06648\ M}{CH_{4(g)}} + \underset{0.02746\ M}{H_2O_{(g)}}$$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3} = \frac{(0.06648)(0.02746)}{(0.99254)(0.07762)^3} = 3.933$$

لاحظ أن قيمة K_{eq} لا تتغير، وأن موضع الاتزان الجديد قد حقق النتائج المرجوة، حيث زاد تركيز الميثان. ويبين **الجدول 2-4** ملخصًا لنتائج هذه التجربة.

هل كان يمكنك توقع هذه النتيجة باستعمال مبدأ لوتشاتلييه؟ نعم، يعتبر مبدأ لوتشاتلييه زيادة تركيز CO جهدًا مبذولاً على الاتزان، فيستجيب نظام الاتزان لهذا الجهد باستهلاك CO بسرعة أكبر. وتسمى هذه الاستجابة إزاحةً نحو اليمين، وإنتاج المزيد من CH_4 و H_2O. لذا تؤدي أي زيادة في تركيز أي من المتفاعلات إلى الإزاحة نحو اليمين وزيادة النواتج.

تجربة عملية

التفاعلات الانعكاسية

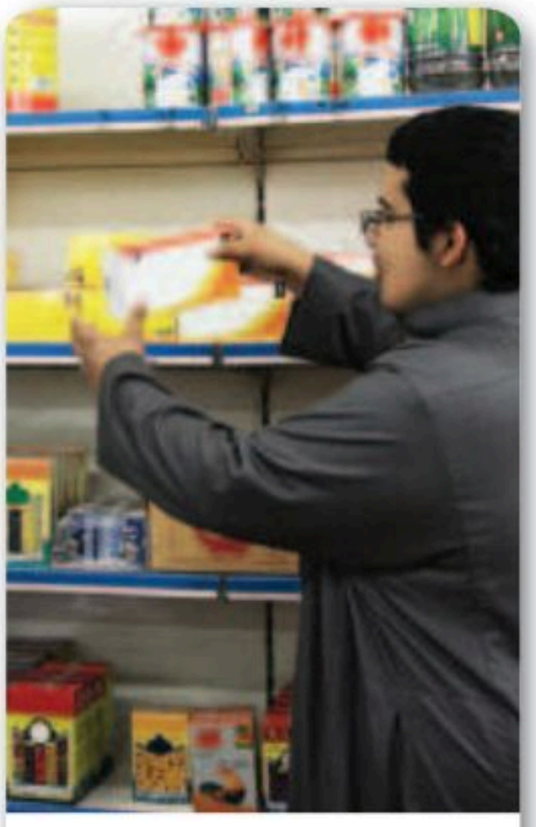
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الجدول 2-4

عند الاتزان للتفاعل $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$

موضع الاتزان	$[CO]_{eq}$ (M)	$[H_2]_{eq}$ (M)	$[CH_4]_{eq}$ (M)	$[H_2O]_{eq}$ (M)	K_{eq}
1	0.30000	0.10000	0.05900	0.02000	3.933
2	0.99254	0.07762	0.06648	0.02746	3.933

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 11-4 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 11-4**. 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.

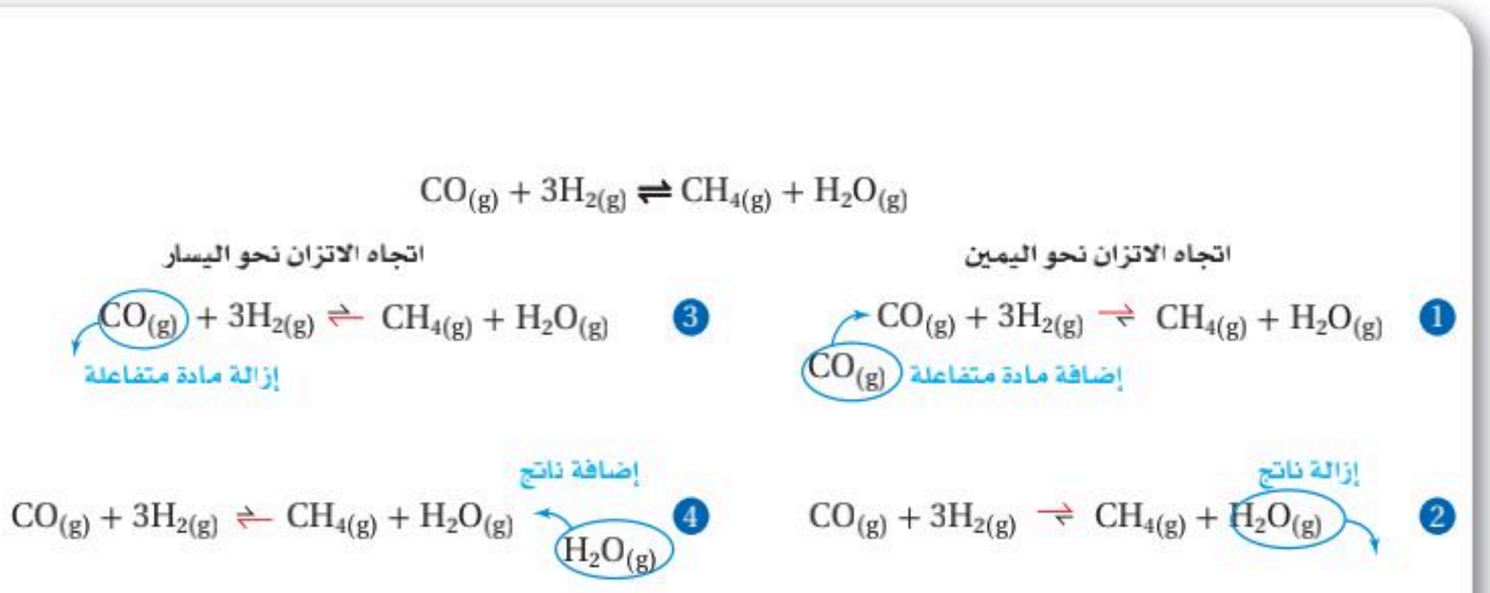
إضافة النواتج يمكن أيضًا إزاحة موضع الاتزان نحو اليسار في اتجاه المتفاعلات؛ إذ يتوقع مبدأ لوتشاتلييه أنه إذا تمت إضافة أحد النواتج إلى تفاعل في حالة اتزان فإن ذلك يؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو اليسار، ومن ثم تخفيف الجهد بتحويل النواتج إلى متفاعلات. كما أنه إذا تم إزالة أحد المتفاعلات فسوف يحدث إزاحة مشابهة نحو اليسار. لتتوقع أثر جهد ما على الاتزان باستعمال مبدأ لوتشاتلييه، ارجع إلى معادلة التفاعل. يلخص **الشكل 12-4** تأثير تغيير التراكيز في الاتزان.

ماذا قرأت؟ صف اتجاه الاتزان عند إزالة مادة متفاعلة.

التغير في الحجم والضغط انظر إلى تفاعل تكوين الميثان الموضح بالمعادلة الكيميائية:

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

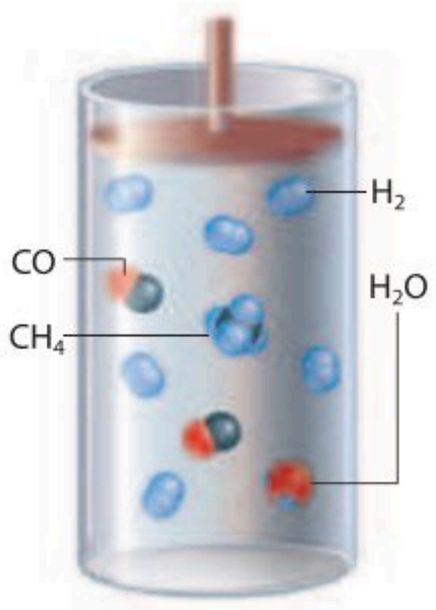
هل يمكن دفع التفاعل لتكوين المزيد من الميثان عن طريق تغير حجم وعاء التفاعل؟ افترض أن حجم الوعاء يمكن تغييره عن طريق مكبس، كما هو موضح في **الشكل 13-4**، إذا تم تحريك المكبس إلى أسفل يقل حجم الوعاء. حيث إن تقليل الحجم عند درجة حرارة ثابتة يزيد الضغط. إذن يمثل هذا الضغط الزائد جهدًا مبذولاً على التفاعل المتزن. كيف يستجيب الاتزان لهذا التغير في الضغط؟ وكيف يخفف من هذا التغير؟



الشكل 12-4 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



التفاعل بين CO و H_2 في حالة اتزان



ضغط المكبس إلى أسفل يقلل حجم الوعاء ويزيد الضغط.



يتكون المزيد من جزيئات النواتج نتيجة اختلاف حجم الوعاء والضغط، مما يخفف من الجهد على النظام.

الشكل 13-4 في التفاعل بين CO و H_2 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 اليمنى 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؟

تجربة عملية

الاتزان

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

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 لوتشاتلييه 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 تكوُّن المزيد من الميثان.

يؤدي تغيير حجم (وضغط) نظام في حالة اتزان إلى إزاحة الاتزان فقط إذا كان عدد مولات المتفاعلات الغازية تختلف عن عدد مولات النواتج الغازية. أما إذا تساوت أعداد مولات الغازات على طرفي المعادلة فإن تغيير الحجم والضغط لا يؤثران في الاتزان.

تغير درجة الحرارة أي تغير في درجات الحرارة يغير موضع وثابت الاتزان. تذكر أن معظم التفاعلات الكيميائية إمَّا ماصّة للحرارة أو طاردة لها. فمثلاً يحظى تفاعل تكوين الميثان بـ ΔH° سالبة، وهذا يعني أن التفاعل الأمامي طارد للحرارة والتفاعل العكسي ماصّ للحرارة.

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} \quad \Delta H^\circ = -206.5\ kJ$$

في هذه الحالة يمكن اعتبار الحرارة ناتجًا في التفاعل الأمامي ومتفاعلاً في التفاعل العكسي.

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} + \text{حرارة}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الحـرارة وموضع الاتزان إذا أضيفت كمية من الحرارة إلى نظام متزن فإن الاتزان - وفقًا لمبدأ لوتشـاتلييه - يتجه نحو الاتجاه الذي تسـتهلك فيه الحرارة. لذا يزاح الاتزان نحو اليسار، ويقلل من تركيز الميثان 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 تغير 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.

