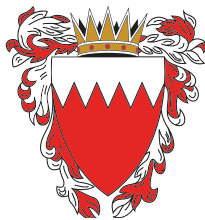


KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education



مملكة البحرين

وزارة التربية والتعليم

كيم 214 / كيم 216

الكيمياء 3

للمرحلة الثانوية



2030
البحرين
BAHRAIN

كيم 214 / كيم 216

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد هذا الكتاب لتدريس الكيمياء 3 بمدارسها الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الكيمياء 3

للمرحلة الثانوية



الطبعة الثالثة

1444هـ - 2022م

العبيكان
Obekan

منهاجي
متعة التعليم المادف



Mc
Graw
Hill Education

المراجعة و التطوير لهذه الطبعة
فريق متخصص من وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين

www.macmillanmh.com

 **Education**

 **العبيكان
Obeikan**

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

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل ©، ٢٠٠٨م.

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

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

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



حَضْرَةُ صَاحِبِ الْجَلَالِ الْمَلِكِ حَمِيدِ بْنِ عَبْدِ عِيسَى الْخَلِيفَةِ
مَلِكِ مَمْلَكَتِنَا الْبَحْرَيْنِ الْمَعْظَمَةِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

المقدمة

يأتي اهتمام مملكة البحرين بتطوير مناهج التعليم وتحديثها في إطار الخطة العامة للمملكة، وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الأصعدة.

ويأتي كتاب "الكيمياء 3" للمرحلة الثانوية في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم وتعلم تلك المادتين، يكون للطالب فيها الدور الرئيس والمحوري في عمليتي التعليم والتعلم.

وقد جاءت هذه الطبعة من الكتاب "الكيمياء 3" في إطار التطوير المستمر لمنهج الكيمياء في المرحلة الثانوية في خمسة فصول، هي: التجاذب بين الجزيئات وقوانين الغازات، والمحاليل، والطاقة والتغيرات الكيميائية، وسرعة التفاعلات الكيميائية، والاتزان الكيميائي.

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

كما أكدت فلسفة الكتاب أهمية إكساب الطالب المنهجية العلمية في التفكير والعمل، وتزويده بمهارات عقلية وعملية ضرورية، منها: الأنشطة الاستهلاكية، والتجارب العلمية الأخرى، والإثراء العلمي، تهتم قضايا عدة مثل قضايا البيئة المحلية والعالمية والتنمية المستدامة والذكاء الاصطناعي والنانوتكنولوجيا بالإضافة إلى حرصها على ربط المعرفة مع واقع حياة الطالب، من خلال ربطها مع الرياضيات، وفروع العلم الأخرى، والتقنية والمجتمع.

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

قائمة المحتويات

الفصل 4

- 104 سرعة التفاعلات الكيميائية
- 106 4-1 نموذج لسرعة التفاعلات الكيميائية
- 113 4-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل
- 118 4-3 قوانين سرعة التفاعل
- الكيمياء والصحة: سرعة التفاعل ودرجة حرارة الجسم 122

الفصل 5

- 130 الاتزان الكيميائي
- 132 5-1 حالة الاتزان الديناميكي
- 145 5-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي
- 152 5-3 استعمال ثوابت الاتزان
- الكيمياء والصحة: ارتفاع الهيموجلوبين إلى مستوى التحدي 163
- المصطلحات 174
- جداول مرجعية 180

الفصل 1

- التجاذب بين الجزيئات وقوانين الغازات 8
- 1-1 الغازات 10
- 1-2 قوى التجاذب 17
- 1-3 قانون الغاز المثالي 21
- الكيمياء والصحة: الصحة والضغط 30

الفصل 2

- المحاليل 40
- 2-1 تركيز المحاليل 42
- 2-2 العوامل المؤثرة في الذوبان 53
- 2-3 الخواص الجامعة للمحاليل 62
- في الميدان: مهن كيميائي البيئة 69

الفصل 3

- الطاقة والتغيرات الكيميائية 78
- 3-1 المعادلات الكيميائية الحرارية 80
- 3-2 حساب التغير في المحتوى الحراري 89
- كيف تعمل الاشياء : المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود 97

التجاذب بين الجزيئات وقوانين الغازات

Attraction between Molecules and the Gas Laws

الفكرة العامة تفسر نظرية الحركة الجزيئية الخواص المختلفة للمواد الصلبة والسائلة والغازية؛ فالغازات مثلًا تستجيب لتغيرات كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم وعدد الجسيمات بطرائق يمكن التنبؤ بها.

1-1 الغازات

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

1-2 قوى التجاذب

الفكرة الرئيسية تحدّد قوى التجاذب بين الجزيئية - ومنها قوة التشتت والقوى الثنائية القطب، والرابطة الهيدروجينية - حالة المادة عند درجة حرارة معينة.

1-3 قانون الغاز المثالي

الفكرة الرئيسية يربط قانون الغاز المثالي عدد الجسيمات مع كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم.

حقائق كيميائية

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



سقالة المنطاد

شعلة الهيدروجين



نشاط استهلالي

كيف تؤثر درجة الحرارة في حجم الغاز؟

تعمل شعلة المنطاد - على رفع درجة حرارة الهواء داخله ليبقى في الهواء.



خطوات العمل

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

تحليل النتائج

1. صف ما حدث لحجم البالون عندما انخفضت درجة حرارته.
 2. توقع ما يحدث لحجم البالون لو كان الدلو يحتوي ماءً ساخناً.
- استقصاء** ماذا يحدث إذا ملأت البالون بالهيليوم بدلاً من الهواء، وأجريت التجربة مرة أخرى؟

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يتوقع من الطالب أن يكون قادراً على:

- استقصاء وحل المشكلات المتعلقة بتحولات المادة وخواص الغازات حسب نظرية الحركة الجزيئية.
- توظيف المفاهيم والمعادلات والعلاقات في تطبيقات علمية تتعلق بتحولات المادة وخواص الغازات.
- توضيح المفاهيم المتعلقة بأنواع المختلفة من القوى بين الجزيئية.
- الربط بين القوى بين الجزيئية وحالة المادة.
- إجراء حسابات كيميائية تتعلق بضغط الغازات.
- تطبيق قوانين الغازات لحساب الحجم، والضغط، ودرجة الحرارة، وعدد المولات عند تغير واحد أو أكثر من هذه المتغيرات.
- مقارنة بين خواص الغازات الحقيقية والغازات المثالية.
- تفسير البيانات المستقاة من الاستقصاءات باستخدام الحسابات والرسومات والنماذج وتكنولوجيا الحاسوب.

كيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل وأنشطته ارجع إلى الموقع الإلكتروني لوزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين:

www.moe.gov.bh

تساؤلات جوهرية:

- كيف تستعمل نظرية الحركة الجزيئية لتفسير سلوك الغازات؟
- كيف تفسر قياس ضغط الغاز وحساب الضغط الجزيئي له؟

مراجعة المفردات

الطاقة الحركية: الطاقة الناشئة عن الحركة.

المفردات الجديدة

نظرية الحركة الجزيئية

التصادم المرن

درجة الحرارة

الضغط

الباسكال

الضغط الجوي

قانون دالتون للضغوط الجزئية

الغازات Gases

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

الربط مع الحياة إذا نمت على مرتبة فيها هواء مضغوط فلا بد أنك ستلاحظ الفرق بينها وبين النوم على الأرض! ولا بد أنك ستشعر بالدفع والراحة باستعمالك المرتبة التي اكتسبت خواصها من خواص جسيمات الهواء التي ضُغِطت داخلها.

نظرية الحركة الجزيئية The Kinetic-Molecular Theory

لقد تعلمت أن البنية (نوع الذرات المكونة) والتركيب (ترتيب الذرات) يحددان الخواص الكيميائية للمادة، كما أنهما يؤثران في خواصها الفيزيائية أيضًا. وبالاعتماد على المظهر الخارجي للمادة يمكنك التمييز بين الذهب والجرافيت والزئبق، كما هو موضح في الشكل 1-1. وبالمقارنة تبدي المواد الغازية عند درجة حرارة الغرفة خواص متشابهة على الرغم من اختلاف بنيتها، فلماذا يوجد اختلافات يسيرة بين سلوك الغازات؟ ولماذا تختلف الخواص الفيزيائية للغازات عن خواص المواد السائلة والصلبة؟

لقد عرف العلماء مع بداية القرن الثامن عشر كيف يمكن جمع النواتج الغازية عن طريق إحلالها مكان الماء، ولكنهم يستطيعون الآن مراقبة كل غاز، وقياس خواصه على حدة. اقترح الكيميائيان لدفيغ بولتزمان وماكسويل Boltzman and Maxwell عام 1860م - كل منهما على حدة - نموذجًا لتفسير خواص الغازات. وقد عُرف هذا النموذج بنظرية الحركة الجزيئية؛ وذلك لأن الغازات جميعها بالنسبة لبولتزمان وماكسويل تتكون من جزيئات.

حيث للأجسام المتحركة طاقة تدعى الطاقة الحركية. وتصف نظرية الحركة الجزيئية سلوك المادة بالاعتماد على حركة الجسيمات. ولقد وضع هذا النموذج عدة افتراضات حول مقدار حجم جسيمات الغاز وحركتها وطاقتها.



الزئبق

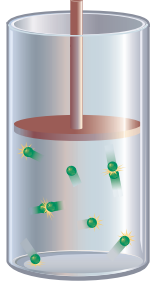
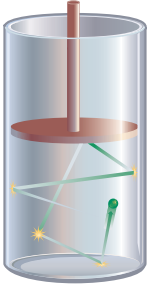


الجرافيت



الذهب

الشكل 1-1 يمكن تمييز بعض المواد بالنظر إليها، ولكن هذا لا ينطبق على الكثير من الغازات.



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

فسر الأثر الذي تحدثه جسيمات الغاز بعضها في بعض أثناء التصادمات، وما يحدث للجسيمات فيما بعد هذه التصادمات؟

حجم الجسيمات تتكون الغازات من جسيمات متباعدة عن بعضها البعض مسافات كبيرة مقارنة بحجمها، (إذا اعتبرنا مثلاً أن ذرة الأرجون Ar بحجم كرة التنس، فإن المسافة التي تفصلها عن ذرة أخرى تساوي 1.2m). حسابياً تقترب نسبة حجم الجسيمات إلى الحجم الكلي للغاز من 0.01% وبسبب هذا التباعد بين الجسيمات تنعدم قوى التجاذب والتنافر بينها، ولهذا السبب أيضاً تنضغط وتمدد كل الغازات.

حركة الجسيمات إن حركة جسيمات الغاز دائمة ومستمرة وعشوائية، وتتحرك في خط مستقيم حتى تصطدم بجسيمات أخرى أو بجدار الوعاء الموجودة فيه، كما في الشكل 1-2. وتعتبر التصادمات بين جزيئات الغاز مرنة، وفي **التصادم المرن** لا تُفقد الطاقة الحركية، ولكنها تنتقل بين الجسيمات المتصادمة بحيث تبقى الطاقة الحركية الإجمالية ثابتة.

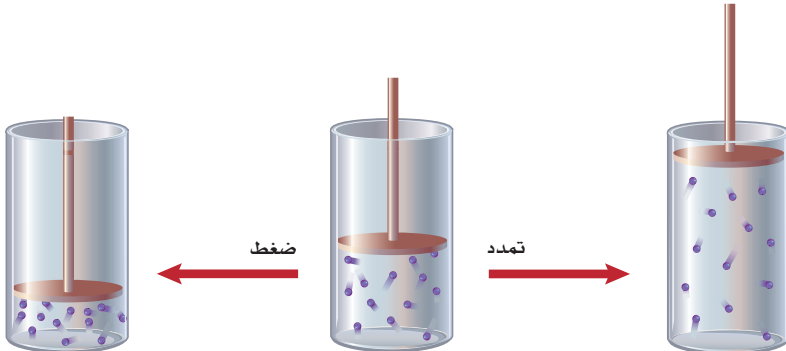
طاقة الجسيمات هناك عاملان يحددان الطاقة الحركية للجسيم، هما كتلة الجسيم وسرعته، وتساوي الطاقة الحركية لجسم كتلته m وسرعته v القيمة: $K.E = \frac{1}{2} m v^2$ ، ولجميع جسيمات عينة غاز ما الكتلة نفسها، إلا أنه ليس لها نفس السرعة المتجهة. وبناء على ذلك ليس للجسيمات نفس كمية الطاقة الحركية. وفي علاقة بالطاقة الحركية تعتبر **درجة الحرارة** مقياساً لمتوسط الطاقة الحركية لجسيمات المادة يعني أن درجة حرارة عيّنة من مادة ما، تتناسب طردياً مع الطاقة الحركية للجسيمات المكونة لها.

تفسير سلوك الغازات

Explaining the Behavior of Gases

تساعد نظرية الحركة الجزيئية على تفسير سلوك الغازات؛ إذ تسمح مثلاً بحركة جسيمات الغاز الدائمة للغاز بالتمدد؛ حتى يملأ الوعاء الموجود فيه تماماً، كما يحدث عند ملء كرة بالهواء، وعند نفخ بالون بالهواء، حيث تنتشر جسيمات الغاز وتوزع لتملأ المكان كله.

الانضغاط والتمدد إذا عصرت وسادة من البولسترين بالضغط عليها فإن حجمها يقل؛ وذلك لأن قطع البولسترين تحتوي على فراغات كبيرة مملوءة بالهواء. وتسمح الفراغات بين جسيمات الهواء الذي يملأ فراغات البولسترين بانضغاط الهواء. وعند التوقف عن الضغط تعمل حركة جسيمات الهواء العشوائية على ملء الفراغات مرة أخرى، فتعود الوسادة إلى وضعها السابق. ويوضح الشكل 1-3 ما يحدث لكثافة الغاز الموجود في وعاء في أثناء انضغاطه وتمده.



الشكل 1-3 إن تمدد الغاز وانضغاطه في وعاء مغلق يغير الحجم الذي تشغله كتلة ثابتة من الجسيمات. **اربط** بين التغير في حجم الغاز وكثافة جسيماته في كل أسطوانة.



قوة كبيرة على وحدة المساحة



قوة صغيرة على وحدة المساحة

الشكل 1-4 تعمل الأحذية ذات الكعب العالي على زيادة الضغط الواقع على السطح؛ لأن مساحة الكعب الملاصقة 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 أحدهم يحاول المشي على الثلج أو الوحل أو على الأسفلت الساخن وهو ينتعل حذاءً له كعب عالٍ؟ من المحتمل أن تكون قد لاحظت غوص الكعب العالي في تلك السطوح اللينة. يوضح الشكل 1-4 سبب غوص قدم من ينتعل كعباً عالياً، بينما لا يكون الأمر كذلك لمن ينتعل نعلًا مسطحًا. 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. وبهذا يعرف **الضغط** بأنه القوة الواقعة على وحدة المساحة. فمساحة قاعدة الحذاء المسطح النعل أكبر من مساحة قاعدة الكعب العالي، ولذلك يكون الضغط الواقع من الحذاء المسطح النعل على السطوح اللينة أقل من ضغط الحذاء ذي الكعب العالي.

تحدث جسيمات الغاز ضغطًا عندما تصطدم بجدران الوعاء المحصورة فيه. ولأن كتلة جزيء الغاز صغيرة فإن الضغط الذي تبذله هذه الكتلة صغير أيضًا. وعلى أي حال فإن الوعاء الذي سعته لتر يمكن أن يستوعب 1×10^{22} من جزيئات الغاز. وبهذا العدد من الجزيئات المحصورة معًا داخل الوعاء يكون الضغط الناشئ عن اصطدامها بالجدر كبيرًا.