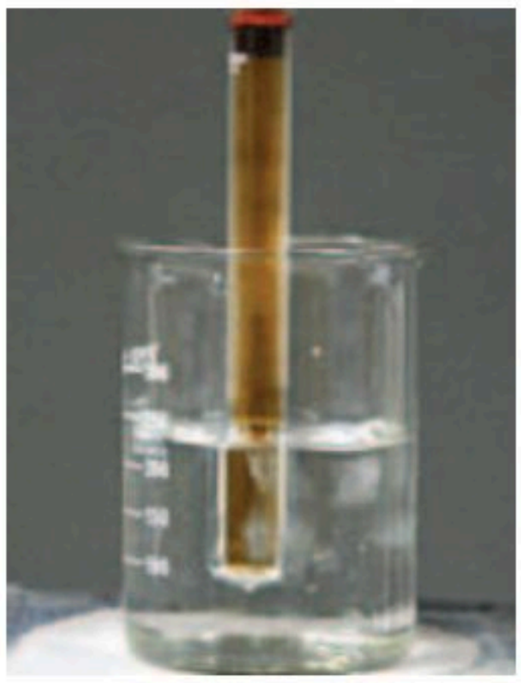
التحول بين رابع أكسـيد ثنائي النيتروجين N_2O_4 وثاني أكسـيد النيتروجين NO_2 يسـتجيب للتغيرات في درجة الحرارة بشكل ملحوظ. ويمكن وصف هذا الاتزان الماص للحرارة في المعادلة الآتية:

$$N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)} \qquad \Delta H^\circ = 55.3\ kJ$$

N_2O_4 غاز لا لون له، و NO_2 غاز بني اللون. يوضـح **الشكل 14-4** لـون مزيج الاتـزان، عندما يبرد في حمام مـاء بارد يصبح لونه أخف مقارنـة بلونه عندما يسـخن المزيج في حمام ماء سـاخن. عند إزالة الحرارة بالتبريـد يزاح الاتزان نحو اليسار، وينتج المزيد من غاز لا لون له N_2O_4 . أما عند إضافة الحرارة فيزاح الاتزان نحـو اليمين وينتج المزيد مـن غاز NO_2 البني اللون. يوضح **الشـكل 15-4** تأثير التسخين والتبريد في التفاعلات التي درستها.

العوامـل المحفّـزة والاتزان تختلف كمية النواتـج المتكونة في التفاعل عند تغير التركيز أو الحجم أو الحرارة. هل يمكن للعامل المحفّز أن يؤثر هو الآخر في تركيز النواتج؟ يعمل العامل المحفّز على زيادة سرعة التفاعل بالتساوي في كلا الاتجاهين، ولهذا يصل التفاعل مع وجود العامل المحفز أسرع إلى حالة الاتزان، دون تغير كمية النواتج المتكونة.





الشـكل 14-4 يـزاح الاتـزان في اتجـاه التفاعـل الماصّ للحـرارة نحـو اليمـين، وهـذا مـن شـأنه أن يزيد من إنتـاج NO_2 (لونـه بني غامـق)، بينما يصبـح لـون مزيج التفاعـل أخف عند وضعـه في حمـام المـاء البـارد؛ لأن الاتزان يزاح في اتجاه التفاعل الطارد للحـرارة نحو اليسـار؛ إذ يزداد تحول NO_2 إلى N_2O_4 الذي لا لون له.

الشكل 15-4 عـند رفـع درجة حرارة التفـاعل الطـارد للحـرارة بيـن CO و H_2، ينـزاح الاتـزان نحـو اليسـار(معادلة 1)، وعنـد خفض درجة الحرارة ينزاح الاتزان نحـو اليمـين (معادلة 2)، والعكس صحيـح للتفاعـل الـماص للحـرارة بين NO و N_2O_4 (المعادلتين 3 و4).

تفاعل طارد للحرارة

يزاح الاتزان نحو اليسار

1 $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} +$ حرارة (رفع درجة الحرارة)

يزاح الاتزان نحو اليمين

2 $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)} +$ حرارة (خفض درجة الحرارة)

تفاعل ماص للحرارة

يزاح الاتزان نحو اليمين

3 حرارة (رفع درجة الحرارة) $+ N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2\ NO_{2(g)}$

يزاح الاتزان نحو اليسار

4 حرارة (خفض درجة الحرارة) $+ N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2\ NO_{2(g)}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تجربة

التغير في موضع الاتزان

كيف يعمل الاتزان على تعديل وضعه عند حدوث تغير في حالة الاتزان؟

الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. ضع حوالي 2 mL من محلول كلوريد الكوبلت II $CoCl_2$ 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 تدريجيًّا (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، ورُش عليه بعض ملح المائدة، وسجل لون المحلول في أنبوب الاختبار.
7. ضع أنبوب الاختبار في حمام ماء ساخن، واستعمل الثرمومتر غير الزئبقي لقياس درجة الحرارة التي يجب أن تكون 70 °C على الأقل، وسجل لون المحلول.

التحليل

1. **فسر** استعمل معادلة التفاعل أدناه لتفسير ملاحظاتك حول اللون في الخطوات 4-2.

$$Co(H_2O_6)^{2+} + 4Cl^- \rightleftharpoons CoCl_4^{2-} + 6H_2O$$

أرجواني أزرق

2. **صف** كيف يزاح الاتزان عند إضافة طاقة أو إزالتها؟
3. **فسّر** من ملاحظاتك حول اللون في الخطوات (6 و7) ما إذا كان التفاعل ماصًّا للحرارة أم طاردًا للحرارة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

التقويم 4-2

الخلاصة

- مبدأ لوتشاتلييه يصف كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغيير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة إلى تغير التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان، ولكن K_{eq} يبقى ثابتًا، أما التغير في درجة الحرارة فيغيرّ موضع الاتزان وقيمة K_{eq}.

13. الفكرة الرئيسة **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؟

a. $2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)}$

b. $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 2HCl_{(g)}$

15. قرر ما إذا كان رفع درجة الحرارة أو خفضها ينتج المزيد من CH_3CHO في معادلة الاتزان الآتية:

$$C_2H_{2(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CH_3CHO_{(g)} \qquad \Delta H^\circ = -151\ kJ$$

16. وضح يظهر الجدول تراكيز مادتين A وB في خليطي تفاعل، يتفاعلان حسب المعادلة $2A \rightleftharpoons B$ و $K_{eq} = 200$. هل المزيجان عند موضعي اتزان مختلفين؟

التركيز mol/l		
تفاعل	[A]	[B]
1	0.0100	0.0200
2	0.0500	0.400

17. صمم خريطة مفاهيمية توضح طرائق تطبيق مبدأ لوتشاتلييه لزيادة النواتج في نظام اتزان وزيادة المتفاعلات في النظام نفسه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

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 محددين.

المفردات الجديدة

ثابت حاصل الذائبية

الأيون المشترك

تأثير الأيون المشترك

استعمال ثوابت الاتزان

Using Equilibrium Constants

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

الربط مع الحياة لعلك جلست يومًا في المقعد الخلفي للسيارة الممتلئ بعدد من أصدقائك؟ أنت تدرك أن هناك حدًّا 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.

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

0.850 M 1.333 M ?M 0.286 M

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3}$$

للحصول على $[CH_4]$ اضرب طرفي المعادلة في $[H_2]^3[CO]$ واقسم الطرفين على $[H_2O]$

$$[CH_4] = K_{eq} \times \frac{[CO][H_2]^3}{[H_2O]}$$

عوض التراكيز المعروفة وقيمة $K_{eq} = 3.933$

$$[CH_4] = 3.933 \times \frac{(0.850)(1.333)^3}{(0.286)} = 27.7\ mol/L$$

هل الكمية الناتجة ذات جدوى اقتصادية بحيث يمكن تحويل المتبقي من CO و H_2 إلى ميثان؟ هذا يعتمد على تكلفة الميثان. يوضح **الشكل 16–4** عبّارة تنقل الغاز الطبيعي إلى الموانئ حول العالم.



الشكل 16-4 تحمل ناقلات النفط كميات كبيرة من الغاز الطبيعي حول العالم لسد الاحتياجات الصناعية والمنزلية. يستعمل الغاز الطبيعي (الميثان) للتدفئة والطبخ.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مثال 4-4

حساب تراكيز الاتزان يتفكك كبريتيد الهيدروجين الذي يتميز برائحة كريهة تشبه رائحة البيض الفاسد عند 1405 K إلى هيدروجين وجزيء كبريت بحسب المعادلة الآتية: $2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons 2H_{2(g)} + S_{2(g)}$

ما تركيز غاز الهيدروجين عند الاتزان إذا كان ثابت الاتزان يساوي 2.27×10^{-3} وتركيز $[H_2S] = 0.184\ mol/L$، و $[S_2] = 0.0540\ mol/L$؟

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت قيمة ثابت الاتزان K_{eq} وتركيزي مادتين من ثلاثة، لذا تستطيع حل معادلة الاتزان وحساب $[H_2]$. ولأن قيمة K_{eq} أقل من واحد فإن هناك متفاعلات أكثر من النواتج في خليط الاتزان. لذا تستطيع أن تتوقع أن يكون $[H_2]$ أقل من 0.184 mol /L، وهو تركيز المتفاعل H_2S.

المعطيات

$K_{eq} = 2.27 \times 10^{-3}$

$[S_2] = 0.0540\ mol/L$

$[H_2S] = 0.184\ mol/L$

المطلوب

$[H_2] = ?\ mol/L$

2 حساب المطلوب

ضع تعبير ثابت الاتزان

$$K_{eq} = \frac{[H_2]^2[S_2]}{[H_2S]^2}$$

حل المسألة لإيجاد $[H_2]$

$$[H_2]^2 = K_{eq} \times \frac{[H_2S]^2}{[S_2]}$$

اضرب كلا الطرفين في $[H_2S]^2$ ثم اقسمها على $[S_2]$

أوجد الجذر التربيعي

$$[H_2] = \sqrt{K_{eq} \times \frac{[H_2S]^2}{[S_2]}}$$

عوض $K_{eq} = 2.27 \times 10^{3-}$ و $[H_2S] = 0.184 mol/L$

$[S_2] = 0.0540 mol/L$

$$[H_2] = \sqrt{(2.27 \times 10^{-3}) \times \frac{(0.184)^2}{(0.0540)}}$$

اضرب واقسم

$[H_2] = 0.0377\ mol/L$

تركيز الاتزان لـ H_2 هو 0.0377mol /L

3 تقويم الإجابة

الإجابة صحيحة، وكما هو متوقع تركيز H_2 عند الاتزان أقل من 0.184mol /L.

مسائل تدريبية

18. ينتج الميثانول عن تفاعل أول أكسيد الكربون مع الهيدروجين: $CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)}$، فإذا كان $K_{eq} = 10.5$ عند درجة حرارة محددة، فاحسب التراكيز الآتية:

a. $[CO]$ في خليط اتزان يحتوي على 0.933 mol /L H_2 و 1.32 mol /L CH_3OH

b. $[H_2]$ في خليط اتزان يحتوي على 1.09 mol /L CO و 0.325 mol /L CH_3OH

c. $[CH_3OH]$ في خليط اتزان يحتوي على 0.0661 mol / L H_2 و 3.85 mol / L CO

19. تحفيز في التفاعل العام $A+B \rightleftharpoons C+D$ إذا سُمح لـ 1.0 mol / L من A بالتفاعل مع 1.0 mol / L من B في دورق حجمه 1L إلى أن يصلا إلى حالة اتزان. فإذا كان تركيز A عند الاتزان 0.450 mol / L، فما تراكيز المواد الأخرى عند الاتزان؟ وما قيمة K_{eq}؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 17-4 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.

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

بسبب الذائبية العالية لكلوريد الصوديوم NaCl، تحتوي المحيطات وبعض البحيرات على كميات كبيرة من الملح. يوضح **الشكل 17-4** كمية كبيرة من ملح الطعام نتجت عن جفاف جزء من مياه إحدى البحيرات.

في بعض الأحيان تكون الذائبية المنخفضة مهمة أيضًا؛ فرغم أنَّ 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 وفقًا للمعادلة الآتية:

$$BaSO_{4(s)} \rightarrow Ba^{2+}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)}$$

وحين تتكون الأيونات الناتجة يبدأ التفاعل العكسي.

$$BaSO_{4(s)} \leftarrow Ba^{2+}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)}$$

ومع الوقت يصل التفاعل إلى حالة الاتزان.

$$BaSO_{4(s)} \rightleftharpoons Ba^{2+}_{(aq)} + SO_4{}^{2-}_{(aq)}$$

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 مشبعًا.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

كثافتها بوحدة mol /L، ويكون ثابتًا 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 1.1×10^{-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 1.0×10^{-5} M، مما يمكّن المريض من تناول محلول كبريتات الباريوم بأمان، انظر **الشكل** 18-4. وعلى سبيل المثال أيضًا، ثابت حاصل الذائبية لمضادّ الحموضة هيدروكسيد الماغنسيوم $Mg(OH)_2$:

$$Mg(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Mg^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Mg^{2+}][OH^-]^2$$

تعتمد قيمة K_{sp} فقط على تراكيز الأيونات في المحلول المشبع. إلَّا أنَّ 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.



الشكل 18-4 هناك احتمال أفضل للتشخيص عند التعرض للأشعة السينية في منطقة المعدة عند شرب المريض خليطًا لزجًا يحتوي على كبريتات الباريوم، وهي مادة سامة. ولكن لأن ذوبانيتها قليلة فكمية قليلة منها يمكن أن تذوب في جسم المريض دون أي ضرر.

الجدول 3-4 ثوابت حاصل الذائبية عند 298 K

المركب	K_{sp}	المركب	K_{sp}	المركب	K_{sp}
الكربونات		**الهاليدات**		**الهيدروكسيدات**	
$BaCO_3$	2.6×10^{-9}	CaF_2	3.5×10^{-11}	$Al(OH)_3$	4.6×10^{-33}
$CaCO_3$	3.4×10^{-9}	$PbBr_2$	6.6×10^{-6}	$Ca(OH)_2$	5.0×10^{-6}
$CuCO_3$	2.5×10^{-10}	$PbCl_2$	1.7×10^{-5}	$Cu(OH)_2$	2.2×10^{-20}
$PbCO_3$	7.4×10^{-14}	PbF_2	3.3×10^{-8}	$Fe(OH)_2$	4.9×10^{-17}
$MgCO_3$	6.8×10^{-6}	PbI_2	9.8×10^{-9}	$Fe(OH)_3$	2.8×10^{-39}
Ag_2CO_3	8.5×10^{-12}	AgCl	1.8×10^{-10}	$Mg(OH)_2$	5.6×10^{-12}
$ZnCO_3$	1.5×10^{-10}	AgBr	5.4×10^{-13}	$Zn(OH)_2$	3×10^{-17}
Hg_2CO_3	3.6×10^{-17}	AgI	8.5×10^{-17}	**الكبريتات**	
الكرومات		**الفوسفات**		$BaSO_4$	1.1×10^{-10}
$BaCrO_4$	1.2×10^{-10}	$AlPO_4$	9.8×10^{-21}	$CaSO_4$	4.9×10^{-5}
$PbCrO_4$	2.3×10^{-13}	$Ca_3(PO_4)_2$	2.1×10^{-33}	$PbSO_4$	2.5×10^{-8}
Ag_2CrO_4	1.1×10^{-12}	$Mg_3(PO_4)_2$	1.0×10^{-24}	Ag_2SO_4	1.2×10^{-5}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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. تذكـــر أن ذائبية مركب ما في الماء تعني كمية المادة التي تتفـــكك في حجم معين من الماء عند درجة حرارة معينة.

افترض أنك تريد حســـاب ذائبية يوديد الفضة AgI بوحـــدة mol /L عند 298 K، إذا عرفت أنّ معادلة الاتزان وصيغة ثابت حاصل الذائبية هما:

$$AgI_{(s)} \rightleftharpoons Ag^{+}_{(aq)} + I^{-}_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Ag^+][I^-] = 8.5 \times 10^{-17} \quad \text{عند} \quad 298\ K$$

يمكن الإشارة إلى ذائبية يوديد الفضة AgI بـ s، وهي عدد مولات AgI التي تذوب في 1L من المحلول. وبالنظـــر إلى معادلة الاتزان نجد أنه لكل مول من AgI يذوب عدد مســـاو من المولات من أيونات Ag^+ التي تتكون في المحلول. لذا $[Ag^+]$ يساوي s. وكل أيون Ag^+ له أيون مصاحب I^-، لذا $[I^-]$ يساوي s.

عند التعويض بـ s بدلاً من $[Ag^+]$ و $[I^-]$، تصبح صيغة K_{sp} كالآتي:

$$[Ag^+][I^-] = (s)(s) = s^2 = 8.5 \times 10^{-17}$$

$$s = \sqrt{8.5 \times 10^{-17}} = 9.2 \times 10^{-9}\ mol/L$$

ذائبية AgI هي 9.2×10^{-9} mol /L عند 298 K.

مثال 5-4

حساب الذائبية المولارية استعمل قيمة K_{sp} في **الجدول 3-4** لحساب ذائبية كربونات النحاس II $CuCO_3$ بوحدة mol /L عند 298 K.

1 تحليل المسألة

لقد أُعطيت ثابت حاصل الذائبية لـ $CuCO_3$. تمثـــل تراكيز أيون النحاس وأيون الكربونات علاقة واحد – إلى واحد مع الذائبية المولارية لـ $CuCO_3$. استعمل s لتمثيل الذائبية لـ $CuCO_3$، ثم استعمل صيغة ثابت حاصل الذائبية لإيجاد الذائبية. ولأن K_{sp} في صـــورة 10^{-10}، لذا يمكنك توقع أن تكون الذائبية المولارية تســـاوي الجذر التربيعي لـ K_{sp} أو حوالي 10^{-5}.

المعطيات

$K_{sp} = CuCO_3 = 2.5 \times 10^{-10}$

المطلوب

$s = ?\ mol/l$

2 حساب المطلوب

ضع معادلة كيميائية لاتزان الذائبية.

$$CuCO_{3(s)} \rightleftharpoons Cu^{2+}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)}$$

ضع صيغة ثابت حاصل الذائبية.

$$K_{sp} = [Cu^{2+}][CO_3^{2-}] = 2.5 \times 10^{-10}$$

اربط $[Cu^{2+}]$ و $[CO_3^{2-}{}_{(aq)}]$ بذائبية $CuCO_3$

$$s = [Cu^{2+}] = [CO_3^{2-}]$$

عوض S بدلاً من $[Cu^{2+}]$ و $[CO_3^{2-}]$

$$(s)(s) = s^2 = 2.5 \times 10^{-10}$$

حل لإيجاد S واحسب الإجابة

$$s = \sqrt{2.5 \times 10^{-10}} = 1.6 \times 10^{-5}\ mol/L$$

3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع، الذائبية المولارية لـ $CuCO_3$ حـوالي 10^{-5} mol/L

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مسائل تدريبية

20. استعمل البيانات في **الجدول 3-4** لحساب الذائبية المولارية mol / L للمركبات الأيونية الآتية عند درجة حرارة 298 K .

a. $PbCrO_4$ b. $AgCl$ c. $CaCO_3$

21. تحفيز إذا علمت أن K_{sp} لكربونات الرصاص $PbCO_3$ يساوي 7.40×10^{-14} عند 298 K، فما ذائبية كربونات الرصاص g /L؟

مثال 6-4

حساب تركيز الأيون هيدروكسيد الماغنسيوم مادة صلبة بيضاء يمكن الحصول عليها من مياه البحر واستعمالها في صنع الكثير من الأدوية الطبية. وخصوصًا 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 أُعطيت K_{sp} لـ $Mg(OH)_2$، عدد مولات أيونات Mg^{+2} في المحلول تساوي عدد مولات $Mg(OH)_2$ الذائبة. ولكن عدد مولات أيونات OH^- في المحلول تساوي ضعفي عدد مولات $Mg(OH)_2$ الذائبة. يمكنك استعمال هذه العلاقات لكتابة صيغة ثابت حاصل الذائبية في صورة متغير واحد. ولأن صيغة ثابت حاصل الذائبية معادلة تكعيبية، يمكنك توقع أن $[OH^-]$ تساوي تقريبًا الجذر التكعيبي لـ 10^{-12} أو حوالي 10^{-4}.

المعطيات

$K_{sp} = 5.6 \times 10^{-12}$

المطلوب

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

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كيميائية موزونة للاتزان

$$Mg(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Mg^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$$

ضع تعبير K_{sp}

$$K_{sp} = [Mg^{2+}][OH^-]^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

لتكن $x = [Mg^{2+}]$ ولأن هناك أيونين OH^- لكل أيون Mg^{+2} فإن $2x = [OH^-]$

عوض عن $2x = [OH^-]$ $x = [Mg^{2+}]$

$$(x)(2x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

ربع الحدود

$$(x)(4)(x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

اجمع الحدود

$$4x^3 = 5.6 \times 10^{-12}$$

اقسم

$$x^3 = \frac{5.6 \times 10^{-12}}{4} = 1.4 \times 10^{-12}$$

استعمل الآلة الحاسبة لإيجاد الجذر التكعيبي

$$x = [Mg^{2+}] = \sqrt[3]{1.4 \times 10^{-12}} = 1.1 \times 10^{-4}\ mol/L$$

اضرب $[Mg^{+2}]$ في 2 للحصول على $[OH^-]$

$$[OH^-] = 2[Mg^{2+}] = 2(1.1 \times 10^{-4}\ mol/L) = 2.2 \times 10^{-4}\ mol/L$$

3 تقويم الإجابة كما هو متوقع $[OH^-]$ حوالي 10^{-4} mol /L

مسائل تدريبية

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 $AgCl = 1.86\times10^{-4}$ g /100 g في الماء عند درجة حرارة 298 K. احسب K_{sp} لـ AgCl.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الشكل 19-4 لأن ثابت الأيون الناتج Q_{sp} أكبر من K_{sp} يمكنك أن تتوقع أن $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ سيكون راسبًا.