ضغط الهواء يحيط بالكرة الأرضية طبقة الغلاف الجوي التي تمتد مئات الكيلومترات نحو الفضاء. ولما كانت جسيمات الهواء تتحرك في كل اتجاه فإنها تُحدث 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 تكون جسيمات الهواء كثيرة وقريبة من سطح الأرض، بينما تقل كلما ارتفعنا إلى أعلى؛ حيث يقل تأثير الجاذبية الأرضية هناك. ويكون عدد جسيمات الهواء فوق المرتفعات العالية أقل، مسببًا ضغطًا أقل من ضغط الأماكن المنخفضة، حيث يكون تركيز جسيمات الهواء فيها أكبر. ولذلك فإن ضغط الهواء في الأماكن المرتفعة أقل مما هو عند مستوى سطح البحر. ويبلغ الضغط الجوي عند سطح البحر كيلوجرامًا لكل سنتيمتر مربع تقريبًا. 1 kg/cm^2

الكيمياء الخضراء



قضايا بيئية

تقنية نووية للحد من انبعاث غازات الدفيئة: تُسهم غازات الدفيئة مثل أول أكسيد ثنائي النيتروجين (N_2O) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4)، في تغيير المناخ وارتفاع حرارة الأرض. ويعمل علماء الكيمياء النووية والبيئة حاليًا على الحد من انبعاث أول أكسيد ثنائي النيتروجين، وهو غاز تبلغ قدرته على إحداث الاحتباس الحراري 300 ضعف قدرة ثاني أكسيد الكربون، وينتج عن استخدام الأسمدة الكيميائية والعضوية والمبيدات. توفّر التقنيات النووية مزايا كبيرة مقارنة بالتقنيات التقليدية فيما يتعلق بقياس أثر تغيير المناخ. وباستخدام التقنية القائمة على نظير النيتروجين-15، يمكن للعلماء أن يحدّدوا مصادر إنتاج N_2O ، وهو أمر مهمٌّ لإيجاد سبل للحدّ من انبعاث الغاز. كما تستخدم تقنية النظائر المستقرة القائمة على الكربون-13 المتوفرة طبيعيًا في البيئة.

مقارنة بين وحدات قياس الضغط		الجدول 1-1
القيمة المساوية لـ 1 atm	الوحدة	
101.3 kPa	الكيلو باسكال kPa	
—	الضغط الجوي atm	
760 mm Hg	الملمتر زئبق mm Hg	
760 torr	التور torr	
14.7 psi	الرطل / بوصة مربعة psi or lb/in ²	
1.01 bar	البار bar	

وحدات قياس الضغط إن وحدة قياس الضغط العالمية (SI) هي باسكال Pascal نسبة إلى العالم الرياضي والفيلسوف الفرنسي بليز باسكال (1923-1962). وقد اشتقت وحدة باسكال Blaise Pascal من وحدة قياس القوة العالمية نيوتن (N). وتساوي وحدة باسكال مقدار قوة واحد نيوتن لكل متر مربع ($1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$). وما زالت مجالات كثيرة من العلوم تستخدم الوحدات التقليدية لقياس الضغط. فعلى سبيل المثال، يسجل المهندسون الضغط على أنه عدد الأرتال لكل بوصة (psi)، ويسجل الضغط المقاس باستعمال البارومترات أو المانومترات بالمليمترات زئبق (mmHg) وهناك وحدتان أخريان تعرف إحداهما تور (torr) والأخرى بار (bar).

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

مختبر تحليل البيانات

3. **حلل** تستعمل 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 الأرض.

معامل تصحيح الغطس العميق		
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

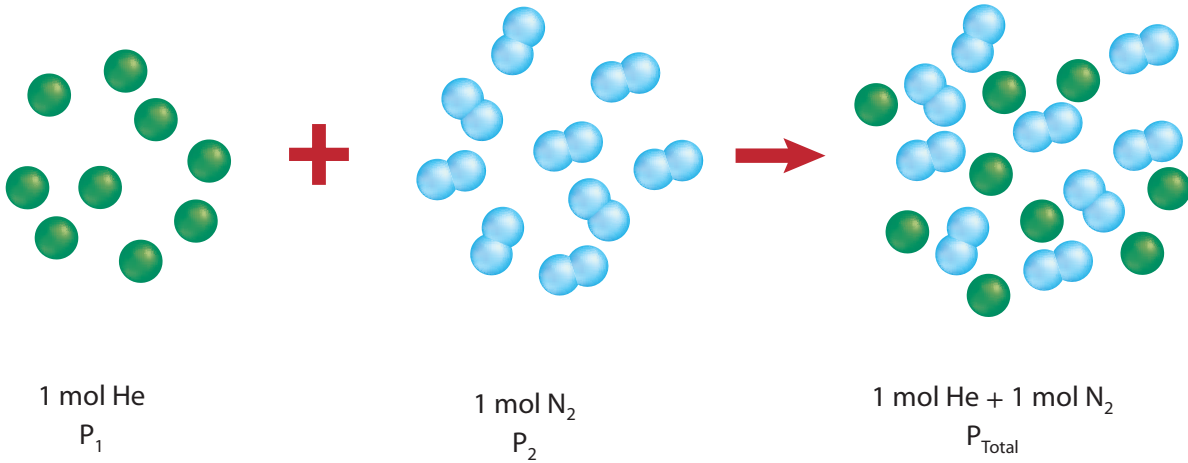
* أخذت البيانات من Swatzky D 2000. الغوص على المرتفعات، الجزء الأول. مجلة الغطاس يونيو 2000.

عمل الرسوم البيانية واستعمالها.

ما العلاقة بين عمق الغطس والارتفاع عن سطح البحر؟ يغوص معظم الغطاسين في مواقع تقع على مستوى سطح البحر أو قريبة منه، ومع ذلك فإن الغطاسين في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا يغوصون في مناطق مرتفعة عن سطح البحر.

التفكير الناقد

1. **قارن** استعمال البيانات الواردة في الجدول لعمل رسم بياني للضغط الجوي مقابل الارتفاع.
2. **احسب** عمق غطسك الحقيقي إذا كان يشير مقياس العمق إلى 18m ولكنتك على خط طول 1800m، علماً بأن مقياس العمق لا يعوّض فرق هذا الارتفاع؟



الشكل 1-5 ماذا يحدث عندما يجتمع 1 mol من الهيليوم مع 1 mol من النيتروجين في وعاء مغلق؟ بما أنه لم يحدث تغيير في كل من حجم الغازين وعدد جسيماتهما فإن الضغط الكلي يكون مساوياً لمجموع الضغط الجزئي لكل منهما.

قانون دالتون للضغط الجزئية وجد دالتون Dalton في أثناء دراسته لخواص الغازات أن لكل غاز في خليط من الغازات ضغطاً خاصاً به. ويوضح الشكل 1-5 قانون دالتون للضغط الجزئية، وينص على أن الضغط الكلي لخليط من الغاز يساوي مجموع الضغوط الجزئية للغازات المكونة للخليط. يسمى جزء الضغط الكلي الذي يساهم به غاز واحد الضغط 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 للضغط الجزئية للغازات

P_{Total} تمثل مجموع الضغوط (الضغط الكلي)

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

P_1 و P_2 و P_3 تمثل الضغوط الجزئية لكل غاز

وحتى الضغط الجزئي لأي غاز في الخليط P_n

لحساب الضغط الكلي لخليط الغازات أضف الضغوط الجزئية لكل الغازات معاً.

انظر إلى الشكل 1-5. ماذا يحدث عندما يتحد 1 mol من الهيليوم مع 1 mol من النيتروجين في وعاء مغلق؟ بما أنه لم يتغير أي من حجم الغازين أو عدد جسيماتهما فسيكون الضغط الكلي مساوياً لمجموع الضغوط الجزئية لهما.

الضغط الجزئي للغاز إذا كان الضغط الكلي لخليط من الغازات مكوناً من الأكسجين O_2 وثاني أكسيد الكربون CO_2 والنيتروجين N_2 ويساوي 0.97 atm ، فاحسب الضغط الجزئي للأكسجين، علماً 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 استعمل المعادلة التي تربط بين الضغوط الجزئية والضغط الكلي.

المطلوب
 $P_{O_2} = ? \text{ atm}$

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

2 حساب المطلوب

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

اكتب قانون دالتون للضغوط الجزئية

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

حل لإيجاد P_{O_2}

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

$$P_{N_2} = 0.12 \text{ atm}, P_{CO_2} = 0.70 \text{ atm}$$

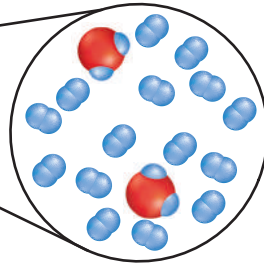
$$P_{\text{total}} = 0.97 \text{ atm}$$

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

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

مسائل تدريبية

- احسب الضغط الجوي لغاز الهيدروجين في خليط من غاز الهيليوم والهيدروجين، علماً بأن الضغط الكلي 600 mmHg والضغط الجزئي للهيليوم يساوي 439 mmHg .
- أوجد الضغط الكلي لخليط غاز مكون من أربعة غازات بضغط جزئية على النحو الآتي: 5.00 kPa و 4.56 kPa و 3.02 kPa و 1.20 kPa .
- أوجد الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون في خليط من الغازات، علماً بأن ضغط الغازات الكلي يساوي 30.4 kPa والضغط الجزئية للغازين الآخرين هما 16.5 kPa و 3.7 kPa .
- تحدد 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؟



الشكل 1-6 يتفاعل حمض الكبريتيك H_2SO_4 مع الخارصين Zn لإنتاج غاز الهيدروجين الذي يتم جمعه عند درجة حرارة $20^\circ C$.

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

استعمال قانون دالتون تستعمل الضغوط الجزئية للغازات لتحديد كمية الغاز الناتجة عن التفاعل، حيث يُجمع الغاز الناتج في وعاء ماء منكس، كما هو موضح في الشكل 1-6، فيحل الغاز محل الماء ويكون الغاز الناتج مزيجاً من غازي الهيدروجين وبخار الماء. وبهذا يكون الضغط الكلي داخل الوعاء يساوي مجموع الضغطين الجزئيين لكل من الهيدروجين وبخار الماء.

ترتبط الضغوط الجزئية للغازات عند درجة الحرارة نفسها بتراكيز هذه الغازات. فالضغط الجزئي لبخار الماء له قيمة ثابتة عند درجة حرارة معينة. فالضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة حرارة $20^\circ C$ هو 2.3 kPa . ويمكنك حساب الضغط الجزئي لغاز الهيدروجين بطرح الضغط الجزئي لبخار الماء من الضغط الكلي.

وستعرف لاحقاً أنك إذا عرفت ضغط غاز ما وحجمه ودرجة حرارته استطعت حساب عدد مولاته.



المختبر الافتراضي

استخدم خزانة المواد في المختبر الافتراضي لقياس الضغوط الجزئية لخليط من الغازات

تقويم الدرس 1-1

الخلاصة

5. **الفكرة الرئيسية** فسر سبب استعمال نظرية الحركة الجزيئية لتفسير سلوك الغازات.
6. فسر كيف يمكن قياس ضغط الغاز.
7. فسر لماذا ينكس وعاء الماء عند جمع الغاز بإحلاله محل الماء.
8. احسب الضغط الجزئي لأحد الغازين المحصورين في وعاء، إذا علمت أن الضغط الكلي 1.20 atm والضغط الجزئي لأحدهما هو 0.75 atm .

تساؤلات جوهرية

ما المقصود بالقوى بين الجزيئية؟

كيف تتم مقارنة القوى بين الجزيئية وفيما تتباين؟

مراجعة المفردات

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

المفردات الجديدة

قوى التشتت

قوى ثنائية القطب

الروابط الهيدروجينية

قوى التجاذب Forces of Attraction

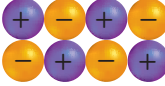

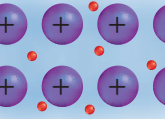
الفكرة الرئيسية تحدد قوى التجاذب بين الجزيئية - ومنها قوى التشتت والثنائية القطب والروابط الهيدروجينية - حالة المادة عند درجة حرارة معينة.

الربط مع الحياة تعلم أن الماء أحد المواد النادرة التي توجد في صورة صلب أو سائل أو غاز في الظروف العادية. وهذه الخاصية الفريدة - بالإضافة إلى الخواص الأخرى التي أودعها الخالق عز وجل به - تجعله أساس هذه الحياة.

القوى بين الجزيئية Intermolecular Forces

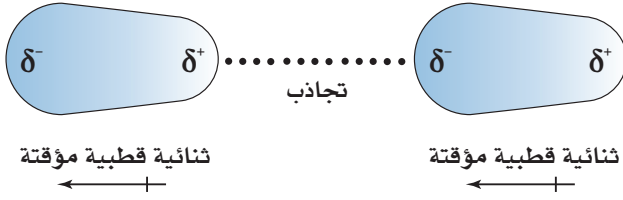
لو كان لجسيمات المادة جميعها عند درجة حرارة الغرفة متوسط الطاقة الحركية نفسه، فما سبب وجود مواد غازية وأخرى صلبة أو سائلة؟ تكمن الإجابة عن هذا التساؤل في قوى التجاذب في الجسيمات نفسها، وفيما بينها. وتسمى قوى التجاذب التي تربط بين جسيمات المادة بروابط أيونية وتساهمية وفلزية بقوى الترابط الجزيئية (intramolecular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

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

قوى التجاذب الجزيئية			الجدول 1-2
نوع الرابطة	النموذج	أسباب التجاذب	مثال
أيونية		الشحنات السالبة والموجبة.	NaCl
تساهمية		النواة الموجبة والإلكترونات المشتركة.	H ₂
فلزية		الأيونات الفلزية الموجبة والإلكترونات المتحركة.	Fe

الشكل 1-7 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 $\delta+$ و $\delta-$ الموجودتان على ثنائية القطب المؤقتة؟



قوى التشتت تذكر أن جزيئات الأكسجين غير قطبية؛ لأن إلكتروناتها متوزعة بالتساوي بين ذرتي أكسجين ذات الكهر وسالبة 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**، وتنتج هذه القوى الضعيفة عن إزاحة مؤقتة في كثافة الإلكترونات في السحب الإلكترونية، وتعرف قوى التشتت أحياناً بقوى لندن؛ نسبة إلى الفيزيائي فريتز لندن F. London الذي كان أول من وصف هذه القوى.

تذكر أيضاً أن حركة الإلكترونات دائمة داخل السحابة الإلكترونية. وعندما يقترب جزيئان أحدهما من الآخر - ولا سيما عند تصادمهما - فإن السحابة الإلكترونية لأحدهما تتنافر مع السحابة الإلكترونية للجزيء الآخر، فتصبح كثافة الإلكترونات حول كل نواة - ولو لحظة - أكبر في جهة عن الأخرى لكل سحابة إلكترونية، فيكون 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 1-7.

ماذا قرأت؟ فسر سبب تكون قوى التشتت.

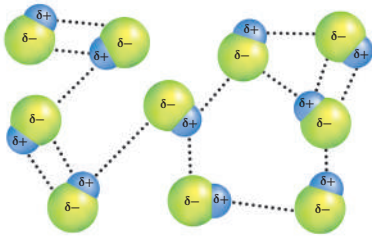
تنشأ قوى التشتت بين الجسيمات كافة، ولكنها قوى ضعيفة بالنسبة إلى الجسيمات الصغيرة، ويزداد تأثيرها مع ازدياد عدد الإلكترونات الموجودة. لذلك كلما زاد حجم الجسيم تصبح قوى التشتت أكثر قوة. توجد مثلاً عناصر الفلور والكلور والبروم واليود في صورة جزيئات ثنائية الذرة. تذكر أن عدد الإلكترونات في المدار قبل الأخير تزداد كلما اتجهت من الفلور نحو اليود مروراً بالكلور والبروم. وكلما كان حجم جزيء الهالوجين كبيراً تكوّن فرق كبير بين المناطق الموجبة والسالبة في ثنائيته القطبية المؤقتة، والتي ينتج عنها قوى تشتت كبيرة.

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

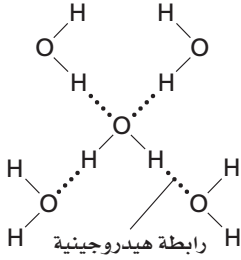
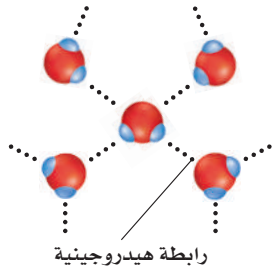
ماذا قرأت؟ توقع الحالة الفيزيائية لعنصر الأستاتين At عند درجة حرارة الغرفة، مبيّنًا سبب ذلك.

قوى ثنائية القطب تحتوي الجزيئات القطبية على ثنائية قطبية دائمة، أي أن بعض المناطق في الجزيء القطبي تكون سالبة جزئياً دائماً، وبعضها الآخر يكون موجباً جزئياً دائماً، مما يخلق تجاذباً بين هاتين المنطقتين المختلفتي الشحنة، وهذا ما يسمى **قوى ثنائية القطب**.

أما الجزيئات القطبية المجاورة فتوجه نفسها، بحيث تصطف الشحنات المتعاكسة معاً.



الشكل 1-8 توجّه الجزيئات القطبية المجاورة نفسها، بحيث تصطف الشحنات المتعاكسة معاً. **حدّد** أنواع القوى الممثلة في الشكل.






الشكل 1-9 الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء أقوى من تجاذب ثنائية القطب، وذلك لأن الرابطة بين الهيدروجين والأكسجين ذات قطبية كبيرة.