توقع الرواسب إذا تم خلط أحجام متساوية من محاليل مائية تركيز كل منها 0.10M من كلوريد الحديد III $FeCl_3$ مثلاً، وسداسي سيانو حديد II البوتاسيوم $K_4[Fe(CN)_6]$ يتكون راسب، كما هو مبين في **الشكل** 19-4. ربما يحدث تفاعل الإحلال المزدوج الآتي:

$$4FeCl_3 + 3K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow 12KCl + Fe_4[Fe(CN)_6]_3$$

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 $Fe_4[(Fe(CN)_6]$ له ذائبية قليلة. تعرف أن KCl مركب ذائب، لذا لا يمكنه أن يترسب، ولكن K_{sp} لـ $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ يكون رقمًا صغيرًا جدًّا وهو 3.3×10^{-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:

$$Fe_4[Fe(CN)_6]_{3(s)} \rightleftharpoons 4Fe^{3+}_{(aq)} + 3Fe(CN)_6^{4-}{}_{(aq)}$$

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 تكوُّن راسب عند خلط محلولين عليك أولاً أن تحسب تراكيز الأيونات.

ماذا قرأت؟ **وضح** الظروف التي تمكّنك من توقع تكون راسب.

حساب تراكيز الأيون يوضح **الجدول** 4-4 تراكيز أيونات المتفاعلات والنواتج في المحاليل الأصلية $0.10\ M\ K_4Fe(CN)_6$ و $0.10\ M\ FeCl_3$)، وأيضًا 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 3:1. ولاحظ أيضًا 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 لخليط 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 مشبعًا أم لا، لذا فإن ناتج عملية التعويض لا يكون بالضرورة ثابت حاصل الذائبية الناتج، ولكنه يسمى الحاصل

الجدول 4-4 **تراكيز الأيونات**

المحلول الأصلي mol/L	الخليط mol/L
$[Fe^{3+}] = 0.10$	$[Fe^{3+}] = 0.050$
$[Cl^-] = 0.30$	$[Cl^-] = 0.15$
$[K^+] = 0.40$	$[K^+] = 0.20$
$[Fe(CN)_6^{4-}] = 0.10$	$[Fe(CN)_6^{4-}] = 0.050$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الأيوني Q_{sp}، وهو قيمة مجرّبة نستطيع مقارنتها بـ K_{sp}

$$Q_{sp} = [Fe^{3+}]^4[Fe(CN)_6^{4-}]^3 = (0.050)^4(0.050)^3 = 7.8 \times 10^{-10}$$

يمكنــك الآن مقارنة Q_{sp} بـ K_{sp}. ومن هذه المقارنة يمكن أن نســتنتج إحدى ثلاثة أمور: Q_{sp} أقل من K_{sp} ، أو مساو لـ K_{sp} ، أو أكبر من K_{sp}.

1. إذا كان $Q_{sp} < K_{sp}$ فإن المحلول غير مشبع، ولا يتكون راسب.
2. إذا كان $Q_{sp} = K_{sp}$ فإن المحلول مشبع، ولا يحدث تغير.
3. إذا كان $Q_{sp} > K_{sp}$، فسوف يتكون راســب، 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 7.8×10^{-10} أكبر من K_{sp} الذي يســاوي 3.3×10^{-41} ، فيتكون راسب أزرق غامق اللون، هو $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$، كما هو موضح في **الشكل** 19-4.

مثال 7-4

توقع تكون راسب توقع ما إذا ســيتكون راســب $PbCl_2$ عند إضافة 100 mL من 0.0100 M NaCl إلى 100 mL من $Pb(NO_3)_2$ 0.0200 M علمًا بأن K_{sp} للمركب يساوي 1.7×10^{-5}.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت حجمين متســاويين من محلولين تركيزهما معلومان. تســمح لك التراكيز الأولية للمحاليل بحســاب تراكيز أيونات Pb^{+2} و Cl^- في المحلول الناتج عن خلطهما.

المعطيات

100 mL من 0.0100 M NaCl

100 mL من $Pb(NO_3)_2$ 0.0200 M

$K_{sp} = 1.7 \times 10^{-5}$

المطلوب

$Q_{sp} > K_{sp}$?

2 حساب المطلوب

ضع معادلة ذوبان $PbCl_2$

$$PbCl_{2(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + 2Cl^-_{(aq)}$$

ضع صيغة Q_{sp}

$$Q_{sp} = [Pb^{2+}][Cl^-]^2$$

مزج المحاليل يخفف تركيزها إلى النصف.

اقسم $[Pb^{+2}_{(aq)}]$ على 2

$$[Pb^{2+}] = \frac{0.0200M}{2} = 0.0100M$$

اقسم $[Cl^-]$ على 2

$$[Cl^-] = \frac{0.0100M}{2} = 0.00500M$$

عوض عن $[Pb^{2+}] = 0.0100M$ و $[Cl^-] = 0.00500M$

$$Q_{sp} = (0.0100)(0.00500)^2 = 2.5 \times 10^{-7}$$

قارن Q_{sp} بـ K_{sp}

$$Q_{sp}\ (2.5 \times 10^{-7}) < K_{sp}\ (1.7 \times 10^{-5})$$

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مسائل تدريبية

25. استعمل قيم K_{sp} من **الجدول 3–4** لتتوقع ما إذا سيتكون راسب عند خلط كميات متساوية من المحاليل الآتية:

a. $0.030\ M\ NaF$ و $0.10\ M\ Pb(NO_3)_2$

b. $0.010\ M\ AgNO_3$ و $0.25\ M\ K_2SO_4$

26. تحفيز هل يتكون راسب عند إضافة $250\ mL$ من $0.20\ M\ MgCl_2$ إلى $750\ mL$ من $0.0025\ M\ NaOH$ ؟

تأثير الأيون المشترك The Common Ion Effect

ذائبية كرومات الرصاص $PbCrO_4$ في الماء تساوي $4.8 \times 10^{-7}\ mol/L$ عند درجة الحرارة $298\ k$. وهذا يعني أنك تستطيع تفكيك وإذابة $4.8 \times 10^{-7}\ mol$ من $PbCrO_4$ في $1.00\ L$ من الماء النقي. ولكنك لا تستطيع إذابة $4.8 \times 10^{-7}\ mol$ من $PbCrO_4$ عند درجة الحرارة نفسها في $1.00L$ من محلول كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 الذي تركيزه $0.1M$.

لماذا يعد $PbCrO_4$ أقل ذائبية في المحلول المائي لـ K_2CrO_4 مقارنة بذائبيته في الماء النقي؟

معادلة اتزان الذائبية لـ $PbCrO_4$، وتعبير ثابت حاصل الذائبية:

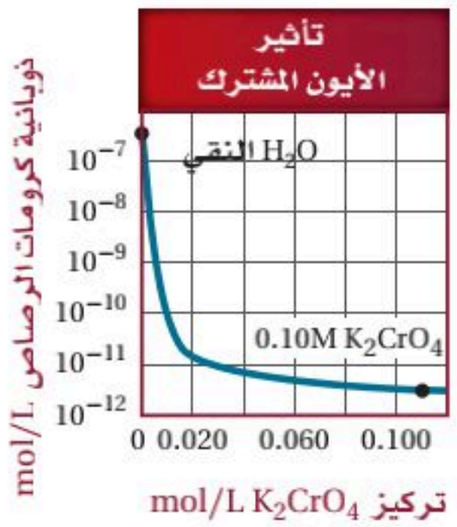
$$PbCrO_{4(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + CrO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Pb^{2+}][CrO_4^{2-}] = 2.3 \times 10^{-13}$$

تذكـــر أن K_{sp} ثابت عند أي درجة حرارة معطاة، لذا إذا ازداد تركيز Pb^{2+} أو تركيز CrO_4^{2-} في نظام متزن فإن تركيز الأيون الآخر ســوف يقل؛ لأن ناتج ضرب تراكيز الأيونين يساوي دائماً K_{sp}. فمحلول K_2CrO_4 يحتوي على أيونات CrO_4^{2-} قبل أن تتم إذابة $PbCrO_4$. وفي هذا المثال أيون CrO_4^{2-} يسمى أيونًا مشتركًا؛ لأنه جزء من المركبين K_2CrO_4 و $PbCrO_4$.

يوضح **الشـــكل 20–4** أثر الأيون المشـــترك CrO_4^{2-} في ذائبية $PbCrO_4$. **الأيون المشترك** هو أيون يدخل في تركيب اثنين أو أكثر من المركبات الأيونية. ويسمى انخفاض ذائبية المادة بسبب وجود أيون مشترك **تأثير الأيون المشترك**.

الشـكل 20-4 تقل ذائبية كرومات الرصاص كلما زاد تركيز محلول كرومات البوتاسيوم الذائبة فيه. التغير ناتج عن وجود أيون CrO_4^{2-} في كل من كرومات الرصاص وكرومات البوتاسيوم.