عندما تقترب جزيئات غاز كلوريد الهيدروجين بعضها من بعض تنجذب ذرة الهيدروجين الموجبة جزئياً في الجزيء نحو ذرة الكلور في جزيء آخر، والتي تكون سالبة جزئياً. يوضح الشكل 1-8 تجاذبات متعددة بين جزيئات كلوريد الهيدروجين؛ لأنّ ثنائية القطب دائمة في هذا الجزيء القطبي، فمن المتوقع أن تكون قوى ثنائية القطب أقوى من قوى التشتت. ويمكن أن يكون هذا المتوقع صحيحاً في الجزيئات القطبية الصغيرة؛ إذ إن لها ثنائية قطبية كبيرة. ومع ذلك فالكثير من الجزيئات القطبية - ومنها جزيئات كلوريد الهيدروجين HCl الموضحة في الشكل 1-8 - تبقى قوى التشتت فيها متفوقة على قوى ثنائية القطب.

يبين الجدول 1-3 الزيادة المنتظمة في درجة الغليان مع كتلة - حجم الذرة للمواد HCl، HBr، ثم HI على الترتيب. في هذه الحالة قوى التشتت هي التي تسيطر (حجم الجزيء هو المحدد وليس فرق الكهروسالبية). بخلاف HF فإنّ القوى ثنائية القطب هي المحددة (الكهروسالبية هي المتحكّمة)، وهي أقوى من قوى التشتت. لاحظ أنّ صغر حجم الجزيء والفرق في الكهروسالبية يزيد من قوة القطب الدائم. ماذا قرأت؟ قارن بين قوى ثنائية القطب وقوى التشتت.

درجة الغليان متناسبة مع القوى بين الجزيئية.			الجدول 1-3
الجزء	كتلة الجزيء (amu)	فرق الكهروسالبية	درجة الغليان (C°)
HF	20	1.8	20
HCl	36.5	1.0	-85
HBr	80	0.8	-67
HI	128	0.5	-36

الروابط الهيدروجينية نوع خاص من قوى ثنائية القطب، وتحدث بين الجزيئات التي تحتوي على ذرة هيدروجين مرتبطة مع ذرة صغيرة ذات كهروسالبية كبيرة تحتوي على الأقل على زوج واحد من الإلكترونات غير المرتبطة. وتتغلب عادة الروابط الهيدروجينية على كل من قوى التشتت وقوى ثنائية القطب. ولكي تتكوّن **الرابطة الهيدروجينية** لا بد للهيدروجين أن يرتبط إما بذرة 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 المرتبطة 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 المرتبط مع ذرة أكسجين في جزيء آخر، كما هو موضح في الشكل 1-9.

الجدول 1-4				خواص المركبات الجزيئية
المركب	الصيغة الكيميائية	التركيب الجزيئي	الكتلة المولية (g)	درجة الغليان (°C)
الماء	H ₂ O		18.0	100
الميثان	CH ₄		16.0	-164
الأمونيا	NH ₃		17.0	-33.4

تفسر الرابطة الهيدروجينية سبب وجود الماء في الحالة السائلة عند درجة حرارة الغرفة، بينما تكون المركبات المشابهة للماء في كتلتها في الحالة الغازية. انظر إلى المعلومات الواردة في الجدول 1-4. من السهل تفسير الفرق بين الماء والميثان؛ فجزيئات الميثان غير قطبية، والقوى الوحيدة التي تربط بين جزيئاتها هي قوى التشتت الضعيفة. أما جزيئات كل من المركبين الماء والأمونيا فيمكنهما تكوين روابط هيدروجينية. ولأن الأمونيا غازاً عند درجة حرارة الغرفة فذلك يدل على أن قوى الترابط بين جزيئات الأمونيا ليست قوية. ولأن ذرات الأكسجين أكثر كهروسالبية من ذرات النيتروجين فإن الرابطة بين O-H في جزيء الماء أكثر قطبية من الرابطة بين N-H في الأمونيا. ونتيجة لذلك فإن الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء أكثر قوة من الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الأمونيا.

تقويم الدرس 1-2

الخلاصة

- قوى الترابط الجزيئية أقوى من القوى بين الجزيئية.
- قوى التشتت أقوى بين جزيئية ذات قطبية مؤقتة.
- تحدث قوى ثنائية القطب بين الجزيئات القطبية.

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

10. قارن بين القوى بين الجزيئية، ثم صف القوى في الجزيئات.

11. قوم أيّ الجزيئات الآتية يستطيع تكوين روابط هيدروجينية؟ وأيها يحتوي على قوى التشتت بوصفها قوى بين الجزيئات؟ فسر إجابتك.

a. H₂ b. NH₃ c. HCl d. HF

12. تفسير البيانات هناك أربع روابط تساهمية أحادية في جزيء الميثان CH₄، بينما يوجد 25 رابطة تساهمية أحادية في جزيء الأوكتان C₈H₁₈، فكيف يؤثر عدد الروابط في قوى التشتت في كلا المركبين؟ وأي المركبين يكون في الحالة الغازية عند درجة حرارة الغرفة؟ وأيها في الحالة السائلة؟

تساؤلات جوهرية

- كيف تربط بين عدد جسيمات الغاز وحجمه مستعملًا مبدأ أفوجادرو؟
- كيف تربط كمية الغاز بضغطه ودرجة حرارته وحجمه مستعملًا قانون الغاز المثالي؟
- ما الفرق بين خواص الغاز الحقيقي والغاز المثالي؟

مراجعة المفردات

المول: وحدة قياسية دولية تستعمل لقياس كمية المادة، وتمثل مقدار المادة النقية التي تحتوي على 6.02×10^{23} من الجسيمات

المفردات الجديدة

مبدأ أفوجادرو

الحجم المولي

القانون العام للغازات

ثابت الغاز المثالي R

قانون الغاز المثالي

قانون الغاز المثالي The Ideal Gas Law

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

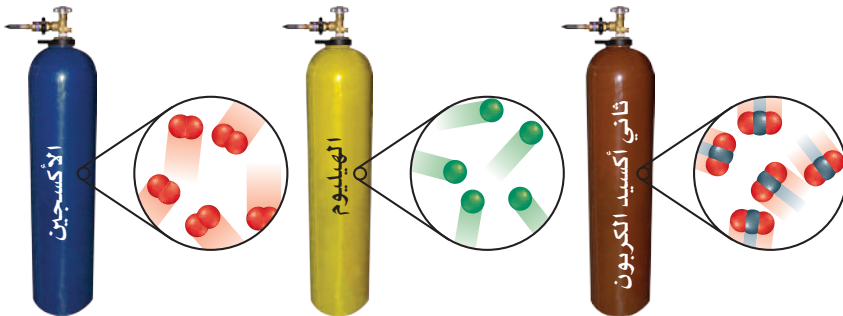
الربط مع الحياة تعلم أن إضافة الهواء إلى إطار السيارة يزيد من ضغط الهواء في الإطار، ولكن هل تعلم أن قيمة الضغط المحددة للإطار هي قيمة الضغط في الإطار عندما يكون باردًا؟ فعندما تتحرك إطارات السيارات على الطريق يعمل الاحتكاك على رفع درجة الحرارة، فيزيد الضغط.

مبدأ أفوجادرو Avogadro's Principle

تختلف حجوم جسيمات الغازات، ومع ذلك تفترض نظرية الحركة الجزيئية أن جسيمات الغاز في أي عينة تكون متباعدة كثيرًا جدًا، بحيث يصبح تأثير حجم الجسيمات قليلًا جدًا على الحجم الذي يشغله الغاز. فمثلاً يشغل 1000 جسيم من غاز الكربون الكبيرة نسيبًا الحجم نفسه لـ 1000 جسيم من غاز الهيليوم الأصغر حجمًا عند نفس درجة الحرارة والضغط. وكان أفوجادرو في عام 1811م أول من قدم هذه الفكرة. وينص مبدأ أفوجادرو على أن الحجم المتساوية من الغازات المختلفة تحتوي العدد نفسه من الجسيمات عند نفس درجة الحرارة والضغط. ويبين الشكل 1-10 حجمًا متساوية من ثاني أكسيد الكربون والهيليوم والأكسجين.

الحجم وعدد المولات من المعروف أن المول الواحد من أي مادة يحتوي على 6.02×10^{23} من الجسيمات. وأن **الحجم المولي** لغاز هو الحجم الذي يشغله 1mol منه عند درجة حرارة 0.0°C وضغط جوي 1atm. وتعرف درجة الحرارة 0.0°C والضغط الجوي 1atm بدرجة الحرارة والضغط القياسيين STP. هذا وقد بين أفوجادرو أن 1mol من أي غاز يشغل حجمًا مقداره 22.4 L، لذا يمكنك استعمال 22.4 L/mol بوصفه معامل تحويل عندما يكون الغاز في الظروف القياسية STP. فإذا رغبت مثلًا في معرفة عدد المولات في عينة من الغاز حجمها 3.72 L، في الظروف القياسية، فيتعين عليك استعمال الحجم المولي لتحويل وحدات الحجم إلى مولات.

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



الشكل 1-10 أسطوانات غاز متساوية في الحجم تحت تأثير ضغط ودرجة حرارة متساويين، وتحتوي أعدادًا متساوية من جسيمات الغاز بغض النظر عن نوع الغاز الذي تحتويه كل منها.

استنتج لماذا لا ينطبق مبدأ أفوجادرو على السوائل والمواد الصلبة؟

الحجم المولي المكون الرئيس للغاز الطبيعي المستعمل في المنازل لأغراض التدفئة والظهو هو الميثان CH_4 . احسب حجم 2.00 Kg من غاز الميثان في الظروف القياسية STP.

1 تحليل المسألة

يمكن حساب عدد المولات من خلال قسمة كتلة العينة m على الكتلة المولية MM . ولأن الغاز تحت الظروف القياسية STP، لذا يمكنك استعمال الحجم المولي لتحويل عدد المولات إلى حجم.

المطلوب
 $V = ? L$

المعطيات

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

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

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

2 حساب المطلوب

حدّد الكتلة المولية للميثان

احسب الكتلة المولية

عبر عن الكتلة الجزيئية باستعمال

g/mol لتصل إلى الكتلة المولية.

احسب عدد مولات الميثان

حوّل الكتلة المولية من وحدة Kg إلى g

اقسم على الكتلة المولية لإيجاد عدد المولات.

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

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

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

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

استعمل الحجم المولي لحساب حجم الميثان في الظروف القياسية STP.

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

استعمل الحجم المولي 22.4 L/mol

للتحويل من المولات إلى الحجم.

3 تقويم الإجابة

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

مسائل تدريبية

13. ما حجم الوعاء اللازم لاحتواء 0.0459 mol من غاز النيتروجين N_2 في الظروف القياسية STP؟

14. ما كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون بالجرامات، الموجودة في بالون حجمه 1.0 L في الظروف القياسية STP؟

15. ما الحجم بوحدة ml، الذي يشغله هيدروجين كتلته 0.00922 g في الظروف القياسية STP؟

16. ما الحجم الذي تشغله كتلة مقدارها 0.416g من غاز الكربتون في الظروف القياسية STP؟

17. احسب الحجم الذي تشغله كتلة مقدارها 4.5 Kg من غاز الإيثيلين C_2H_4 في الظروف القياسية STP؟

18. تحدّد إناء بلاستيكي مرن يحتوي 0.86 g من غاز الهيليوم بحجم 19.2 L فإذا أُخرج 0.205 g من غاز الهيليوم عند ضغط ودرجة حرارة ثابتين، فما الحجم الجديد؟

قانون الغاز المثالي The Ideal Gas Law

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

ينص قانون "شارل" Jacques Charles (1746-1823) على أن حجم مقدار محدد من الغاز V يتناسب طردياً مع درجة حرارته T بوحدة الكلفن عند ثبات الضغط. ويمكن التعبير عن القانون بالمعادلة التالية:

$$\text{ثابت} = \frac{V}{T}$$

كما ينص قانون "بويل" Robert Boyle (1627-1691) على أن حجم مقدار محدد من الغاز V يتناسب عكسياً مع الضغط P عند درجة حرارة ثابتة. والمعادلة التالية تعبر عن قانون "بويل"

$$PV = \text{ثابت}$$

أما قانون "جاي لوساك" (Joseph Gay-Lussac) (1778-1850)، فينص على أن ضغط مقدار ثابت من الغاز P يتناسب طردياً مع درجة حرارته T بوحدة الكلفن عند ثبات الحجم. ويمكن التعبير عن القانون كما يلي:

$$\text{ثابت} = \frac{P}{T}$$

للاطلاع الحرّ

يربط القانون العام للغازات بين متغيرات الضغط والحجم ودرجة الحرارة لمقدار محدد من الغاز.

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

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

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

مثلما تمّ دمج القوانين الثلاثة الأولى لإيجاد القانون العام للغازات، يمكن اشتقاقها من القانون العام وذلك بجعل أحد المتغيرات (P أو V أو T) ثابتاً.



استخدم التكنولوجيا

الصناعة في البحرين... ابحث في الانترنت عن تقنية الغاز المسال وتحضيره وكيفية استخدامه وطريقة نقله تجنباً للمخاطر.

الشكل 1-11 يبقى حجم ودرجة حرارة هذا الإطار ثابتاً في أثناء إضافة الهواء، ولكن كلما ازدادت كمية الهواء ازداد الضغط.



يوضح الشكل 1-11 أن زيادة مقدار الغاز الموجود في العينة يؤدي إلى زيادة الضغط، إذا كانت درجة الحرارة والحجم ثابتين، كما أن الحجم يزداد عند إضافة المزيد من جسيمات الغاز. ونحن نعرف أن كلا من الحجم والضغط يتناسبان تناسباً طردياً مع عدد المولات n ، لذا يمكن وضع عدد المولات n في معادلة القانون العام للغازات، كما يأتي:

$$\frac{PV}{nT} = \text{ثابتاً}$$

ولقد حددت التجارب التي استعملت فيها قيم معروفة لكل من n و P و T و V قيمة هذا الثابت، والذي يعرف بـ **ثابت الغاز المثالي**، ويرمز له بالرمز R . فإذا كان الضغط مقاساً بوحدة atm فإن وحدة R تكون $\text{L} \cdot \text{atm} / \text{mol} \cdot \text{K}$. لاحظ أن وحدة R تجمع وحدات المتغيرات الأربع. ويبين الجدول 1-5 القيم الرقمية لثابت الغاز المثالي R بوحدات مختلفة للضغط.

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

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

قانون الغاز المثالي

$$P = \text{الضغط.}$$

$$V = \text{الحجم.}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \text{عدد المولات.}$$

$$R = \text{ثابت الغاز المثالي.}$$

$$T = C + 273$$

$$T = \text{درجة الحرارة بالكلفن}$$

إن حاصل ضرب الضغط والحجم في مقدار معين من الغاز عند درجة حرارة ثابتة يساوي مقدراً ثابتاً.

الجدول 1-5	قيم R ووحداتها
قيمة R	وحدات R
0.0821	$\frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
8.314	$\frac{\text{L} \cdot \text{kPa}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
62.4	$\frac{\text{L} \cdot \text{mmHg}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

قانون الغاز المثالي احسب عدد مولات غاز الأمونيا NH_3 الموجودة في وعاء حجمه 3.0 L عند درجة حرارة $3.0 \times 10^2 \text{ K}$ وضغط 1.5 atm

1 تحليل المسألة

اعطيت الحجم ودرجة الحرارة والضغط لعينة من الغاز. استعمل قانون الغاز المثالي، واختر قيمة الثابت R بالاعتماد على وحدة الضغط في السؤال. قيم الضغط ودرجة الحرارة قريبة من الظروف القياسية، لكن الحجم أصغر كثيراً من 22.4 L، فعليك أن تتوقع أن الإجابة أقل بكثير من 1 mol

المطلوب
 $n = ? \text{ mol}$

المعطيات

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

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

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

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

2 حساب المطلوب

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

$$PV = nRT$$

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

اكتب قانون الغاز المثالي

حل لإيجاد n

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

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

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

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

اضرب الأرقام والوحدات وأقسمها

3 تقويم الإجابة

تتفق الإجابة مع توقع أن عدد المولات أقل بكثير من 1 mol، ووحدة الإجابة بالمول mol

مسائل تدريبية

19. حدّد درجة الحرارة السيليزية لـ 2.49 mol من الغاز الموجود في إناء سعته 1.00 L، وتحت ضغط مقداره 143 kPa.

20. احسب حجم 0.323 mol من غاز ما عند درجة حرارة 256 K وضغط جوي مقداره 0.90 atm.

21. ما مقدار ضغط 0.108 mol، بوحدة الضغط الجوي - لعينة من غاز الهيليوم عند درجة حرارة 20.0°C إذا كان حجمها 0.050 L؟

22. إذا كان ضغط غاز حجمه 0.044 L يساوي 3.81 atm عند درجة حرارة 25.0°C ، فما عدد مولات الغاز؟

23. تحدّد غاز مثالي حجمه 3.0 L فإذا تضاعف عدد مولاته ودرجة حرارته وبقي الضغط ثابتاً، فما حجمه الجديد؟

قانون الغاز المثالي- الكتلة المولية والكثافة

The Ideal Gas Law – Molar Mass and Density

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

الكتلة المولية وقانون الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية لعينة غاز يجب أن يكون كل من الكتلة ودرجة الحرارة والضغط وحجم الغاز معروفاً. تذكر ما تعلمته سابقاً، حيث إن عدد مولات الغاز n تساوي الكتلة m مقسومة على الكتلة المولية MM . لذلك يمكن التعويض عن n بمقدار m/MM .

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

ويمكنك إعادة ترتيب المعادلة لتصبح على النحو الآتي:

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

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

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

يمكنك إعادة ترتيب المعادلة لإيجاد الكثافة لتصبح على النحو الآتي:

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

لماذا تحتاج إلى معرفة كثافة الغاز؟ فكر في طرائق إطفاء الحريق. تعتمد إحدى طرائق إطفاء الحريق على منع غاز الأكسجين من الوصول من خلال تغطية الحريق بغاز آخر لا يحترق، أو لا يساعد على الاحتراق، كما هو موضح في الشكل 1-12. لذا يجب أن تكون كثافة هذا الغاز أكبر من كثافة الأكسجين ليحل محله.



الشكل 1-12 لإطفاء الحريق تحتاج إلى إبعاد الوقود أو الأكسجين أو الحرارة عن مصدر الحريق. تحتوي طفاية الحريق على ثاني أكسيد الكربون الذي يحل محل الأكسجين، لكنه لا يشتعل، وله تأثير مبرد نتيجة تمدده السريع بمجرد إطلاقه.

اشرح لماذا يحل ثاني أكسيد الكربون محل الأكسجين؟

المفردات

أصل الكلمة

المول (Mole)

جاءت من الكلمة الألمانية mol،

وهي اختصار Molekulargewicht،

وتعني الوزن الجزيئي.

إعداد نموذج لطفاية حريق

لماذا يستعمل غاز ثاني أكسيد الكربون لإطفاء الحريق؟

الخطوات



1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. قس درجة الحرارة باستعمال مقياس الحرارة، والضغط الجوي

باستعمال البارومتر، ثم سجل البيانات التي حصلت عليها.

3. لفّ قطعة من رقائق الألومنيوم أبعادها

23cm x 30 cm على أسطوانة ارتفاعها 30 cm ونصف

قطرها 6cm تقريباً ثم ألصق أطراف قطعة القصدير.

4. استعمل أعواد الثقاب لإشعال الشمعة.

تحذير: اسكب الماء فوق أعواد الثقاب قبل رميها، وابتعد عن

مصادر اللهب.

5. ضع 30g من صودا الخبز NaHCO_3 في كأس كبيرة، وأضف

إليها 40 ml من الخل CH_3COOH تركيزه 5%.

6. ضع أسطوانة رقائق الألومنيوم بسرعة فوق لهب الشمعة

بزواوية مقدارها 45° .

تحذير: لا تجعل نهاية طرف الأسطوانة القريب من الشمعة

المشتعلة يلامسها.

7. وبينما يستمر التفاعل في الكأس في إنتاج غاز ثاني أكسيد

الكربون، مرر الغاز بحذر شديد، وليس السائل في

الأسطوانة. سجل ملاحظاتك.



تحليل

1. طبق احسب الحجم المولاري لغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2

عند درجة حرارة الغرفة والضغط الجوي العادي .

2. احسب كثافة كل من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين

والنيتروجين بوحدة g/L عند درجة حرارة الغرفة. تذكر أنه

يتعين عليك حساب الكتلة المولية لكل غاز حتى تتمكن من

حساب كثافة كل غاز.

3. فسّر هل تدعم ملاحظاتك وحساباتك استعمال ثاني أكسيد

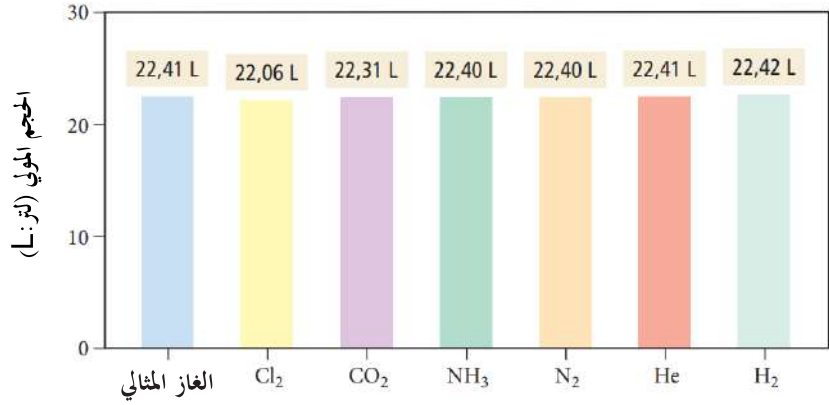
الكربون في مكافحة الحرائق. ولماذا؟

الغاز الحقيقي مقابل الغاز المثالي Real Versus Ideal Gases

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

الشكل 1-13 الحجم المولي للغازات الحقيقية:

الأحجام المولية للعديد من الغازات في درجة الحرارة والضغط القياسيين: STP ضغط 10^5 Pa ودرجة حرارة 0°C كلها قريبة من 22.41 لتر، مما يشير إلى أن الانحراف عن السلوك المثالي صغير عند هذه الظروف



ولكن في الحقيقة ليس هناك غاز مثالي؛ فجسيمات الغاز لها حجم وإن كان صغيراً، وتوجد بينها قوى تجاذب، كما أن التصادمات فيما بينها وبين الوعاء ليست تصادمات مرنة تماماً. وعلى الرغم من ذلك تسلك معظم الغازات سلوك الغاز المثالي في نطاقات واسعة من الضغط ودرجة الحرارة. كما أن الحسابات التي تجري باستعمال قانون الغاز المثالي تقارب القياسات التجريبية الشكل 1-13.

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

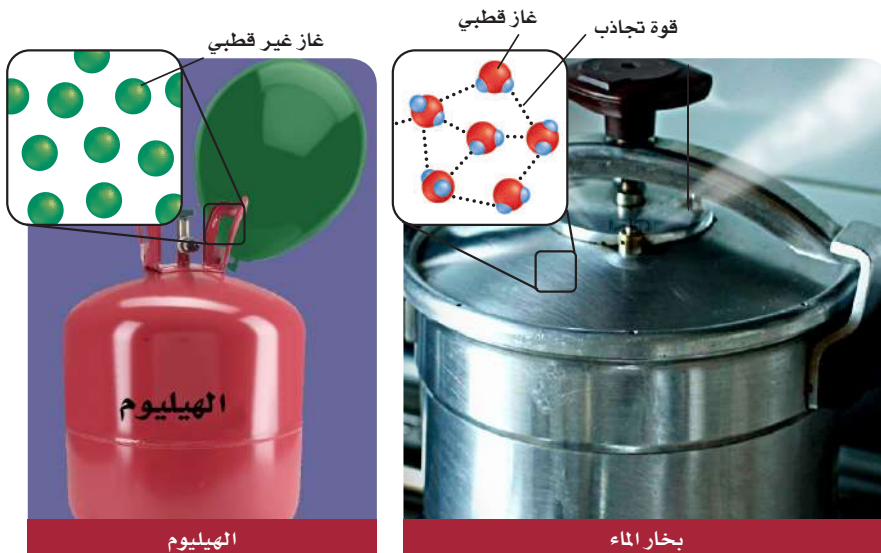
أقصى ضغط ودرجة حرارة متى يكون قانون الغاز المثالي غير مناسب للاستعمال مع الغاز الحقيقي؟ تحيد معظم الغازات الحقيقية في سلوكها عن الغاز المثالي عند الضغط العالي ودرجات الحرارة المنخفضة. ويسلك غاز النيتروجين سلوك الغاز الحقيقية، فعند انخفاض درجات حرارة غاز النيتروجين تنخفض طاقة جسيماته الحركية، وهذا يعني أن قوى التجاذب بين هذه الجسيمات قوية، مما يجعلها تؤثر في سلوكها. وعندما تنخفض درجة الحرارة بقدر كافٍ يتكاثف الغاز الحقيقي مكوناً سائلاً. ويسلك غاز البروبان في الخزان الظاهر في الشكل 1-14 أيضاً سلوك الغاز الحقيقي. وتعمل زيادة الضغط على الغاز على إجبار جسيماته على الاقتراب بعضها من بعض حتى يصبح من غير الممكن إهمال الحجم الذي تشغله الجسيمات. وتتحول الغازات الحقيقية - ومنها البروبان - إلى سائل إذا تعرضت لضغط كافٍ.



الشكل 1-14 لا يتبع الغاز الحقيقي قانون الغاز

المثالي عند قيم الضغط ودرجات الحرارة كلها.

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



الشكل 1-15 التجاذب ما بين جسيمات الغاز غير القطبي ضعيف بينما يكون التجاذب بين جسيمات الغازات القطبية مثل بخار الماء قوياً.

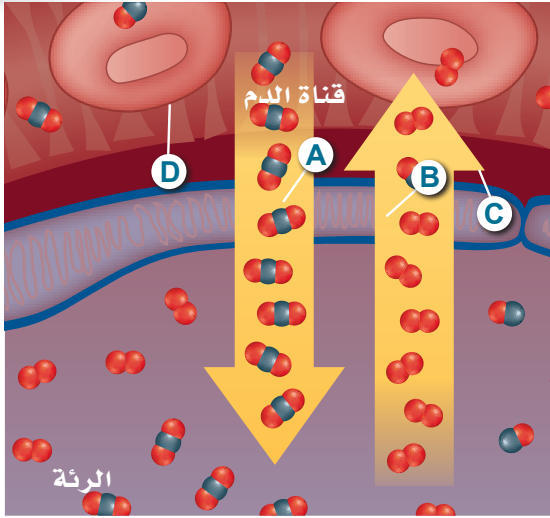
استنتج على افتراض إهمال حجم الجسيمات، كيف سيكون ضغط عينة من الغاز تتضمن قوى تجاذب بين الجزيئات مقارنة بالضغط المتوقع حسابه باستعمال قانون الغاز المثالي؟

القطبية وحجم الجسيمات تؤثر طبيعة الجسيمات التي يتكوّن منها الغاز في سلوكه بطريقة مثالية. فمثلاً يوجد بين جسيمات الغاز القطبية كما في بخار الماء قوى تجاذب أكبر من القوى التي تكون بين جسيمات الغازات غير القطبية كالهيليوم. فتتجذب الأطراف المختلفة للجسيمات القطبية بعضها نحو بعض بواسطة قوى كهروستاتيكية، كما في الشكل 1-15، لذا، لا تسلك الغازات القطبية سلوك الغاز المثالي. وتشغل جسيمات الغازات غير القطبية الكبيرة الحجم كالبيوتان C_4H_{10} حيزاً أكبر من الحيز الذي يشغله عدد مماثل من جسيمات غاز صغيرة الحجم كالهيليوم He . ولهذا السبب تميل جسيمات الغاز الكبيرة إلى الابتعاد عن السلوك المثالي أكثر من جسيمات الغاز الصغيرة.

تقويم الدرس 1-3

الخلاصة

- ينص مبدأ أفوجادرو على أن الحجم المتساوية من الغازات عند الظروف نفسها (الضغط ودرجة الحرارة) تحتوي على العدد نفسه من الجزيئات.
 - يحدد القانون العام للغازات العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة وحجم مقدار ثابت من الغاز.
 - يربط قانون الغاز المثالي بين مقدار الغاز الموجود وضغطه ودرجة حرارته وحجمه.
 - يمكن أن يستعمل قانون الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية للغاز إذا عرفت كتلته، كما يمكن أن يستعمل لإيجاد كثافة الغاز إذا عرفت كتلته المولية.
 - يختلف سلوك الغاز الحقيقي عن سلوك الغاز المثالي عند الضغط العالي جداً ودرجات الحرارة المنخفضة.
24. **الفكرة الرئيسية** فسر لماذا ينطبق مبدأ أفوجادرو على الغازات التي تتكون من جزيئات صغيرة والتي تتكون من جزيئات كبيرة؟
25. اكتب معادلة قانون الغاز المثالي.
26. حلّل كيف ينطبق قانون الغاز المثالي على الغاز الحقيقي مستعملاً نظرية الحركة الجزيئية؟
27. توقع الظروف التي يحتمل أن يختلف عندها سلوك الغاز الحقيقي عن سلوك الغاز المثالي؟
28. ضع في قائمة، الوحدات الأكثر شيوعاً لكل من المتغيرات في قانون الغاز المثالي.
29. احسب كتلة غاز البروبان C_3H_8 الموجود في دورق حجمه 2.0 L عند ضغط جوي مقداره 1.00 atm، ودرجة حرارة $15.0^\circ C$.
30. ارسم رسماً بيانياً واستعمله ينخفض ضغط إطارات السيارات بمقدار 1psi عند انخفاض درجة الحرارة بمقدار $6^\circ C$ ، ارسم رسماً بيانياً يوضح التغير في الضغط داخل الإطار، عندما تتغير درجات الحرارة من $20^\circ C$ إلى $20^\circ C$ - (افتراض أن الضغط يساوي 30 Psi عند درجة حرارة $20.0^\circ C$).



الشكل 2 تبادل الغازات بين الرئتين وجهاز الدوران.

الانتسمم بغاز أول أكسيد الكربون Carbon-monoxide poisoning
استعمل الشكل 2 لمعرفة كيف يساعد HBOT على علاج التسمم بغاز أول أكسيد الكربون.

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

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

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

التخلص من أول أكسيد الكربون يساعد الأكسجين المضغوط على التخلص من أول أكسيد الكربون المرتبط بالهيموجلوبين كما يوضح الشكل D.

الصحة والضغط

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

العلاج بالأكسجين المضغوط Hyperbaric medicine

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

ارتباط الأكسجين The oxygen connection يرتبط ارتفاع الضغط غالباً مع ارتفاع تركيز الأكسجين الذي يتلقاه المرضى. ويشير العلاج بالأكسجين المضغوط HBOT** إلى علاج بواسطة أكسجين تركيزه 100%. ويبين الشكل 1 غرفة المعالجة بالأكسجين المضغوط؛ حيث يمكن أن يصل الضغط في هذه الغرفة إلى خمسة أو ستة أضعاف الضغط العادي. وتستعمل HBOT في معالجة مدى واسع من الحالات، ومنها الحروق والدوار والجروح التي لا تلتئم بسرعة ومرض الأنيميا وبعض الأمراض المعدية.



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

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

* للاطلاع الحرّ

Hyperbaric Oxygen Therapy**

لقد كان عالم الفيزياء الإيطالي تورشلي (1647-1608م) أول من أثبت وجود ضغط للهواء؛ فقد لاحظ أن مضخة الماء لا يمكنها أن تضخ الماء إلى ارتفاع يتجاوز عشرة أمتار. وقد افترض أن ارتفاع السائل في أنبوب يختلف باختلاف كثافته. واختبار هذه الفرضية صمّم تورشلي جهازاً، كما هو موضح في الشكل 1، حيث ملأ أنبوباً زجاجياً مغلّقاً 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 تقريباً، وهذا يؤيد فرضية تورشلي؛ لأن كثافة الزئبق أكبر من كثافة الماء أربع عشرة مرة تقريباً، وبناء على تجربة تورشلي يُعرّف الضغط الجوي بأنه وزن عمود من الزئبق طوله 76cm.

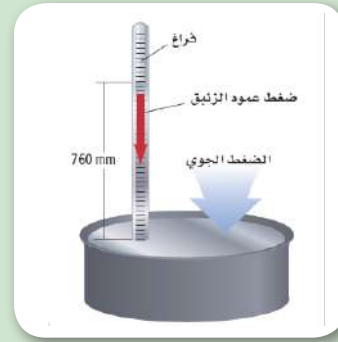
البارومتر يدعى الجهاز الذي صمّمه البارومتر، وهو أداة لقياس الضغط الجوي. وكما أوضح تورشلي، فإن ارتفاع مستوى الزئبق في البارومتر عند سطح البحر يساوي 760 mm تقريباً. ويعتمد ارتفاع الزئبق على قوتين، إحداهما قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الزئبق إلى أسفل، والأخرى القوة المعاكسة للجاذبية واتجاهها إلى أعلى، وتكون بفعل الهواء الضاغط على سطح الزئبق إلى أسفل. ويتغير ضغط الهواء بتغير درجة الحرارة ورطوبة الجو.