النقي H_2O : $[Pb^{2+}] = 4.8 \times 10^{-7}\ mol/L$

$[CrO_4^{2-}] = 4.8 \times 10^{-7}\ mol/L$

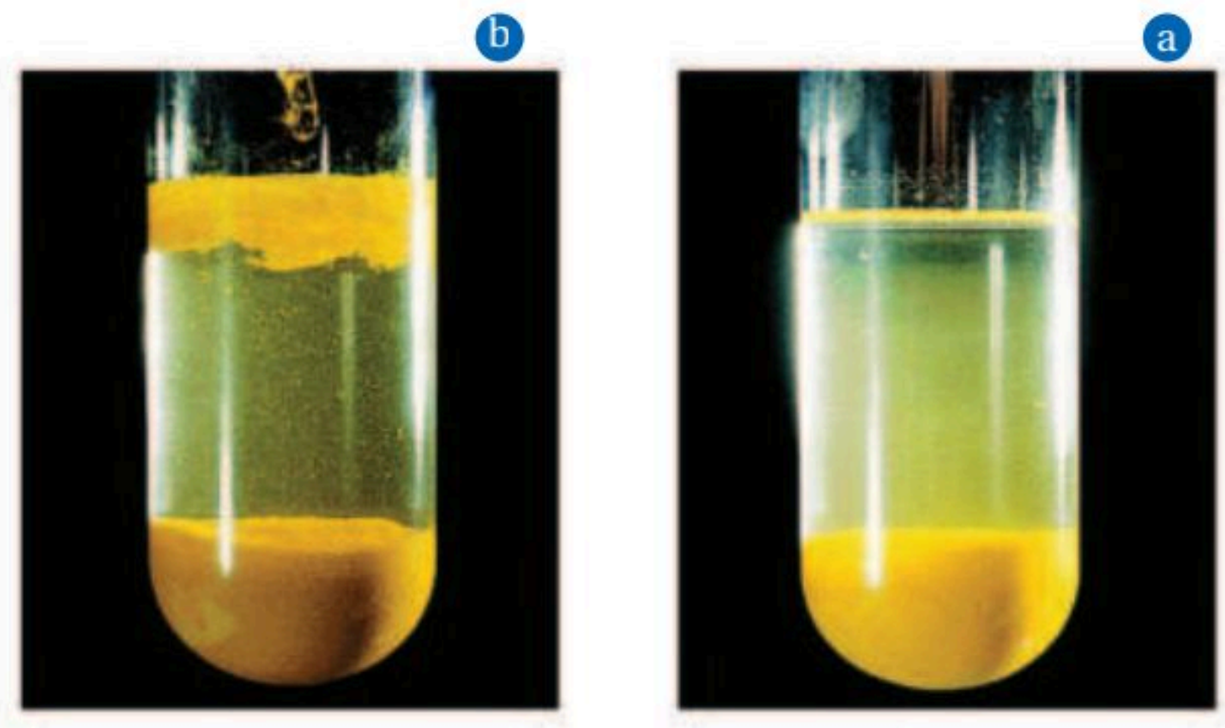
0.10M K_2CrO_4: $[Pb^{2+}] = 2.3 \times 10^{-12}\ mol/L$

$[CrO_4^{2-}] = 1.00 \times 10^{-1}\ mol/L$

اختبار الرسم البياني؟

تـحقق أنّ K_{sp} لا يتغـــير مع زيـــادة تركيز كرومات البوتاسيوم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446



الشكل 21-4 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 الصورةb. يتأثر الاتزان عند إضافة $Pb(NO_3)_2$، مما يؤدي إلى تكون المزيد من راسب $PbCrO_4$.

تطبيق مبدأ لوتشاتلييه يوضح الشكل a 21-4 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:

$$PbCrO_{4(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + CrO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

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 21-4؛ 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 لوتشاتلييه ؟

إنَّ 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-} .

$$BaSO_{4(s)} \rightleftharpoons Ba^{2+}_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

بحسب مبدأ لوتشاتلييه 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

مختبر حل المشكلات

تطبيق التفسيرات العلمية

كيف يمنع أيون الفلوريد تسوس الأسنان؟ إنّ 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 $Ca_5(PO_4)_3OH$. وعلى الرغم من أنه مادة غير ذائبة في الماء $K_{sp} = 6.8\times10^{-37}$ إلاّ أنّ تحلل المينا ينتج عن ذوبان هيدروكسي الأباتيت، وخصوصًا عندما يحتوي اللعاب على أحماض. أما عملية بناء مينا الأسنان 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 $Ca_5(PO_4)_3F$، $K_{sp} = 1\times10^{-60}$. يعيد الفلوروأباتيت بناء مينا الأسنان، ولذلك فإنه يحل جزئيًا 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.

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 الرئيسة **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 $MgCO_3$ في الماء النقي إذا كان K_{sp} يساوي 2.6×10^{-9}.

32. صمم تجربة اعتمادًا على الذائبية لتوضح أي الأيونين Mg^{2+} أو Pb^{2+} يوجد في محلول مائي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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 يتكيَّف مع هذا النقص في الأكسجين بإنتاج المزيد من البروتين الذي يسمى الهيموجلوبين.

اتزان الهيموجلوبين–أكسجين Hemoglobin–oxgygen equilibriun

يرتبط الهيموجلوبين Hgb بجزيئات الأكسجين التي تدخل دورة الدم في جسمك منتجةً الهيموجلوبين المؤكسد $Hgb(O_2)_4$. ويمكن تمثيل اتزان Hgb و O_2 في المعادلة الآتية:

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightleftharpoons Hgb(O_2)_{4(aq)}$$

في الرئتين عندما تتنفس تتحرك جزيئات الأكسجين إلى دمك، ويستجيب الاتزان للجهد باستهلاك جزيئات الأكسجين بسرعة عالية. ويتم إزاحة الاتزان نحو اليمين، ويزداد تركيز $Hgb(O_2)_4$ في الدم.

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightleftharpoons Hgb(O_2)_{4(aq)}$$

في الأنسجة عندما يصل $Hgb(O_2)_4$ إلى أنسجة الجسم التي يكون فيها تركيز الأكسجين منخفضًا يزاح الاتزان نحو اليسار، ويتحرر الأكسجين ليسمح لحدوث عملية الأيض التي من شأنها توليد الطاقة.

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightleftharpoons Hgb(O_2)_{4(aq)}$$



الشكل 1 يكون الضغط الجزئي لـ O_2 في القمة أكثر انخفاضًا. وكل نفَس يستنشقه الإنسان يحتوي على جزيئات O_2 قليلة.



الشكل 2 على قمة إفرست، يمكن للمتسلق الصعود إلى المخيم II، ثم ينزل إلى المخيم الارضي، 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 محرّرًا جزيئات الأكسجين في الرئة، تاركًا القليل من الهيموجلوبين المؤكسج في الدم

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightleftharpoons Hgb(O_2)_{4(aq)}$$

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

$$Hgb_{(aq)} + 4O_{2(g)} \rightleftharpoons Hgb(O_2)_{4(aq)}$$

يعني التركيز المتزايد لـ $Hgb(O_2)_{4(aq)}$ أن المزيد من جزيئات الأكسجين تنطلق في أنسجة الجسم. يوضح **الشكل** 2 أين يمكن للمتسلقين أن يعوّدوا 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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 لوتشاتلييه لتقويم الذائبية النسبية لراسبين؟

المواد والأدوات اللازمة

محلول $AgNO_3$ محلول NaCl

محلول Na_2S طبق تفاعلات بلاستيكي ذو 24 أو 32 فجوة

3 قطارات رفيعة الساق (مادة بديلة للطبق: أنابيب اختبار)

إجراءات السلامة

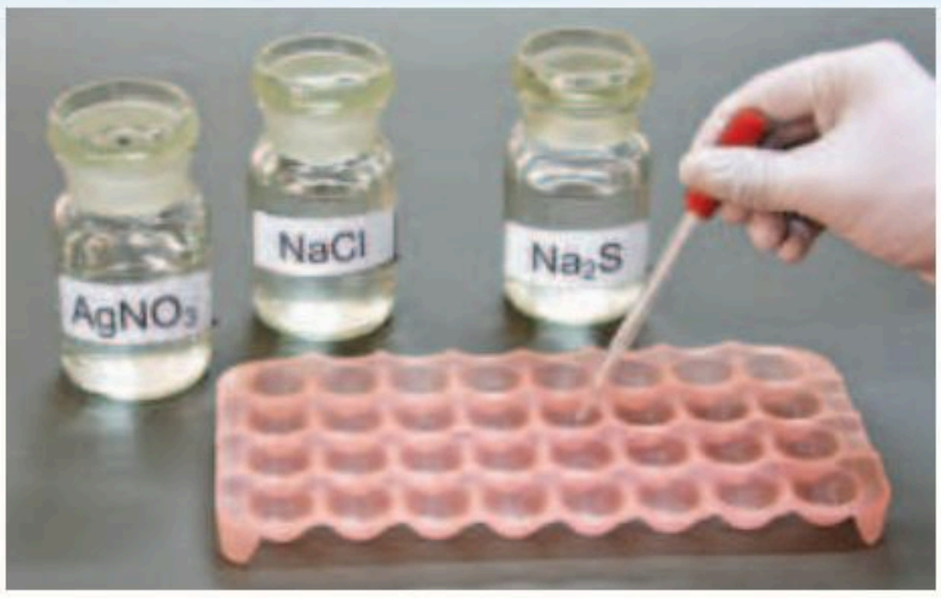
تحذير: نترات الفضة عالية السمية، وتخلّف بقعًا على الجلد والملابس. كبريتيد الصوديوم مهيج للجلد، ويجب إبقاؤه بعيدًا عن الأحماض.

خطوات العمل

1. املأ 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 ملاحظاتك.
5. أضف 10 قطرات من محلول Na_2S إلى الفجوة A2.
6. دع الراسب يتكون، وسجل ملاحظاتك عنه.
7. قارن محتوى الفجوتين A1، و A2، وسجل ملاحظاتك.
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، واكتب 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. **تعرَّف** الراسبين من خلال اللون.
5. **قارن** قيم K_{sp} للراسبين، أي المركبين الأيونيين أكثر ذائبية؟
6. **أدرك النتيجة والسبب** استعمل مبدأ لوتشاتلييه 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 ذوبانًا؟
8. **حدد** الدليل الذي يدعم إجابتك للسؤال 7. فسر إجابتك.
9. **تحليل الخطأ** قارن ملاحظاتك عند النظر إلى طبق التفاعلات من أعلى بملاحظاتك 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 Ksp في **الجدول 3-4**. وارجع إلى مصادر أخرى لتعرف القوانين العامة للذائبية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

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

4-1 حالة الاتزان الديناميكي

الفكرة الرئيسة يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة.

المفردات

- التفاعل العكسي
- الاتزان الكيميائي
- قانون الاتزان الكيميائي
- ثابت الاتزان
- اتزان متجانس
- اتزان غير متجانس

الأفكار الرئيسة

- يكون التفاعل في حالة اتزان إذا كانت سرعة التفاعل الأمامي مساوية لسرعة التفاعل العكسي.
- تعبير ثابت الاتزان هو نسبة التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة؛ حيث ترفع هذه التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها في المعادلة الكيميائية الموزونة.

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

- تكون قيمة تعبير ثابت الاتزان K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة.

4-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

الفكرة الرئيسة عندما تطرأ تغييرات على نظام متزن يزاح إلى موضع اتزان جديد.

المفردات

- مبدأ لوتشاتلييه

الأفكار الرئيسة

- يصف مبدأ لوتشاتلييه كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغيير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة لتغيُّر التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان، ولكن K_{eq} يبقى ثابتًا. والتغير في درجة الحرارة يغيّر الاثنين معًا: موضع الاتزان وقيمة K_{eq}.

4-3 استعمال ثوابت الاتزان

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

المفردات

- ثابت حاصل الذائبية
- الأيون المشترك
- تأثير الأيون المشترك

الأفكار الرئيسة

- 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

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 اتزانًا متجانسًا أم غير متجانس؟ فسر إجابتك.

$$H_2O_{(s)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)}$$

36. ما المقصود بموضع الاتزان؟

37. وضح كيفية كتابة تعبير ثابت اتزان.

38. لماذا يجب أن تعير انتباهك للحالات الفيزيائية للنواتج والمتفاعلات عند كتابة تعابير ثابت الاتزان؟

39. لماذا تعني قيمة K_{eq} الكبيرة عدديًّا 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:

a. $2N_2H_{4(g)} + 2NO_{2(g)} \rightleftharpoons 3N_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$

b. $2NbCl_{4(g)} \rightleftharpoons NbCl_{3(g)} + NbCl_{5(g)}$

43. افترض أن لديك مكعبًا من فلز المنجنيز النقي طول ضلعه 5.25cm، وكتلته تساوي 1076.6 g، فما التركيز المولاري للمنجنيز في المكعب؟

44. قيمة K_{eq} للتفاعل $A + 2B \rightleftharpoons C$ تساوي 3.63، يوضح الجدول 5-4 تراكيز المتفاعلات والنواتج في خليط تفاعلين مختلفين عند درجة الحرارة نفسها. حدد ما إذا كان التفاعلان في حالة اتزان.

الجدول 5-4 تراكيز A وB وC

A (mol/L)	B (mol/L)	C (mol/L)
0.500	0.621	0.700
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 تفاعلٍ ما عند الاتزان؟

47. كيف يصف مبدأ لوتشاتلييه استجابة الاتزان للإجهاد؟

48. لماذا يسبب إزالة المتفاعل إزاحة الاتزان نحو اليسار؟

49. عند إزاحة الاتزان نحو اليمين، ماذا يحدث لكل من:

a. تراكيز المتفاعلات

b. تراكيز النواتج

50. كيف يمكن للتغيرات الآتية التأثير في موضع الاتزان للتفاعل المستعمل لإنتاج الميثانول من أول أكسيد الكربون والهيدروجين؟

$$CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)} + \text{حرارة}$$

a. إضافة CO

b. خفض درجة الحرارة

c. إضافة عامل محفز

d. إزالة CH_3OH

e. تقليل حجم وعاء التفاعل

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

51. المشروبات الغازية استعمل مبدأ لوتشاتلييه لشرح كيف أن إزاحة الاتزان الآتي:

$$H_2CO_{3(aq)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

تسبب فقدان الشراب طعمه عند ترك غطاء القارورة مفتوحًا؟

52. فسر كيف تؤثر زيادة درجة الحرارة في الاتزان الموضح في المعادلة الآتية؟

$$\text{حرارة} + PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

53. إذا أضيف مذيب سائل من الكلور إلى دورق يحتوي على تفاعل الاتزان الآتي: حرارة $PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$ فكيف يتأثر الاتزان عند ذوبان كمية من غاز الكلور؟

54. إذا أعطيت التفاعلين الآتيين عند الاتزان:

a. $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$

b. $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 2HCl_{(g)}$

ففسر 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} العددية عند زيادة درجة الحرارة في الاتزان الآتي؟ فسر إجابتك.

$$\text{حرارة} + PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

56. فسر كيف يمكن أن تنظم الضغط لتعزز تكوين النواتج في نظام الاتزان الآتي؟

$$MgCO_{3(s)} \rightleftharpoons MgO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

57. يتفاعل الإيثيلين C_2H_4 مع الهيدروجين لإنتاج الإيثان C_2H_6 وفق المعادلة:

$$\text{حرارة} + C_2H_{4(g)} + H_{2(g)} \rightleftharpoons C_2H_{6(g)}$$

كيف يمكنك تنظيم درجة الحرارة لهذا الاتزان لكي:

a. تزيد كمية الإيثان الناتج.

b. تقلل تركيز الإيثيلين.

c. تزيد كمية الهيدروجين في وعاء التفاعل.

4-3

إتقان المفاهيم

58. ماذا تعني بقولك إن لدى محلولين أيونًا مشتركًا؟ اذكر مثالاً 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؟ علمًا أنه عند درجة حرارة 26°C فإن 37.5 g من $BaCl_2$ يمكن أن تذوب في 100 mL من الماء؟

61. فسر ما يحدث في **الشكل 23-4** اعتمادًا على Q_{sp} و K_{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 $PbCrO_4$، واحسب ذائبية بوحدة mol /L، علمًا أن $k_{sp} = 2.3 \times 10^{-13}$.

64. K_{sp} لفلوريد الإسكانديوم ScF_3 عند درجة حرارة 298 K يساوي 4.2×10^{-8}. اكتب معادلة الاتزان الكيميائية لذائبية فلوريد الإسكانديوم في الماء. ما تركيز أيونات Sc^{3+} اللازمة لتكوين راسب إذا كان تركيز أيون الفلوريد 0.076 M؟

65. هل يتكون راسب عند خلط 62.6 mL من $CaCl_2$ الذي تركيزه 0.0322 M مع 31.3 mL من NaOH الذي تركيزه 0.0145 M؟ استعمل البيانات الموجودة في **الجدول 4-4**. وضح إجابتك.

66. صناعة إيثانوات الإيثيل $CH_3COOCH_2CH_3$ مذيب يستعمل في صناعة الورنيش، ويمكن إنتاجه بتفاعل الإيثانول وحمض الإيثانويك (الخليك). يمكن وصف الاتزان بالمعادلة الآتية:

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

احسب K_{eq} باستعمال تراكيز الاتزان الآتية:

$[CH_3COOCH_2CH_3] = 2.90\ M;\ [CH_3COOH] = 0.316\ M;$

$[CH_3CH_2OH] = 0.313\ M;\ [H_2O] = 0.114\ M$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 4

مراجعة عامة

67. تنتج إيثانوات الإيثيل $CH_3COOCH_2CH_3$ من الاتزان الموصوف في المعادلة الآتية:

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

لماذا تسبب إزالة الماء إنتاج المزيد من إيثانوات الإيثيل؟

68. كيف يتأثر كل اتزان مما يأتي بانخفاض درجة الحرارة؟

a. $2O_{3(g)} \rightleftharpoons 3O_{2(g)} +$ حرارة

b. $H_{2(g)} + F_{2(g)} \rightleftharpoons 2HF_{(g)} +$ حرارة

69. كيف يتأثر كل اتزان مما يأتي بارتفاع كل من درجة الحرارة والحجم في الوقت نفسه؟

a. $2O_{3(g)} \rightleftharpoons 3O_{2(g)} +$ حرارة

b. $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)} +$ حرارة

70. ثابت حاصل الذائبية لزرنيخات الرصاص II $Pb_3(AsO_4)_2$ هو 4.0×10^{-36} في درجة حرارة 298 K. احسب الذائبية 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 $N_2O_{4\,(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$، لون NO_2 بني غامق. فسر اختلاف اللون للاتزان كما هو موضح في الشكل 22-4.



الشكل 22-4

73. إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم إلى محلول هيدروكسيد الألومنيوم المشبع يُقلل من تركيز أيونات الألومنيوم. اكتب معادلة اتزان الذائبية وتعبير ثابت حاصل الذائبية 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 و50% نواتج؟ فسر إجابتك.

75. تطبيق يستعمل تنشق الأملاح أحيانًا لإعادة إنعاش شخص فاقد للوعي؛ إذ تتكون هذه الأملاح من كربونات الأمونيوم. فإذا كانت معادلة تفكك كربونات الأمونيوم الماص للحرارة هي: $(NH_4)_2CO_{3(s)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(g)}$ فهل تتوقع أن استنشاق الأملاح يعطي مفعولاً في أيام الشتاء الباردة كما في أيام الصيف الحارة؟ فسر إجابتك.

76. إذا علمت أنّ K_{sp} ليوديدات الكادميوم $Cd(IO_3)_2$ يساوي 2.3×10^{-8} عند درجة حرارة 298 K، فما تركيز (mol /L) كل من أيونات الكادميوم وأيونات اليوديدات في محلول مشبع مع يوديدات الكادميوم 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 **6-4** واكتب معادلات اتزان الذائبية وتعابير ثابت حاصل الذائبية لكلا المركبين. فسر إجابتك.

الجدول 6 – 4 بيانات المركبين

المركب	الكتلة المولية g/mol	الذائبية عند 25°C g/L
BaF_2	175.33	1.1
MgF_2	62.30	0.13

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

تقويم الفصل 4

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 $K_{sp}\,Ca_3(PO_4)_2 = 1.2 \times 10^{-29}$ و $K_{sp}\,FePO_4 = 1.0 \times 10^{-22}$، فأيهما له ذائبية g/L أعلى؟

مسألة تحفيز

80. تحضير الفوسجين الفوسجين $COCl_2$ غاز سام يستعمل في تصنيع بعض الأصباغ والأدوية والمبيدات الحشرية. ويمكن تحضيره بتفاعل أول أكسيد الكربون مع غاز الكلور وفق المعادلة:

$$CO_{(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons COCl_{2(g)}$$

بداية وضع 1.0000 mol من كلا الغازين في وعاء حجمه 10.00 L وعند وصولهما إلى حالة الاتزان وجد أنَّ تركيز كل منهما 0.0086 mol /L. ما تركيز الفوسجين عند الاتزان؟ وما K_{eq} للنظام؟

مراجعة تراكمية

81. عندما تقوم بعكس معادلة كيميائية حرارية لماذا يجب عكس إشارة ΔH؟

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: $CO_{2(g)} \rightleftharpoons CO_2(yo),\ K_{eq} = 3.4\times10^{6}$.

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 أحيانًا 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:

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

ويتأثر ثابت الاتزان بدرجة الحرارة، كما هو موضح في **الجدول 7-4**.

جدول 7-4 K_{eq} مقابل درجة الحرارة

1000 K	900 K	800 K	700 K
3.27×10^{45}	4.66×10^{54}	1.04×10^{66}	9.10×10^{97}

85. اكتب تعبير ثابت الاتزان لهذا الاتزان.

86. ادرس العلاقة بين K_{eq} ودرجة الحرارة. استعمل مبدأ لوتشاتلييه لاستنتاج ما إذا كان التفاعل الأمامي ماصًّا أم طاردًا للطاقة.