الشكل 1 البارومتر - كان تورشلي أول من صمّم جهازاً يبيّن أنّ للهواء الجوّي ضغطاً.

بارومتر حديث

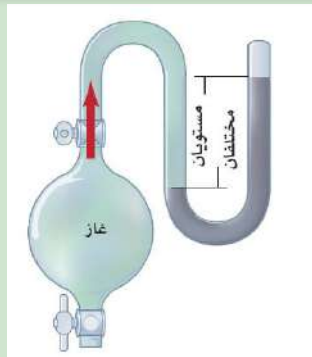


بارومتر زئبقي



المانومتر أداة تستخدم لقياس ضغط الغاز المحصور أو المحبوس في إناء مغلق. ويتكون من دورق متصل بأنبوب على شكل U مملوء بالزئبق، كما هو موضح في الشكل 2. وعند فتح الصمام الفاصل بين الدورق والأنبوب تنتشر جسيمات الغاز من الدورق إلى الأنبوب، وتعمل الجسيمات المتدفقة على دفع الزئبق إلى أسفل الأنبوب. ويتم إيجاد ضغط الغاز في الدورق عن طريق حساب الفرق في ارتفاع مستوى الزئبق في طرفي الأنبوب.

الشكل 2 المانومتر جهاز يقيس ضغط الغاز المحصور في إناء.



عند دخول الغاز يصبح مستويا ارتفاع الزئبق متساويين في طرفي الأنبوب



قبل دخول الغاز يكون مستوى ارتفاع الزئبق نفسه عند طرفي الأنبوب.

للاطلاع الحرّ

مختبر الكيمياء

تحديد الضغط في حبات الذرة



الخلفية عندما يكون ضغط بخار الماء داخل حبات الذرة Popcorn كبيراً بشكل كافٍ، تتفقع الحبات وتطلق بخار ماء. ويمكن استعمال قانون الغاز المثالي في إيجاد الضغط في هذه الحبات عند انفجارها.

سؤال ما مقدار الضغط اللازم لفرقة حبات الذرة؟

المواد والأدوات اللازمة

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

إجراءات السلامة

خطوات العمل

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

12. قس الكتلة النهائية للكأس والزيت والذرة.

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

حلل واستنتج

1. احسب حجم حبات الذرة بالتر، وذلك من خلال إيجاد الفرق بين حجم الماء المقطر في المخبار قبل إضافة الذرة وبعده.
2. احسب الكتلة الكلية لبخار الماء المنطلق مستعملاً قياسات كتل الكأس والزيت وحبات الذرة قبل الفرقة وبعدها.
3. **حوّل** استعمل الكتلة المولية للماء؛ لإيجاد عدد مولات الماء المتحررة.
4. **استعمال** الصيغ اعتبر أن درجة حرارة الزيت المغلي 225°C هي درجة حرارة الغاز، واحسب ضغط الغاز باستعمال قانون الغاز المثالي.
5. **قارن** بين الضغط الجوي وضغط بخار الماء في الحبات.
6. **استنتج** لماذا لم تتفقع حبات الذرة جميعها؟
7. **تحليل الخطأ** حدّد مصادر الخطأ في هذه التجربة، واقترح طريقة لتصحيحها.

الإستقصاء

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

الفكرة العامة تفسر نظرية الحركة الجزيئية الخواص المختلفة للمواد الصلبة والسائلة والغازية، فالغازات مثلاً لتغيرات كل من الضغط ودرجة الحرارة والحجم وعدد الجسيمات بطرائق يمكن التنبؤ بها.

1-1 الغازات

المفاهيم الرئيسية

- تفسر النظرية الحركية الجزيئية خواص الغازات اعتماداً على حجم جسيماتها وحركتها وطاقتها.
- يستعمل قانون دالتون للضغوط الجزئية لتحديد ضغط كل غاز في خليط الغازات.

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

المفردات

- نظرية الحركة الجزيئية
- التصادم المرن
- درجة الحرارة
- الضغط
- الباسكال
- الضغط الجوي
- قانون دالتون للضغوط الجزئية

1-2 قوى التجاذب

المفاهيم الرئيسية

- القوى الجزيئية أقوى من القوى بين الجزيئية.
- قوى التشتت قوى بين جسيمات المواد المختلفة ذات القطبية المؤقتة.
- تحدث القوى ثنائية القطب بين الجزيئات القطبية.
- الروابط الهيدروجينية هي نوع من أنواع القوى ثنائية القطب وتمتاز بصلابتها.

الفكرة الرئيسية تحدد القوى التجاذب بين الجزيئية - ومنها قوى التشتت، والقوى ثنائية القطب، والروابط الهيدروجينية - حالة المادة عند درجة حرارة معينة.

المفردات

- قوى التشتت
- قوى ثنائية القطب
- الروابط الهيدروجينية

1-3 قانون الغاز المثالي

المفاهيم الرئيسية

- ينص مبدأ أفوجادرو على أن الحجم المتساوية من الغازات عند نفس الضغط ودرجة الحرارة تحتوي على العدد نفسه من الجسيمات.
- الناتج من حاصل ضرب الضغط والحجم مقسوماً على درجة الحرارة بالكلفين يكون ثابتاً، بالنسبة لمقدار ثابت من الغاز.
- يربط قانون الغاز المثالي كمية الغاز الموجود مع ضغط الغاز ودرجة حرارته

$$PV = nRT \quad \text{وحجمه}$$

- يمكن استعمال قانون الغاز المثالي لإيجاد الكتلة المولية إذا كانت كتلة الغاز معروفة، ويمكن استعماله أيضاً لإيجاد كثافة الغاز إذا كانت كتلته المولية معروفة.

$$MM = \frac{mRT}{PV} \quad D = \frac{MMP}{RT}$$

الفكرة الرئيسية يربط قانون الغاز المثالي عدد الجسيمات بالضغط ودرجة الحرارة والحجم.

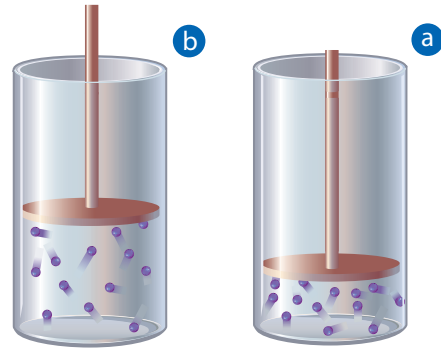
المفردات

- مبدأ أفوجادرو
- القانون العام للغازات
- الحجم المولي
- ثابت الغاز المثالي
- قانون الغاز المثالي

1-1

إتقان المفاهيم

31. ما التصادم المرن؟
32. كيف تتغير الطاقة الحركية للجسيمات تبعاً لدرجات الحرارة؟
33. استعمل نظرية الحركة الجزيئية لتفسير قابلية الغازات للتمدد والانضغاط .
34. اذكر افتراضات نظرية الحركة الجزيئية.
35. صف الخواص العامة للغازات.
36. في الشكل 1-16، ماذا يحدث لكثافة جسيمات الغاز في الأسطوانة عندما يتحرك المكبس من الموقع a إلى الموقع b؟



الشكل 1-16

37. صناعة الخبز فسر لماذا تختلف تعليمات طريقة عمل الخبز الموجودة على علبة المكونات في الأماكن المنخفضة عن الأماكن المرتفعة، وهل تتوقع أن يكون الزمن اللازم لعمل الخبز أطول أم أقصر عند الارتفاعات العالية؟

إتقان المسائل

38. ما الضغط الجزئي لبخار الماء الموجود في عينة هواء، إذا كان الضغط الكلي لها 1.00 atm والضغط الجزئي للنيتروجين 0.79 atm وللأكسجين 0.20 atm وللغازات الأخرى المتبقية 0.0044 atm؟

39. ما ضغط الغاز الكلي في دورق مغلق يحتوي على أكسجين تحت ضغط جزئي يساوي 0.41 atm وبخار ماء تحت ضغط جزئي يساوي 0.58 atm؟
40. تسلق جبال تبلغ قيمة الضغط عند قمة أعلى جبل في العالم، قمة إفرست، 33.6kPa تقريباً، حوّل قيمة الضغط إلى وحدة ضغط جوي، ثم قارن بين هذا الضغط والضغط عند سطح البحر.
41. ارتفاعات عالية يساوي الضغط الجوي عند قمة أحد الجبال 84.0kPa تقريباً. ما قيمة هذا الضغط بوحدتي atm والتور torr؟
42. يساوي الضغط على عمق 76.21m في المحيط 8.4atm تقريباً. حوّل قيمة الضغط إلى وحدتي kPa و mmHg.

1-2

43. وضح الفرق بين القطبية المؤقتة والدائمة.
44. لماذا تعد قوى التشتت أضعف من القوى الثنائية القطب؟
45. فسر لماذا تكون الروابط الهيدروجينية أقوى من معظم القوى الثنائية القطب؟
46. قارن بين قوى التجاذب بين الجزيئية وقوى التجاذب الجزيئية.
47. لماذا تتجاذب الجزيئات الطويلة غير القطبية بعضها مع بعض أقوى من تجاذب الجزيئات الكروية غير القطبية التي لها المكونات نفسها؟

إتقان المسائل

48. الجزيئات القطبية استعمل الاختلاف في الكهروسالبية لتحديد الأطراف الموجبة والسالبة للجزيئات القطبية الآتية:

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

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

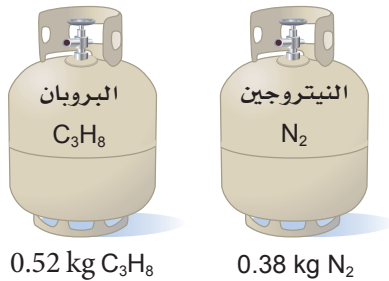
60. احسب عدد مولات O_2 الموجودة في وعاء مغلق حجمه 2.00 L ودرجة حرارته 25.0°C ، إذا كان ضغطه 3.50 atm ما عدد المولات الموجودة في الوعاء إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 49.0°C وبقي الضغط ثابتاً؟

61. العطور يوجد مركب جيرانيول في زيت الورد المستعمل في صناعة العطور. ما الكتلة المولية للجيرانيول إذا كانت كثافة بخاره 0.480 g/L ، عند درجة حرارة 260.0°C ، وضغط جوي مقداره 0.140 atm ؟

62. جد حجم 42 g من غاز أول أكسيد الكربون في الظروف القياسية STP.

63. حدّد كثافة غاز الكلور عند درجة 22.0°C وضغط جوي 1.00 atm.

64. أي الغازات في الشكل 1-17 يشغل الحجم الأكبر في الظروف القياسية STP؟ فسر إجابتك.



الشكل 1-17

65. إذا احتوى كل من الوعائين في الشكل 1-17 على 4.0 L من الغاز فما مقدار الضغط في كل منهما؟ افترض أن الغازات مثالية.

49. ارسم تجاذباً ثنائي القطبية بين جزيئين من أول أكسيد الكربون CO.

50. أي المواد الآتية يكون روابط هيدروجينية؟

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

51. أي الجزيئات الآتية تكوّن روابط هيدروجينية؟ ارسم عدة جزيئات منها موضّحاً ترابطها معاً بواسطة الروابط الهيدروجينية.

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

1-3

إتقان المفاهيم

52. اذكر نص مبدأ أفوجادرو.

53. اذكر نص قانون الغاز المثالي.

54. ما حجم 1 mol من الغاز في الظروف القياسية؟ وما حجم 2 mol من الغاز في الظروف القياسية؟

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

56. ما الشرطان اللذان لا يمكن أن يكون سلوك الغاز عندهما مثالياً؟

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

إتقان المسائل

58. غاز المنازل يستعمل غاز البروبان C_3H_8 في المنازل لأغراض الطهي والتدفئة.

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

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

74. إذا كان هناك وعاءان متماثلان يحويان الغاز نفسه عند درجة الحرارة نفسها ولكن الضغط في أحدهما ضعف الضغط في الآخر فما الرأي الصحيح الذي يتعلق بكمية الغاز الموجودة في كل وعاء؟

75. عدد ثلاثة أنواع من قوى التجاذب بين الجزيئية.

76. **تلفاز** احسب الضغط داخل أنبوب الصورة في التلفاز، إذا كان حجمه 3.50 L، ويحتوي على 2.00×10^{-5} g من غاز النيتروجين عند درجة حرارة تساوي 22.0°C

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

a. STP

b. 3.00atm و 160°C

c. 288K و 118kPa

78. **استهلاك الأكسجين** إذا احترق 5.00 L من غاز الهيدروجين عند درجة حرارة 20.0°C وضغط مقداره 80.1kPa مع كمية فائضة من الأكسجين لتكوين الماء، فما كتلة الأكسجين المستهلك؟ افترض أن كلاً من درجة الحرارة والضغط ثابتان.

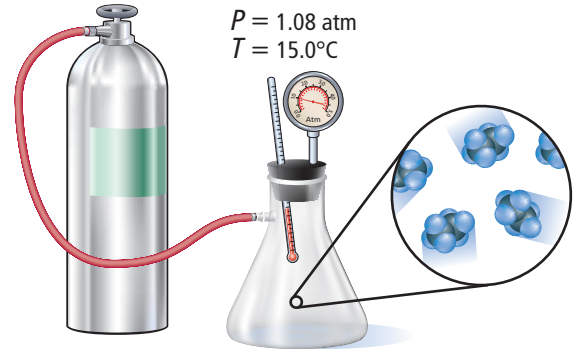
79. إذا احترق 2.33 L من غاز البروبان عند درجة حرارة 24°C وضغط جوي مقداره 67.2kPa احتراقاً تاماً في كمية فائضة من الأكسجين، فما عدد مولات ثاني أكسيد الكربون التي تنتج؟

80. **التنفس** يتنفس الإنسان 0.50 L من الهواء تقريباً خلال التنفس الطبيعي. افترض أن الظروف الطبيعية هي الظروف القياسية STP.

a. ما حجم النفس الواحد في يوم بارد على قمة جبل إفرست إذا كانت درجة الحرارة -60°C ، والضغط 253mmHg ؟

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

66. مُلئ دورق حجمه 2.00 L بغاز الإيثان C_2H_6 من أسطوانة صغيرة، كما يظهر في الشكل 1-18. ما كتلة الإيثان في الدورق؟



الشكل 1-18

67. ما كثافة عينة من غاز النيتروجين N_2 ، ضغطها 5.30atm في وعاء حجمه 3.50 L عند درجة حرارة مقدارها 125°C ؟

68. ما عدد مولات غاز الهيليوم He اللازمة لتعبئة وعاء حجمه 22 L، عند درجة حرارة 35.0°C ، وضغط جوي مقداره 3.1atm ؟

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

مراجعة عامة

70. استعمل نظرية الحركة الجزيئية لتفسير لماذا تعتبر السوائل والغازات من الموائع؟

71. استعمل قوى التجاذب بين الجزيئية لتفسير سبب تواجد الأكسجين في الحالة الغازية عند درجة حرارة الغرفة، بينما يوجد الماء في الحالة السائلة.

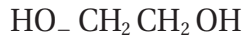
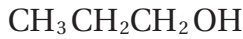
72. استعمل نظرية الحركة الجزيئية لتفسير لماذا يمكن ضغط الغاز بينما لا يمكن ضغط السائل أو الصلب؟

73. تساوي كثافة الزئبق عند 25°C وضغط 760mmHg و 13.5g/ml بينما تساوي كثافة الماء عند نفس درجة الحرارة والضغط 1.00g/ml . فسر هذا الاختلاف، اعتمداً على قوى التجاذب بين الجزيئية ونظرية الحركة الجزيئية.

86. قوّم عدد ثلاث تغيرات تنتج طاقة، وثلاثة أخرى تستهلكها.

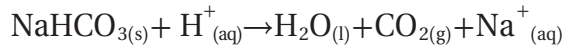
87. طبق ما القيمة الرقمية لثابت الغاز المثالي R في $\frac{\text{ml}\cdot\text{Pa}}{\text{K}\cdot\text{mol}}$ ؟

88. حلل أي من المركبين تتوقع أن تكون له درجة غليان أعلى؟
فسر إجابتك.



مسألة تحدّ

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



احسب حجم CO_2 المتكون لكل جرام من NaHCO_3
في كلا التفاعلين. افترض أن التفاعل يحدث عند 210°C
وضغط جوي مقداره 0.985 atm.

التفكير الناقد

81. فرضية أي المواد الصلبة المتبلورة تتوقع أن تتناسب مع
الشروط الآتية بأفضل صورة؟

- مادة تنصهر ويعاد تكوينها عند درجات حرارة منخفضة.
- مادة يمكن سحبها إلى أسلاك طويلة ورفيعة.
- مادة توصل الكهرباء في الحالة السائلة.
- مادة صلبة جداً وغير موصلة للكهرباء.

82. قارن يستعمل ضاغط الهواء الطاقة لضغط جزيئات الهواء
معاً، وعندما يترك الهواء ليتمدد تستعمل الطاقة الناتجة في
تنظيف السطوح بلطف دون استعمال مواد كاشطة سائلة أو
صلبة إضافية. تعمل الأنظمة الهيدروليكية بالصورة نفسها،
ولكنها تضغط الموائع لنقل القوة ومضاعفاتها. ما فوائد
وعيوب استعمال هذين النوعين من التقنية في رأيك؟

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

84. استنتج يتضمن عرض مختبري صبّ 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؟

85. حلل استعمل ما تعرفه عن قوى التجاذب بين الجزيئية
لتحديد ما إذا كانت الأمونيا NH_3 أم الميثان CH_4 أكثر
ذوبانية في الماء.

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

90. **المسك** من المكونات الأساسية في الكثير من العطور والصابون والشامبو، وحتى في الأطعمة، ومنها الشوكولاتة وعرق السوس والحلوى الصلبة. تتكون مركبات المسك المحضرة صناعياً والطبيعية من جزيئات ذات كتلة كبيرة بالمقارنة بجزيئات المركبات الأخرى المكونة للعطور. ونتيجة لذلك تكون أبطأ في سرعة انتشارها للتأكيد على إطلاق بصورة بطيئة ومستمرة للعطر. اكتب تقريراً عن كيمياء مكونات العطور مؤكداً على أهمية سرعة الانتشار بوصفها أحد صفات العطر.
91. **غاز البروبان** وقود شائع الاستعمال في مواقد الغاز وتدفئة البيوت، إلا أنه لا يعاب في حالته الغازية، بل يُسَيَّل ويطلق عليه اسم البروبان السائل. اعمل ملصق حائط لتوضيح فوائد ومساوئ تخزين ونقل البروبان سائلاً لا غازاً.
92. **بالون الهواء الساخن** حلم كثيرون فيما مضى بالقيام برحلة حول العالم بالون هواء ساخن، وهو حلم لم يتحقق حتى عام 1999م. اكتب تصوراتك عن الرحلة، وصف كيف تغير درجة الحرارة كيفية التحكم في ارتفاع البالون؟
93. **جهاز التنفس تحت الماء** ابحث في أثر منظمات الغاز الموجودة على أسطوانات الهواء التي يستعملها الغواصون وشرحه.

اختبار تراكمي مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

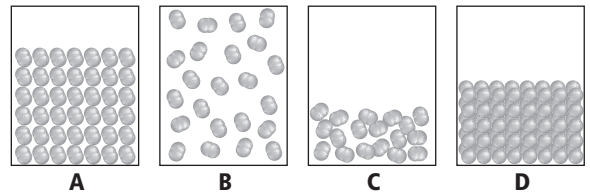
1. أي الجمل الآتية لا تتفق مع فرضيات نظرية الحركة الجزيئية؟

- التصادمات بين جزيئات الغاز مرنة.
- جزيئات العينة جميعها لها السرعة نفسها.
- لا تتجاذب جزيئات الغاز أو يتنافر بعضها مع بعض بصورة ملحوظة.
- للغازات جميعها عند درجة حرارة معينة متوسط الطاقة الحركية نفسها.

2. يحتوي دورق مغلق بإحكام على غازات النيون والكريبتون والأرجون، فإذا كان الضغط الكلي داخل الدورق 3.782 atm ، وكان الضغط الجزئي لكل من Kr و Ne هو 0.435 atm و 1.613 atm على التوالي، فما الضغط الجزئي لغاز Ar :

- 2.048 atm
- 1.734 atm
- 1556 atm
- 1318 atm

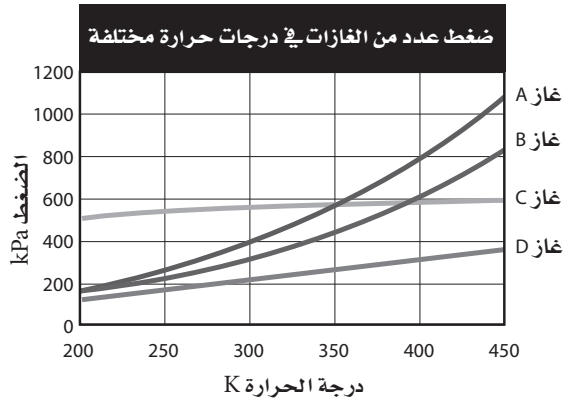
3. استعمل الرسوم الآتية للإجابة عن السؤال 3.



3. أي الرسوم الأربعة يبين المادة التي لها أضعف قوة بين جزيئية؟

- A
- B
- C
- D

استعمل الرسم البياني الآتي للإجابة عن السؤالين 4 و 5:



4. أي مما يأتي يوضحه الرسم البياني أعلاه:

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

5. أي الغازات الآتية يسلك سلوك الغاز المثالي؟

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

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤال 6:

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

6. يعد غاز الرادون من الغازات المشعة، وينتج عندما يتحلل

الراديويم في الصخور والتربة. وهو مادة مسرطنة. توضح البيانات أعلاه مستويات الرادون التي تم قياسها في مجتمع أسترالي. اختر طريقة لرسم هذه البيانات في رسم بياني. وشرح السبب.

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

1-2 تركيز المحالييل

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

2-2 العوامل المؤثرة في الذوبان

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

2-3 الخواص الجامعة للمحالييل

الفكرة الرئيسية تعتمد الخواص الجامعة على عدد الجسيمات المذابة في المحلول.

حقائق كيميائية

- حوالي 42.3% من الفولاذ المنتج سنوياً يأتي من إعادة التدوير.
- الحديد هو المكون الأساسي للفولاذ، لكن يمكن إضافة عناصر مثل النيكل والمنجنيز والكروم والفاناديوم والتنجستون حسب المواصفات المطلوبة.



فولاذ

نشاطات تمهيدية

نشاط استهلالي

كيف تتغير الطاقة عند تكوين المحاليل؟

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



خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. زن 10 g من كلوريد الأمونيوم NH_4Cl مستعملًا الميزان، ثم ضعها في كأس سعتهها 100 ml.
3. قس 30 ml من الماء باستعمال مخبر مدرج 50 ml، ثم أضف الماء إلى NH_4Cl ، وحرك المحلول بساق التحريك.
4. المس أسفل الكأس من الخارج وسجل ملاحظاتك.
5. كرر الخطوات من 2 إلى 4 باستعمال كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$.
6. تخلص من المحاليل برميتها في زجاجات التخلص من النفايات.

تحليل النتائج

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

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يتوقع من الطالب أن يكون قادرًا على:

- إجراء تجارب معملية لتحضير بعض المحاليل المائية.
- التعبير عن تراكيز المحاليل بطرق مختلفة (النسبة المئوية بالكتلة، النسبة المئوية بالحجم، المولارية، المولالية، الكسر المولي).
- إجراء حسابات كيميائية تتعلق بتركيز المحاليل.
- تحديد العوامل المؤثرة في الذوبانية.
- التمييز بين الأنواع المختلفة من المحاليل وفق حالة المذيب والمذاب وحجم الجسيمات.
- الربط بين التركيز المولي وبعض الخواص الفيزيائية للمحاليل.
- توضيح وتفسير المفاهيم المتعلقة بالخواص الجامعة للمحاليل وإجراء الحسابات المتعلقة بها.
- استقصاء وحل المشكلات المتعلقة بطبيعة المحاليل وأنواعها وخواصها.
- استخدام أدوات وأجهزة علمية لتسجيل بيانات وقياسها بدقة.
- تفسير البيانات المستقاة من الاستقصاءات باستخدام الحسابات والرسومات والنماذج وتكنولوجيا الحاسوب.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل وأنشطته ارجع إلى الموقع الإلكتروني لوزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين:

www.moe.gov.bh

تساؤلات جوهرية

- كيف يمكن وصف التركيز باستعمال وحدات مختلفة؟
- كيف تحدد تركيز المحاليل؟
- ما هي مولارية المحلول وكيف تُحسب؟

مراجعة المفردات

المذيب: المادة التي تذيب المذاب لتكوين محلول.

المفردات الجديدة

المادة الذائبة

المادة غير الذائبة

السوائل غير الممتزجة

التركيز

المولارية

المولالية

الكسر المولي

تركيز المحاليل Concentration of Solutions

الفكرة الرئيسية يمكن التعبير عن التركيز بالنسبة المئوية أو بالمول.

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

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

تكوين المحاليل تسمى المادة التي تذوب في المذيب **بالمادة الذائبة**. فمثلاً ذوبان السكر في الماء حقيقة يمكن أن تكون قد تعلمتها من خلال إذابة السكر في الماء لعمل شراب محلي كالشاي أو عصير الليمون. وتسمى المادتان السائلتان التي تذوب كل منهما في الأخرى بأي نسبة المواد القابلة للامتزاج، ومنها مانع التجمد المذكور في الجدول 2-1. وتسمى المادة التي لا تذوب في المذيب **مادة غير ذائبة**، ومنها الرمل في الماء، والزيت في الخل. وتسمى السوائل التي تمتزج معاً لفترة قصيرة، وتنفصل بعدها **السوائل غير الممتزجة**، ومنها الزيت والخل.

أنواع المحاليل وأمثلة عليها

الجدول 2-1

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



الشكل 2-1 تعكس شدة اللون تركيز الشاي، فتركيز الشاي ذي اللون الغامق أعلى من تركيز الشاي ذي اللون الفاتح.

التعبير عن التركيز Expressing Concentration

يعد تركيز المحلول مقياساً يعبر عن كمية المادة الذائبة في كمية محددة من المذيب أو المحلول. ويمكن التعبير عن التركيز وصفيًا باستعمال كلمة مركّز أو مخفّف. لاحظ إبريقي الشاي في الشكل 2-1؛ فأحد الإبريقين يحتوي شايًا مركّزًا أكثر من الآخر. وعمومًا يحتوي المحلول المركز كمية كبيرة من المذاب. فالشاي ذو اللون الغامق يحتوي على جسيمات شاي أكثر من الشاي ذي اللون الفاتح، والعكس صحيح؛ إذ يحتوي المحلول المخفّف على كمية أقل من المذاب؛ فالشاي ذو اللون الفاتح في الشكل 2-1 محلول مخفف يحتوي على جسيمات شاي أقل من الشاي ذي اللون الغامق.

وعلى الرغم من أن التعبير الوصفي عن التركيز مفيد، إلا أنه غالبًا ما يتم التعبير عن التركيز كمّيًا. ومن أكثر التعبيرات الكمية عن التركيز شيوعًا النسبة المئوية بالكتلة أو النسبة المئوية بالحجم أو المولارية أو المولالية. وكل هذه الطرائق تعبر عن التركيز بوصفه نسبة بين كمية المذاب وكمية المذيب أو المحلول ككل. ويحتوي الجدول 2-2 وصفًا لكل طريقة.

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

الجدول 2-2	
نسب التركيز	وصف التركيز
$100 \times \frac{\text{كتلة المذاب}}{\text{كتلة المحلول}}$	النسبة المئوية بالكتلة
$100 \times \frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}}$	النسبة المئوية بالحجم
$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول (بالتر)}}}$	المولارية
$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{كتلة المذيب kg}}$	المولالية
$\frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{عدد مولات المذاب + عدد مولات المذيب}}$	الكسر المولي

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

النسبة المئوية بالكتلة

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

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

مثال 2-1

حساب النسبة المئوية بالكتلة للمحافظة على تركيز كلوريد الصوديوم NaCl في حوض الأسماك، كما هو في ماء البحر، يجب أن يحتوي حوض الأسماك على 3.6 g NaCl لكل 100 g ماء. ما النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الصوديوم NaCl في المحلول؟

1 تحليل المسألة

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

المعطيات

كتلة المذاب = 3.6 g NaCl

كتلة المذيب = 100 g H₂O

المطلوب

النسبة المئوية = ؟

2 حساب المطلوب

جد كتلة المحلول

كتلة المحلول = كتلة المذيب + كتلة المذاب

عوض عن كتلة المذاب = 6.6 g، وكتلة المذيب = 100.0 g

احسب النسبة المئوية بالكتلة

اكتب معادلة النسبة المئوية بالكتلة

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

كتلة المحلول = 103.6 g = 100.0 g + 3.6 g

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

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

3 تقويم الإجابة

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

مسائل تدريبية

1. ما النسبة المئوية بالكتلة لمحلول يحتوي على 20.0 g من NaHCO₃ مذابة في 600.0 ml من H₂O إذا علمت أن كثافة الماء تساوي 1g/ml؟
2. إذا كانت النسبة المئوية بالكتلة لهيوكلورات الصوديوم NaOCl في محلول مبيض الملابس هي 3.62%، وكان لديك 1500.0 g من المحلول فما كتلة NaOCl الموجودة في المحلول؟
3. ما كتلة المذيب في المحلول المذكور في السؤال 2؟
4. تحدّد كانت النسبة المئوية لكتلة كلوريد الكالسيوم في محلول هي 2.62%، فإذا تم استعمال 50.0 g من كلوريد الكالسيوم فما كتلة المحلول؟



الشكل 2-2 الديزل الحيوي هو وقود بديل ينتج من مصادر متجددة مثل الزيت النباتي.

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

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

النسبة المئوية بالحجم تساوي حجم المذاب مقسوماً على حجم المحلول مضروباً في 100

يعد الديزل الحيوي الموضح في الشكل 2-2 وقوداً بديلاً نظيفاً للاحتراق، ينتج عن مصادر متجددة، ويستعمل في محركات الديزل مع القليل من التعديلات. والديزل الحيوي سهل الاستعمال وقابل للتحلل الحيوي، وغير سام، ولا يحتوي على الكبريت أو المركبات الأروماتية (العطرية)، كما أنه لا يحتوي على النفط، ولكن يمكن مزجه مع ديزل "النفط" لتكوين الديزل الحيوي الممزوج.

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

مسائل تدريبية

5. ما النسبة المئوية بالحجم للإيثانول في محلول يحتوي على 5 ml إيثانول مذاب في 155 ml ماء.
6. ما النسبة المئوية بالحجم لكحول أيزوبروبيل، في محلول يحتوي على 24 ml من كحول الأيزوبروبيل في 1.1 L من الماء؟
7. تحدد إذا استعمل 18 ml من الميثانول لعمل محلول مائي تركيزه 15% من الميثانول بالحجم، فما حجم المحلول الناتج بالمليتر؟

المرأة والعلم:

مختبر المطبخ... يعتبر المطبخ المنزلي مكاناً مثاليًا لإجراء مختلف التجارب البسيطة والمعقدة ومن بينها تحضير العديد من المحاليل... انجز بحثاً إلكترونيًا يصف أهمية المحاليل وأمثلة عن أنواعها وكيفية تحديد تراكيزها بالطرق المتاحة في المطبخ.

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

المولارية

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

المولارية هي عدد مولات المذاب مقسومة على حجم المحلول باللتر.

ماذا قرأت؟ حدد التركيز المولاري لمحلول حجمه 1.0 L، ويحتوي 0.5 mol من المذاب؟

حساب المولارية يحتوي 100.5 ml من محلول حقن الوريد على 5.10 g سكر الجلوكوز $C_6H_{12}O_6$. فما مولارية هذا المحلول إذ علمت أن الكتلة المولية (MM) للجلوكوز هي 180.16g/mol؟

1 تحليل المسألة

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

المطلوب

تركيز المحلول = M ؟

المعطيات

كتلة المذاب = 5.10 g $C_6H_{12}O_6$

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

حجم المحلول = 100.5 ml

2 حساب المطلوب

احسب عدد مولات $C_6H_{12}O_6$

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

$$5.10 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180.16 \text{ g } C_6H_{12}O_6} = 0.0283 \text{ mol } C_6H_{12}O_6$$

وحول حجم H_2O إلى وحدة لتر

$$100.5 \text{ ml} \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} = 0.1005 \text{ L} \text{ من المحلول}$$

$$\text{عدد مولات المذاب} / \text{حجم المحلول (بالتر)} = M \quad 0.0282 \text{ mol} = M$$

وحجم المحلول = 0.1005 L

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

اقسم الأرقام والوحدات

3 تقويم الإجابة

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

مسائل تدريبية

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

9. احسب مولارية 1.60 L من محلول يحتوي على 1.55 g من KBr الذائب.