87. فسر كيف يمكن أن يساعد الراديتر (مبرد السيارة) المطلي بالسبيكة على تقليل تركيز NO و CO في الغلاف الجوي؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. أي مما يأتي يصف نظامًا وصل إلى حالة الاتزان الكيميائي؟

a. لا يوجد ناتج جديد يتكون بفعل التفاعل الأمامي.

b. لا يحدث التفاعل العكسي في النظام.

c. تركيز المتفاعلات في النظام يساوي تركيز النواتج.

d. سرعة حدوث التفاعل الأمامي تساوي سرعة حدوث التفاعل العكسي.

2. يستطيع الطلاب إجراء التفاعل بين أيونات $S_2O_8^{-2}$ وأيونات اليوديد I^- لأنه يسير ببطء كافٍ لقياس سرعته.

$$S_2O_8^{2-}(aq) + 2I^-(aq) \rightarrow 2SO_4^{2-}(aq) + I_{2(aq)}$$

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؟

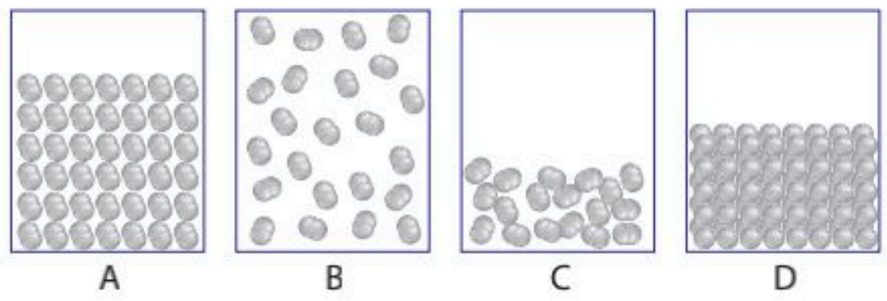
a. $R = k[S_2O_8^{2-}]^2[I^-]$

b. $R = k[S_2O_8^{2-}][I^-]$

c. $R = k[S_2O_8^{2-}][I^-]^2$

d. $R = k[S_2O_8^{2-}]^2[I^-]^2$

استعمل الرسوم الآتية للإجابة عن السؤال 3.



3. أي الرسوم الأربعة يبين المادة التي لها أضعف قوى بين الجزيئات؟

a. A

b. B

c. C

d. D

4. أي أنواع القوى بين الجزيئات ينتج عن عدم توازن مؤقت في الكثافة الإلكترونية حول نواة الذرة؟

a. الروابط الأيونية

b. قوى التشتت

c. قوى ثنائية القطب

d. الروابط الهيدروجينية

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة من 5 إلى 7 .

بيانات التركيز للاتزان الآتي

$MnCO_{3\,(s)} \rightarrow Mn^{2+}_{(aq)} + CO_3^{2-}{}_{(aq)}$ (عند 298 K)

المحاولة	$[Mn^{2+}]$ الابتدائي	$[CO_3^{2-}]$ الابتدائي	$[Mn^{2+}]$ عند الاتزان	$[CO_3^{2-}]$ عند الاتزان
1	0.0000	0.00400	5.60×10^{-9}	4.00×10^{-3}
2	0.0100	0.0000	1.00×10^{-2}	2.24×10^{-9}
3	0.0000	0.0200	1.12×10^{-9}	2.00×10^{-2}

5. ما قيمة K_{sp} لِـ $MnCO_3$ عند درجة حرارة 298K؟

a. 2.24×10^{-11}

b. 4.00×10^{-11}

c. 1.12×10^{-9}

d. 5.60×10^{-9}

6. ما ذائبية $MnCO_3$ عند درجة حرارة 298 K؟

a. $4.73 \times 10^{-6}M$

b. $6.32 \times 10^{-2}M$

c. $7.48 \times 10^{-5}M$

d. $3.35 \times 10^{-5}M$

7. عند خلط 50mL من K_2CO_3 الذي تركيزه $3.00 \times 10^{-6}M$ مع 50 mL من $MnCl_2$، سوف يتكون راسب من $MnCO_3$ فقط عندما يكون تركيز محلول $MnCl_2$ أكبر من:

a. $7.47 \times 10^{-6}M$

b. $1.49 \times 10^{-5}M$

c. $2.99 \times 10^{-5}M$

d. $1.02 \times 10^{-5}M$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

8. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكل اتزان غير متجانس مما يأتي:

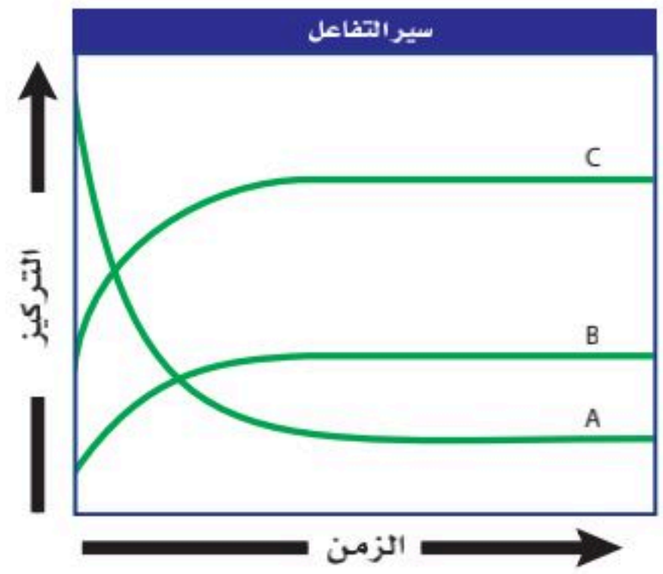
a. $2NaHCO_{3(s)} \rightleftharpoons Na_2CO_{3(s)} + H_2O_{(g)} + CO_{2(g)}$

b. $C_6H_{6(l)} \rightleftharpoons C_6H_{6(g)}$

9. ينتج عن تسخين الحجر الجيري $CaCO_{3(s)}$ الجير الحي $CaO_{(s)}$ 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؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

المصطلحات

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

(أ)

الاتـزان غيـر المتجانس Heterogeneous Equilibrium حالة اتـزان تكون فيها المـواد المتفاعلة والنواتج في حالات فيزيائية مختلفة.

الاتـزان الكيميائـي Chemical Equilibrium حالـة التفاعل التي تكون عندها سـرعتا التفاعل الأمامي والخلفي متساويتان.

الاتـزان المتجانس Homogeneous Equilibrium حالة اتـزان تكون فيها المـواد المتفاعلة والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها.

الأيـون المشـترك Common Ion أيـون مشـترك بين مادتين أيونيتين أو أكثر.

الانتشـار Diffusion انتقال مـادة 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)

تأثيـر الأيـون المشـترك Common Ion Effect انخفاض الذوبانية بسبب وجود أيون مشترك.

التبخـر Vaporization التحـول إلى بخـار عند درجة حرارة الغرفة.

الترسـيب Precipitate تكون مـادة صلبة في أثناء تفاعل كيميائي.

التفاعـل الانعكاسـي Reversible Reaction التفاعـل الكيميائـي الـذي يحـدث فـي كلا الاتجاهيـن الطردي والعكسي.

تآصل (متآصل) Allotrope وجود شكل أو أكثر للعنصر بتراكيب وخصائص مختلفة بالحالة الفيزيائية نفسها: الصلبة أوالسائلة أوالغازية.

التوتـر السـطحي Surface Tension الطاقـة اللازمة لزيادة مساحة سطح السائل بمقدار معين.

التبخر السـطحي Evaporation عملية تحول السـائل إلى بخار عند سطح السائل فقط.

التصـادم المـرن Elastic Collision تصادمات لاتفقد من خلالها الطاقة الحركية بل تنتقل من جسـيم لآخر ولكن يبقى متوسط الطاقة الحركية ثابتًا.

التكاثـف Condensation عمليـة تحـول البخار إلى سائل، وتنطلق في أثناء ذلك الطاقة.

(ث)

ثابـت الاتزان Equilibrium Constant القيمة العددية لنسبة تراكيز المواد الناتجة الى تراكيز المواد المتفاعلة ويرفع كل تركيز الى أس مسـاويًا للمعامل الخاص به في المعادلة الكيميائية الموزونة.

ثابـت حاصـل الذوبانيـة Solubility Product Constant ثابت اتـزان ذوبان مادة أيونية قليلة الذوبان في الماء.

ثابت السرعة Specific Rate Constant قيـمة عددية تـربـط بين تركـيز المتفـاعلات بسرعة التفاعل عند درجة حرارة معينة.

(ج)

الجول Joule الوحدة الدولية لقياس الطاقة والحرارة.

(ح)

الحـرارة Heat أحد أشكال الطاقة التي تنتقل من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الأقل برودة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

حـرارة الاحتـراق Enthalpy of Combustion كمية الحـرارة الناتجة عن احتراق مول واحد مـن المادة احتراقًا كليًا.

حـرارة التكويـن القياسـية Standard Enthalpy of Formation التغيـر في المحتوى الحـراري الذي يرافق تكوين مـول واحد من مركـب في الظروف القياسـية من عناصره في حالته الطبيعية.

الحـرارة المولاريـة للانصهـار Molar Enthalpy (Heat) of Fusion كميـة الحرارة التـي يتطلبها تحويل مول واحد من المادة الصلبة إلى سائل.

الحرارة المولارية للتبخر Molar Enthalpy (Heat) of Vaporization كميـة الحرارة اللازمـة لتحويل مول واحد من المادةالسائلة إلى بخار.

الحـرارة النوعيـة Specific Heat كميـة الحرارة التي يتطلبهـا رفع درجة حـرارة جرامًا واحدًا مـن المادة درجة سليزية واحدة.

(د)

درجـة الانصهـار Melting Point الدرجـة التي يتحول عندها الجسم الصلب إلى سائل.

درجـة الحـرارة Temperature معـدل الطاقة الحركية لجزيئات المادة.

درجـة التجمـد Freezing Point درجـة الحرارة التي يتحول عندها السائل إلى صلب متبلور.

درجـة الغليـان Boiling Point درجـة الحـرارة التي يتسـاوى عندها ضغط بخار السـائل مـع الضغط الجوي الخارجي.

(ر)

الرابطة الهيدروجينيـة Hydrogen Bond رابطة تنشأ بين الجزيئات التي تحتوي ذرات هيدروجين متحدة بذرات ذات كهروسالبية عالية كالنيتروجين والفلور والأكسجين.

رتبة التفاعل Reaction Order تبين كيف تتأثر سـرعة التفاعل بمادة معينة.

(س)

سـرعة التفاعـل الكيميائـي Reaction Rate التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن.

السُـعر Calorie كمية الحـرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء النقي درجة سيليزية واحدة.

(ص)

صلـب غيـر متبلـور Amorphous Solid مـادة صلبة، الجسـيمات فيها غير مرتبة بنمط معين، تتكون أحيانًا عندما تبرد المادة الذائبة بسرعة لتكوين بلورات.