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

11. تحدّد ما كتلة هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ بوحدة g اللازمة لإنتاج 1.5 L من محلول تركيزه 0.25 M؟

مهزن في الكيمياء

فنيو الصيدلية يعتمد الكثير من الصيادلة على الفنيين لتحضير الأدوية المناسبة للوصفات الطبية. يقرأ هؤلاء الفنيون تحاليل وتقارير المريض والوصفات الطبية من أجل تحضير التركيز المناسب أو الجرعة المناسبة من الأدوية التي ستعطى للمريض.



استخدم التكنولوجيا

نحو الذكاء الاصطناعي؛

بالاستعانة بمعلومات رقمية، صمّم مخططاً انسيابياً يوضح كيف يمكن أن تتغير الطاقة خلال عملية تحضير محلول معين... هل يمكن لجهاز الكمبيوتر أن يتوقع هذا التغير في الطاقة من خلال اسم كلّ من المذيب والمذاب دون معطيات إضافية؟



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



خطوة 2 يضاف المذاب إلى قارورة حجمية مناسبة.



خطوة 1 تقاس كتلة المذاب.

الشكل 2-3 يشمل تحضير محلول كبريتات النحاس بدقة عدة خطوات.

فسر لماذا لا يمكنك وضع 375 g من كبريتات النحاس مباشرة في 1.0 L من الماء للحصول على محلول تركيزه 1.5 M؟

تحضير المحاليل القياسية الآن وبعد أن أصبحت تعرف كيفية حساب مولارية المحلول، كيف يمكنك تحضير محلول مائي حجمه 1 L وتركيزه 1.50 M من كبريتات النحاس II المائية $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ؟ يحتوي محلول $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ الذي تركيزه 1.5 M على 1.5 mol مذابة في 1 L من المحلول. فإذا عرفت أن الكتلة المولية للمركب $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ هي 249.70g، وأن المحلول يحتوي 1.50 mol من $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ كتلتها 375g وهي كتلة يمكن قياسها بالميزان.

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

ولكن لا يمكنك إضافة 375 g من $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ إلى 1.0 L من الماء للحصول على محلول تركيزه 1.5M ومثل المواد الأخرى تعمل $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. على زيادة حجم المحلول عن الحجم المطلوب. لذلك يجب استعمال كمية من الماء تقل عن 1.0 L للحصول على 1.0 L من المحلول، كما هو موضح في الشكل 2-3. وعادة نقوم بعمل تجارب تتطلب استهلاك كميات صغيرة من المحلول. قد تحتاج مثلاً إلى 100 ml من $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1.50 M لإجراء إحدى التجارب. ارجع إلى تعريف المولارية مرة أخرى، ومن خلال الحسابات السابقة، يحتوي محلول $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ الذي تركيزه 1.50 M على 1.5 mol $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ لكل لتر من المحلول، لذلك يحتوي 1 L من المحلول على 375 g من $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. يمكن استعمال هذه العلاقة بوصفها معامل تحويل لحساب كمية المذاب اللازمة لتجربتك.

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

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

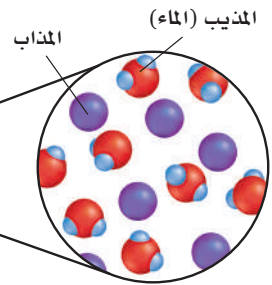
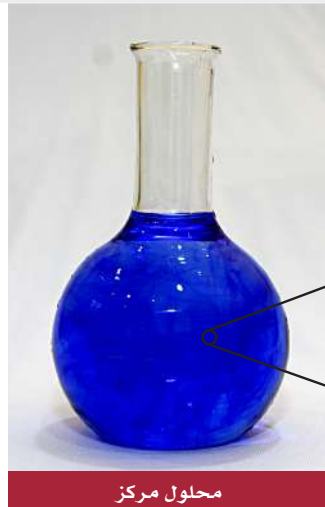
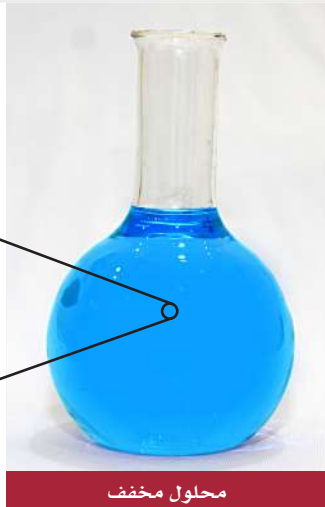
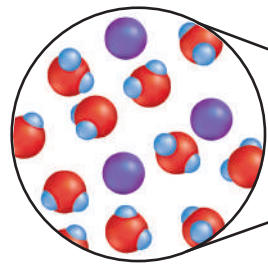
مسائل تدريبية

12. ما كتلة CaCl_2 الذائبة في 1 L من محلول تركيزه 0.10 M؟

13. ما كتلة CaCl_2 اللازمة لتحضير 500.0 ml من محلول تركيزه 0.20 M؟

14. ما كتلة NaOH الموجودة في 250 ml من محلول تركيزه 3.0 M؟

15. **تحذّر** ما حجم الإيثانول الموجود في 100.0 ml من محلول تركيزه 0.15 M؟ إذا علمت أن كثافة الإيثانول هي 0.7893 g/ml



الشكل 2-4 يمكن تخفيف المحلول المركز بإضافة كمية من المذيب. لاحظ أن عدد مولات المذاب لا يتغير عند تخفيف المحلول المركز.

تخفيف المحاليل المولارية تستعمل في المختبر محاليل لها مولارية قياسية تسمى المحاليل القياسية، ومنها محلول حمض الهيدروكلوريك HCl الذي تركيزه 12 M. تذكر أن المحاليل المركزة تحتوي على كمية كبيرة من المذاب. ويمكنك تحضير محلول أقل تركيزاً عن طريق تخفيف كمية من المحلول القياسي بإضافة المذيب. وعندما تضيف المزيد عدد جسيماته التي تتحرك خلالها جسيمات المذاب، كما هو موضح في الشكل 2-4، ومن ثم يقل تركيز المحلول.

كيف يمكنك تحديد حجم المحلول القياسي اللازم تخفيفه؟ إذا أعدت ترتيب تعبير المولارية أمكنك حساب عدد مولات المذاب.

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

$$\text{عدد مولات المذاب} = \text{المولارية} \times \text{حجم المحلول بالتر.}$$

حيث إن عدد مولات المذاب لا تتغير بالتخفيف فإن عدد مولات المذاب في المحلول قبل التخفيف يساوي عدد مولات المذاب بعد التخفيف.

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

معادلة التخفيف

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$M = \text{المولارية}$$

$$V = \text{الحجم}$$

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

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

المفردات

مضردات أكاديمية

مركز **Concentrated**

أضفنا ماء أكثر إلى عصير الليمون؛ لأنه مركز جداً.



المختبر الافتراضي

استعن بأدوات المختبر الافتراضي لتحضير محاليل ثم تخفيفها، وحدد في كل مرة تركيزها بوحدة قياس من اختيارك.

تخفيف المحلول القياسي إذا كنت تعرف حجم وتركيز المحلول المطلوب تحضيره يمكنك حساب حجم المحلول القياسي الذي تحتاج إليه. ما الحجم اللازم بالملترات لتحضير محلول من كلوريد الكالسيوم CaCl_2 تركيزه 0.300 M وحجمه 0.5 L ، إذا كان تركيز محلوله القياسي 2.00 M ؟

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت مولارية محلول قياسي من كلوريد الكالسيوم CaCl_2 والمولارية والحجم للمحلول بعد التخفيف، وباستعمال العلاقة بين المولارية والحجم يمكن إيجاد حجم المحلول القياسي اللازم بالملتر ثم تحويله إلى مللتر.

المطلوب
 $V_1 = ?\text{ ml}$

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

2 حساب المطلوب

حل العلاقة المولارية والحجم لإيجاد حجم المحلول القياسي V_1

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

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

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

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

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

قس 75 ml من مخزون المحلول، ثم خففه بكمية الماء اللازمة للحصول على الحجم النهائي 0.5 L

اكتب معادلة التخفيف

حل لإيجاد V_1

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

اضرب واقسم الأرقام والوحدات

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

3 تقويم الإجابة

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

مسائل تدريبية

16. ما حجم محلول قياسي من KI تركيزه 3.00 M اللازم لتحضير محلول KI تركيزه 1.25 M وحجمه 0.300 L ؟

17. ما حجم محلول قياسي من H_2SO_4 تركيزه 0.50 M بالملترات اللازم لتحضير 100.0 ml من محلول H_2SO_4 بتركيز 0.25 M ؟

18. تحدّد إذا خفّف محلول قياسي من HCl تركيزه 5 M ، وحجمه 0.5 L إلى حجم 2 L ، فما كتلة HCl الموجودة في المحلول؟

المولالية (التركيز المولالي) يتغير حجم المحلول عند تغير درجة الحرارة، فيتمدد أو يتقلص، مما يؤثر في مولارية المحلول. ولا تتأثر الكتلة بدرجات الحرارة، لذا من المفيد أحيانا التعبير عن تركيز المحاليل بعدد مولات المذاب الموجودة في كتلة معينة من المذيب. ويسمى مثل هذا التعبير **المولالية** ويرمز له بالرمز m' ، وهي نسبة عدد مولات المذاب الذائبة في 1 kg من المذيب. ويكون تركيز المحلول الذي يحتوي على 1 mol من المذاب في 1 kg من المذيب $1m'$ (1 محلول مولالي).

المولالية

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

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

مثال 4-2

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

1 تحليل المسألة

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

المعطيات

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

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

المطلوب

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

2 حساب المطلوب

احسب عدد مولات NaCl

حول كتلة H_2O من جرامات إلى كيلوجرامات باستعمال معامل

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

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

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

عوض بالمعطيات في معادلة المولالية.

اكتب معادلة المولالية

عوض عن عدد مولات المذاب 0.077 mol NaCl وكتلة

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

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

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

3 تقويم الإجابة

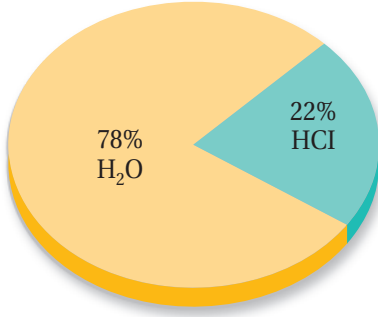
هناك أقل من 1/10 mol من المذاب في 1/10 Kg من الماء، لذا ستكون المولالية أقل من واحد، وهي كذلك.

مسائل تدريجية

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

20. تحدّد ما كتلة $\text{Ba}(\text{OH})_2$ بالجرامات اللازمة لتحضير محلول مائي تركيزه $1.00 m'$ ؟

محلول حمض الهيدروكلوريك



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

$$0.22 + 0.78 = 1.00$$

الشكل 2-5 يشير الكسر المولي الى عدد مولات المذاب والمذيب بالنسبة إلى عدد المولات الكلي في المحلول. ويمكن النظر إلى الكسر المولي كنسبة مئوية.

مثال:

الكسر المولي للماء يساوي 78%، وهذا يماثل النسبة المئوية للماء.

الكسر المولي إذا عرفت عدد مولات المذاب والمذيب أمكنك التعبير عن تركيز المحلول بما يعرف **بالكسر المولي**، وهو نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول إلى عدد المولات الكلية للمذيب والمذاب. يستعمل الرمز X عادة للكسر المولي مع الإشارة بخط صغير إلى المذيب والمذاب. ويمكن التعبير عن الكسر المولي للمذيب X_A والكسر المولي للمذاب X_B كما يأتي:

الكسر المولي

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

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

يساوي الكسر المولي عدد مولات المذاب في المحلول مقسومًا على العدد الكلي لعدد مولات المذاب والمذيب.

فعلی سبیل المثال: يحتوي 100 g من محلول حمض الهيدروكلوريك على 36 g HCl و 64 g H₂O، كما هو موضح في الشكل 2-5. ولتحويل هذه الكتل إلى مولات عليك استعمال الكتل المولية ومعامل التحويل.

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

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

الكسر المولي لكل من الماء وحمض الهيدروكلوريك كما يأتي:

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

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

مسائل تدريبية

21. ما الكسر المولي ل NaOH في محلول مائي يحتوي على 22.8% بالكتلة من NaOH؟

22. تحدّد إذا كان الكسر المولي لحمض الكبريتيك H₂SO₄ في محلول مائي يساوي 0.125، فما النسبة المئوية بالكتلة لحمض الكبريتيك؟

تقويم الدرس 1-2

الخلاصة

- يقاس التركيز كماً ونوعاً.
 - المولارية هي عدد مولات المذاب في 1.0 L من المحلول.
 - المولالية هي نسبة عدد مولات المذاب في 1.0 kg من المذيب.
 - لا يتغير عدد مولات المذاب خلال التخفيف.
23. الفكرة الرئيسية: قارن بين خمس طرائق للتعبير عن تراكيز المحاليل.
24. اشرح التشابه والاختلاف بين 1M من محلول NaOH و 1m³ من محلول NaOH.
25. احسب النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الصوديوم في علبة حساء الدجاج إذا احتوت على 450 mg كلوريد الصوديوم في 240.0 g من الحساء.
26. أوجد كتلة كلوريد الأمونيوم NH₄Cl بالجرامات اللازمة لتحضير محلول مائي حجمه 2.5 L وتركيزه 0.5 M.
27. لخص الخطوات العملية لتحضير محلول مخفف بحجم معين من المحلول القياسي المركز.

2-2

تساؤلات جوهرية

• كيف تؤثر قوى التجاذب بين الجزيئية على الذوبان؟

• ما هي الذوبانية؟

• ما هي العوامل المؤثرة في الذوبانية؟

مراجعة المفردات

طارد للحرارة: التفاعل الكيميائي الذي يعطي طاقة أكثر مما يحتاج ليكسر الروابط في المواد المتفاعلة.

مفردات جديدة

الذوبان

حرارة المحلول

المحلول غير المشبع

المحلول المشبع

المحلول فوق المشبع

قانون هنري

العوامل المؤثرة في الذوبان Factors Affecting Solvation

الفكرة الرئيسية يؤثر كل من الحرارة والضغط والقطبية في تكوين المحاليل.

الربط مع الحياة عند تحضير حساء من خليط جاف فإنك تضيف الماء البارد إلى الخليط ثم تحركه، وسوف تلاحظ أن كمية قليلة من المسحوق ذابت في البداية، وبعد تسخينه وتحريكه مرة أخرى تجد أن المسحوق قد ذاب وأصبح لديك حساء متماسكًا.