(ض)

الضغط Pressure القوة الواقعة على وحدة المساحة.

الضَّغـطُ الجوِّي Atmospheric Pressure هو الضَّغْطُ النَّاتِجُ عن جُسَيمَات الهواء التي تتحرّك في كل الاتِّجاهات.

ضغـط البخار Vapor Pressure الضغط الناشـيء عن البخار فوق سطح السائل.

(ط)

الطاقة Energy القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.

طاقـة التنشـيط Activation Energy الحد الادنى من الطاقة اللازمة لبدء التفاعل.

وزارة التعـليم
Ministry of Education
2024 - 1446

طاقة الوضع الكيميائية Chemical Potential Energy الطاقة المخزونة في المادة والناتجة 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 عكسيًا 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.

(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 لوتشاتلييه Le Châtelier's Principle عند وقوع قوة خارجة على نظام يقوم ذلك النظام بالاتجاه نحو الطرف الذي يعمل على امتصاص تأثير القوة.

المثبّط Inhibitor مادة تؤدي إلى إبطاء سرعة التفاعل.

المحتوى الحراري Enthalpy المحتوى الحراري للنظام تحت ضغط ثابت.

المحتوى الحراري (أو حرارة) التفاعل Enthalpy (heat) of Reaction كمية الحرارة الممتصة أو المنطلقة في التفاعل الكيميائي.

المحفّز Catalyst مادة كيميائية تضاف إلى التفاعل الكيميائي فتزيد من سرعته دون أن تتأثر كيميائيًّا.

المحيط Surroundings كل شيء في الكون غير النظام.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

المصطلحات

المسعر Calorimeter جهاز معزول حراريًا 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 معًا قصيرة جدًّا 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 يحتوى 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 الضغط الكلي لمزيج من الغازات يساوي مجموع الضغوط الجزئية لكل منها.

النقطة الثلاثية Triple Point نقطة على مخطط الحالة الفيزيائية تمثل الضغط ودرجة الحرارة التي توجد عندها المادة في الحالات الثلاث معًا 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.

نظريَّة الحركة الجُزَيئيَّة The Kinetic–Molecular Theory النظريَّة التي تَصِفُ سلوك المادَّة بالاعتماد على حركة جُسَيمَاتِها.

(و)

وحدة البناء Unit Cell أصغر ترتيب للذرات في الشبكة البلورية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

جداول مرجعية

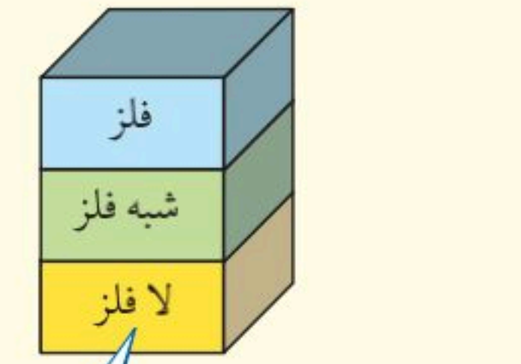
جداول مرجعية

قيم حرارة التكوين لبعض المواد

ΔH_f° (kJ/mol) (تراكيز المحاليل المائية لهذه المواد يساوي 1M)

المادة	ΔH_f°	المادة	ΔH_f°	المادة	ΔH_f°	المادة	ΔH_f°
Ag(s)	0	CsCl(s)	−443.0	H_3PO_4(aq)	−1271.7	NaBr(s)	−361.1
AgCl(s)	−127.0	Cs_2SO_4(s)	−1443.0	H_2S(g)	−20.6	NaCl(s)	−411.2
AgCN(s)	146.0	CuI(s)	−67.8	H_2SO_3(aq)	−608.8	$NaHCO_3$(s)	−950.8
Al_2O_3	−1675.7	CuS(s)	−53.1	H_2SO_4(aq)	−814.0	$NaNO_3$(s)	−467.9
$BaCl_2$(aq)	−855.0	Cu_2S(s)	−79.5	$HgCl_2$(s)	−224.3	NaOH(s)	−425.8
$BaSO_4$	−1473.2	$CuSO_4$(s)	−771.4	Hg_2Cl_2(s)	−265.4	Na_2CO_3(s)	−1130.7
BeO(s)	−609.4	F_2(g)	0	Hg_2SO_4(s)	−743.1	Na_2S(s)	−364.8
$BiCl_3$(s)	−379.1	$FeCl_3$(s)	−399.49	I_2(s)	0	Na_2SO_4(s)	−1387.1
Bi_2S_3(s)	−143.1	FeO(s)	−272.0	K(s)	0	NH_4Cl(s)	−314.4
Br_2	0	FeS(s)	−100.0	KBr(s)	−393.8	O_2(g)	0
CCl_4(l)	−128.2	Fe_2O_3(s)	−824.2	$KMnO_4$(s)	−837.2	P_4O_6(s)	−1640.1
CH_4(g)	−74.6	Fe_3O_4(s)	−1118.4	KOH	−424.6	P_4O_{10}(s)	−2984.0
C_2H_2(g)	227.4	H(g)	218.0	LiBr(s)	−351.2	$PbBr_2$(s)	−278.7
C_2H_4(g)	52.4	H_2(g)	0	LiOH(s)	−487.5	$PbCl_2$(s)	−359.4
C_2H_6(g)	−84.0	HBr(g)	−36.3	Mn(s)	0	SF_6(g)	−1220.5
CO(g)	−110.5	HCl(g)	−92.3	$MnCl_2$(aq)	−555.0	SO_2(g)	−296.8
CO_2(g)	−393.5	HCl(aq)	−167.159	$Mn(NO_3)_2$(aq)	−635.5	SO_3(g)	−454.5
CS_2(l)	89.0	HCN(aq)	108.9	MnO_2(s)	−520.0	SrO(s)	−592.0
Ca(s)	0	HCHO	−108.6	MnS(s)	−214.2	TiO_2(s)	−944.0
$CaCO_3$(s)	−1206.9	HCOOH	−425.0	N_2(g)	0	TlI(s)	−123.8
CaO(s)	−634.9	HF(g)	−273.3	NH_3(g)	−45.9	UCl_4(s)	−1019.2
$Ca(OH)_2$(s)	−985.2	HI(g)	26.5	NH_4Br(s)	−270.8	UCl_6(s)	−1092.0
Cl_2(g)	0	H_2O(l)	−285.8	NO(g)	91.3	Zn(s)	0
Co_3O_4(s)	−891.0	H_2O(g)	−241.8	NO_2(g)	33.2	$ZnCl_2$(aq)	−415.1
CoO(s)	−237.9	H_2O_2(l)	−187.8	N_2O(g)	81.6	ZnO(s)	−350.5
Cr_2O_3(s)	−1139.7	H_3PO_2(l)	−595.4	Na(s)	0	$ZnSO_4$(s)	−982.8

الجدول الدوري للعناصر



يدل لون صندوق كل عنصر على ما إذا كان فلزًّا أو شبه فلز أو لافلزًّا.

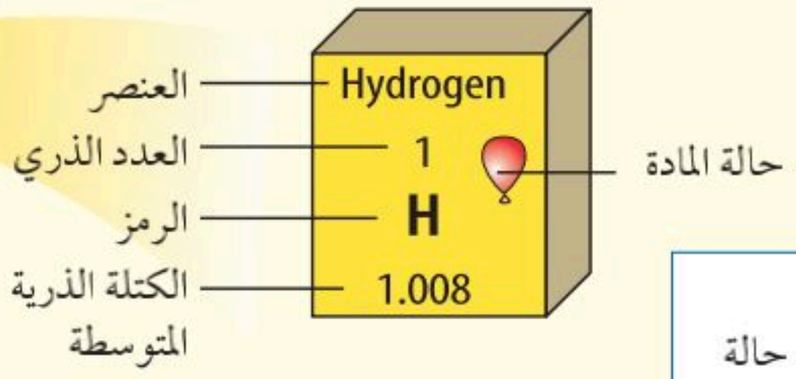
10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (269)	Roentgenium 111 Rg (272)	Copernicium 112 Cn 285.177	Nihonium 113 Nh 286.183	Flerovium 114 Fl 289.191	Moscovium 115 Mc 290.196	Livermorium 116 Lv 293.205	Tennessine 117 Ts 294.211	Oganesson 118 Og 294.214

Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2024 - 1446

جداول مرجعية

العناصر في كل عمود تسمى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.



الرمـوز الثلاثة العليا تـدل على حالة العنصر في درجة حـرارة الغرفة، بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنّعة.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Hydrogen 1 H 1.008								
2	Lithium 3 Li 6.941	Beryllium 4 Be 9.012							
3	Sodium 11 Na 22.990	Magnesium 12 Mg 24.305							
4	Potassium 19 K 39.098	Calcium 20 Ca 40.078	Scandium 21 Sc 44.956	Titanium 22 Ti 47.867	Vanadium 23 V 50.942	Chromium 24 Cr 51.996	Manganese 25 Mn 54.938	Iron 26 Fe 55.845	Cobalt 27 Co 58.933
5	Rubidium 37 Rb 85.468	Strontium 38 Sr 87.62	Yttrium 39 Y 88.906	Zirconium 40 Zr 91.224	Niobium 41 Nb 92.906	Molybdenum 42 Mo 95.94	Technetium 43 Tc (98)	Ruthenium 44 Ru 101.07	Rhodium 45 Rh 102.906
6	Cesium 55 Cs 132.905	Barium 56 Ba 137.327	Lanthanum 57 La 138.906	Hafnium 72 Hf 178.49	Tantalum 73 Ta 180.948	Tungsten 74 W 183.84	Rhenium 75 Re 186.207	Osmium 76 Os 190.23	Iridium 77 Ir 192.217
7	Francium 87 Fr (223)	Radium 88 Ra (226)	Actinium 89 Ac (227)	Rutherfordium 104 Rf (261)	Dubnium 105 Db (262)	Seaborgium 106 Sg (266)	Bohrium 107 Bh (264)	Hassium 108 Hs (277)	Meitnerium 109 Mt (268)

صفوف العناصر الأفقية تسمى دورات. يزداد العـدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.

الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمرًا للعنصر.

سلسلة اللانثانيدات	Cerium 58 Ce 140.116	Praseodymium 59 Pr 140.908	Neodymium 60 Nd 144.24	Promethium 61 Pm (145)	Samarium 62 Sm 150.36
سلسلة الأكتنيدات	Thorium 90 Th 232.038	Protactinium 91 Pa 231.036	Uranium 92 U 238.029	Neptunium 93 Np (237)	Plutonium 94 Pu (244)

يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيرًا للمكان.