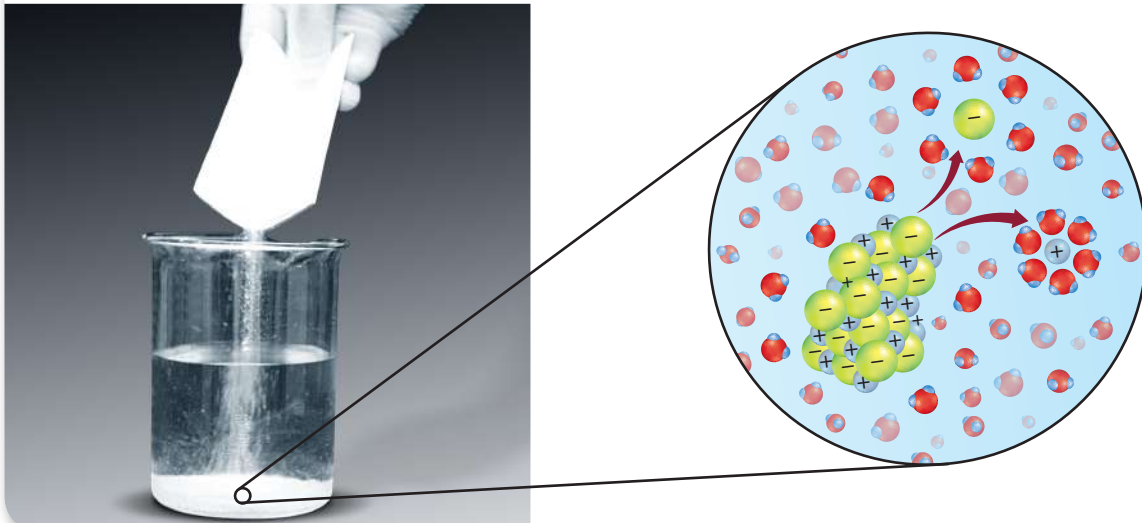
عملية الذوبان The Solvation Process

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

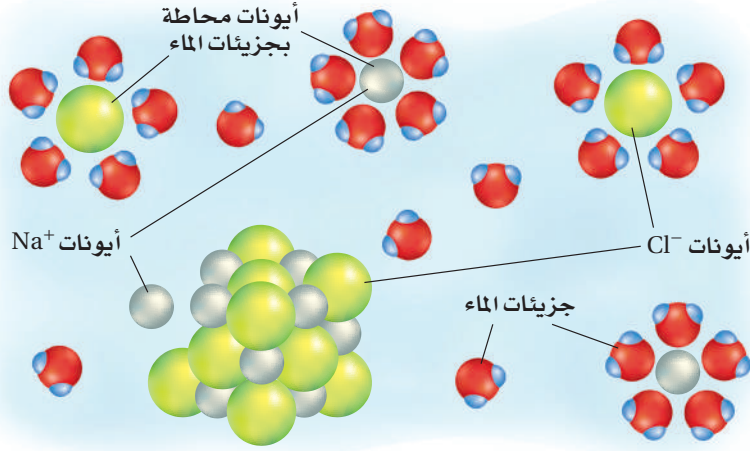
فعند وضع مذاب صلب في مذيب، تحيط جسيمات المذيب بسطح المذاب الصلب تمامًا. فإذا كانت قوى التجاذب المتكونة بين جسيمات المذاب والمذيب أكبر من قوى التجاذب بين جسيمات المذاب نفسه فسوف تجذب جسيمات المذيب جسيمات المذاب، وتفصل بعضها عن بعض وستحيط بها. ثم تتعد جسيمات المذاب المحاطة بجسيمات المذيب عن المذاب الصلب،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

وتسمى عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب **الذوبان**، كما هو موضح في الشكل 2-6، فالمذيب يذيب شبيهه "like dissolves like"، قاعدة عامة تستعمل لتحديد ما إذا كانت عملية الذوبان تحدث في مذيب معين أم لا. ولتحديد ما إذا كان المذيب والمذاب متماثلين يجب دراسة قطبية الجزيئات وروابط كل منها.

الشكل 2-6 يبدأ الملح بالانفصال عندما يوضع في الماء. تسحب جسيمات المذاب من الحالة الصلبة وتحاط بجسيمات المذيب.



ذوبان ملح الطعام NaCl في الماء



الشكل 2-7 يذوب كلوريد الصوديوم في الماء عندما تحيط جزيئات الماء بأيونات الصوديوم والكلوريد. لاحظ كيف تحيط جزيئات الماء القطبية حول كل من أيونات الكلور السالبة وأيونات الصوديوم الموجبة الموجبة والسالبة.

محاليل المركبات الأيونية تعلم أن جزيئات الماء تعد جزيئات قطبية، وتتحرك بصورة مستمرة بحسب نظرية الحركة الجزيئية. فعند وضع بلورة من مركب أيوني مثل كلوريد الصوديوم في الماء تصطدم جزيئات الماء بسطح البلورة. وعندها تجذب أطراف جزيئات الماء المشحونة أيونات الصوديوم الموجبة وأيونات الكلوريد السالبة. وهذا التجاذب بين الأقطاب والأيونات هو أكبر من التجاذب بين الأيونات في البلورة. لذلك تنزلق الأيونات مبتعدة عن سطح البلورة. وتحيط جزيئات الماء بالأيونات وتتحرك هذه الأيونات نحو المحلول مبتعدة عن الحالة الصلبة كما هو موضح في الشكل 2-7، معرضة أيونات أخرى على سطح البلورة للذوبان، وهكذا تستمر عملية الذوبان حتى تذوب البلورة كلها.

لا يمكن إذابة جميع المركبات الأيونية في الماء، فالجس مثلاً لا يذوب في الماء؛ لأن قوى التجاذب بين أيونات الجبس قوية؛ بحيث لا تستطيع قوى التجاذب بين جزيئات الماء والأيونات التغلب عليها. ولقد ساهمت اكتشافات محاليل ومخاليط معينة - ومنها الجبيرة الطبية المحضرة من الجبس - في تطوير الكثير من المنتجات والعمليات، كما هو موضح في الشكل 2-8.



المختبر الافتراضي

شاهد حركة الذرات والجزيئات والأيونات عند ذوبان مركبات مختلفة في الماء.

الشكل 2-8 كيمياء المحاليل ساهم

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

1916م طور الأطباء محلول الجلوسرين الذي يسمح بتخزين الدم لعدة أسابيع بعد سحبه.



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

1910

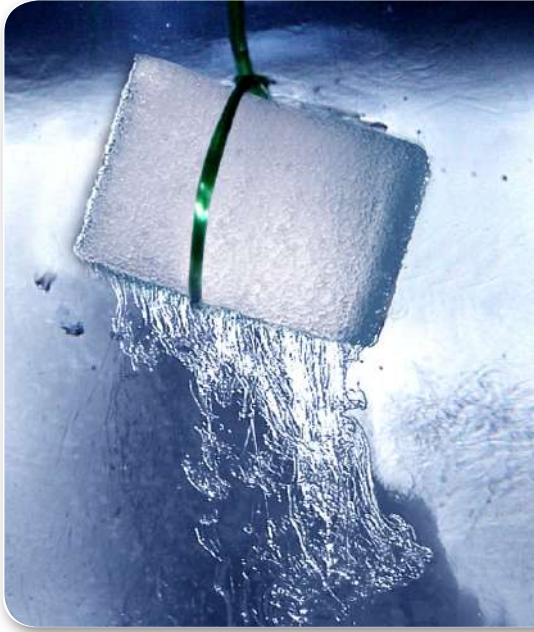
1890

1870

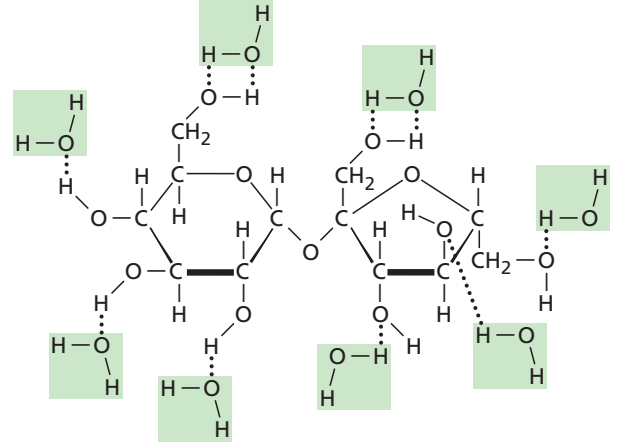
1899م أحدثت تقنية أخذت براءة اختراع في التقليل من حجم حبيبات الدهن الذائبة في الحليب الخام؛ لمنع تكون طبقة زبد في عملية تسمى التجانس.

1866م كان اختراع السلولويد، وهو عبارة عن محلول من الكافور والسليلوز في بدايات صناعة البلاستيك.





الشكل 2-9 يحتوي جزيء السكر على 8 روابط O-H قطبية، وتكوّن جزيئات الماء القطبية روابط هيدروجينية مع O-H، التي تسحب السكر نحو المحلول.



محاليل المركبات الجزيئية يعد الماء مذيبيًا جيدًا للكثير من المركبات الجزيئية. فسكر المائدة عبارة عن المركب الجزيئي السكر، وتحتوي جزيئاته القطبية على عدة روابط من O-H، كما هو موضح في الشكل 2-9. وبمجرد ملامسة بلورات السكر الماء، تصطدم جزيئات الماء بالسطح الخارجي للبلورات، وتصبح كل O-H موقعًا لتكوين روابط هيدروجينية مع الماء، لذا يتم التغلب على قوى التجاذب بين جزيئات السكر بقوى التجاذب التي تتكون بين جزيئات السكر وجزيئات الماء القطبية، فتترك جزيئات السكر البلورة، وتصبح ذائبة في الماء. يتكون الزيت من الكربون والهيدروجين، ولا يكون محلولاً مع الماء؛ وذلك لأن قوى التجاذب التي تتكون بين جزيئات الماء القطبية وجزيئات الزيت غير القطبية ضعيفة. إلا أنه يمكن تنظيف الزيت المنسكب بمذيب غير قطبي؛ لأن المذاب غير القطبي يذوب بسهولة أكبر في المذيب غير القطبي.



1964م اكتشفت ستيفاني كوالك القماش الصناعي من بلورات سائلة في المحلول. وهو أكثر صلابة من الفولاذ وأخف من الألياف الزجاجية.

2003م طور العلماء عينات كيميائية تزيل الفلزات السامة والمبيدات الحشرية، وتقتل مسببات الأمراض في مياه الشرب، ويمكن توزيعها على الناجين من الكوارث الطبيعية.

2010

1990

1970

1950

2012م يشير العمل المبكر إلى أن بكتيريا **GFAJ-1** يمكنها استخدام الزرنيخ بدلا من الفوسفور في الجزيئات الحيوية. ومع ذلك، تُظهر الأبحاث الأخرى أن البكتيريا، على الرغم من تحملها للزرنيخ، تمتص الفوسفور من المحلول لبناء هذه الجزيئات.

1980م تم تطوير لوح من الجبس بوصفه نظام مانع للنار، يفصل بين المنزل ووحدات التحكم الثنائية.

1943م أول كلية صناعية تخلص الجسم من السموم وتذوب في دم المريض.

حرارة المحلول تنفصل جسيمات المذاب بعضها عن بعض خلال عملية الذوبان، وتتباعد جسيمات المذيب لتسمح لجسيمات المذاب بالدخول بينها. ويلزم طاقة للتغلب على قوى التجاذب الموجودة بين جسيمات المذاب وجسيمات المذيب، لذلك فكلتا الخطوتين ماصة للطاقة. وعند مزج جسيمات المذيب مع المذاب تتجاذب جسيمات المادتين، وتنتقل الطاقة، وبذلك تكون عملية الذوبان طاردة للطاقة. ويسمى التغير الكلي للطاقة الذي يحدث خلال عملية تكون المحلول **حرارة المحلول**.

وكما لاحظت في النشاط الاستهلاكي أن بعض المحاليل تنتج الطاقة في أثناء تكونها، بينما بعضها الآخر يحتاج أو يمتص طاقة خلال تكونه. فمثلاً يصبح الوعاء بارداً بعد ذوبان نترات الأمونيوم في الماء، بينما يصبح الوعاء ساخناً عند ذوبان كلوريد الكالسيوم في الماء.

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

العوامل المؤثرة في سرعة الذوبان Factors That Affect Solvation

يحدث الذوبان عندما تتصل جسيمات المذاب والمذيب ببعضها ببعض. ويبين الشكل 10-2 ثلاث طرائق شائعة لزيادة التصادمات بين جسيمات المذاب والمذيب، ومن ثم زيادة سرعة الذوبان، وهي: التحريك، وزيادة مساحة سطح المذاب، ورفع درجة حرارة المذيب.

التحريك يعمل تحريك المحلول على إبعاد جسيمات المذاب عن سطح الاتصال بسرعة أكبر، وبذلك يسمح لحدوث تصادمات أخرى بين جسيمات المذاب والمذيب. وبدون تحريك المحلول تتحرك الجسيمات المذابة بعيداً عن مناطق الاتصال ببطء.

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

الحرارة تتأثر سرعة الذوبان بالحرارة، فمثلاً، يذوب السكر في الشاي الساخن بسرعة أكبر من ذوبانه في الشاي المثلج، كما في الشكل 10-2. وكذلك فإن المذيب الساخن يذيب كمية أكبر مقارنة بالمذيب البارد. لذلك يستوعب الشاي الساخن سكرًا ذائبًا أكثر من الشاي المثلج، ومع زيادة الحرارة فإن معظم المواد الصلبة تسلك سلوك السكر نفسه عند الذوبان. ولكن يقل ذوبان بعض المواد الأخرى، ومنها الغازات، بزيادة الحرارة، مما يجعل المشروبات الغازية تفقد طعمها اللاذع أسرع عند درجة حرارة الغرفة مقارنة بالمشروبات الغازية الباردة.



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



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



يذوب السكر المطحون بسرعة كبيرة جدًا في الشاي الساخن.

الشكل 10-2 يؤثر كل من التركيب والحرارة والتحريك في سرعة الذوبان.

الذوبانية Solubility

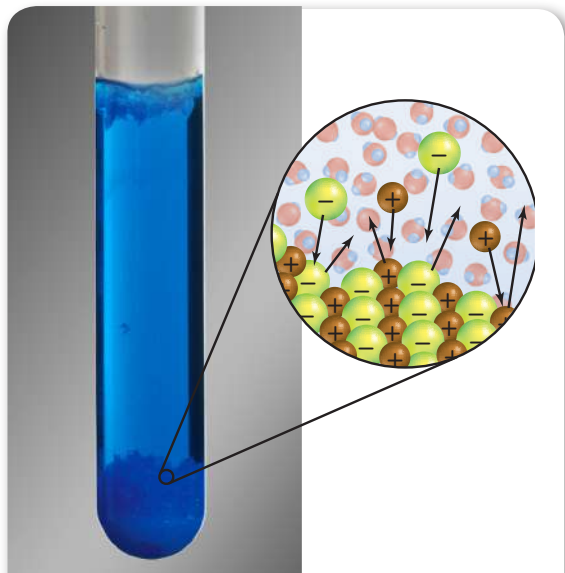
كما يمكن فهم الذوبان على مستوى الجسيمات يمكن كذلك فهم الذوبانية على مستوى الجسيمات. تعتمد ذوبانية المذاب على طبيعة كل من المذاب والمذيب؛ فعند إضافة المذاب إلى المذيب تتصادم جسيمات المذيب مع جسيمات سطح المذاب وتبدأ جسيمات المذاب في الاختلاط مع جسيمات المذيب عشوائياً. وتبدأ جسيمات المذاب في الابتعاد عن البلورة أولاً، إلا أنه مع زيادة عدد الجسيمات المذابة يزيد عدد التصادمات بين جسيمات المذاب وبقية البلورة. ونتيجة الحركة العشوائية نفسها تصطدم بعض جسيمات المذاب بسطح البلورة، مما يجعل بعض الجسيمات تتبلور مرة أخرى، كما هو موضح في الشكل 11-2. ومع استمرار عملية الذوبان تزداد سرعة التبلور، بينما تبقى سرعة الذوبان ثابتة. ويستمر الذوبان ما دامت سرعة الذوبان أعلى من سرعة التبلور.

واعتماداً على كمية المذاب، قد تتساوى سرعة الذوبان والتبلور في نهاية المطاف. وعند هذه النقطة لا يذوب المزيد من المذاب ويصل المحلول إلى حالة من الاتزان الديناميكي بين التبلور والذوبان ما بقيت درجة الحرارة ثابتة. **المحلول غير المشبع** المحلول غير المشبع هو المحلول الذي يحتوي على كمية مذاب أقل من اللازم عند درجة حرارة وضغط معينين. ويمكن إضافة كميات أكثر من المذاب إلى المحلول غير المشبع.

المحلول المشبع رغم استمرار ذوبان جسيمات المذاب وتبلورها في المحلول الذي وصل إلى حالة الاتزان إلا أن كمية المذاب في المحلول تبقى ثابتة. يعرف مثل هذا المحلول الموضح في الشكل 11-2 بالمحلول المشبع، وهو يحتوي على أكبر كمية من المذاب في كمية محددة من المذيب عند درجة حرارة وضغط معينين.

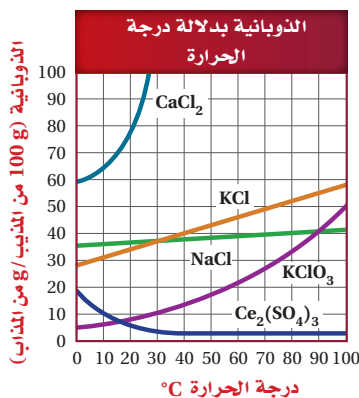
الحرارة والمحاليل فوق المشبعة تتأثر الذوبانية بارتفاع درجة حرارة المذيب؛ حيث تزداد طاقة حركة جسيماته، فتزداد التصادمات ذات الطاقة العليا مقارنة بالتصادمات عند درجة حرارة منخفضة. إن ذوبانية الكثير من المواد أكبر عند درجات الحرارة العليا، كما في الشكل 12-2. فمثلاً تساوي ذوبانية كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ 64 g لكل 100g H_2O عند درجة حرارة $10^\circ C$ ، وعند زيادة درجة الحرارة إلى $27^\circ C$ تزداد ذوبانية $CaCl_2$ من 50% لكل 100 g من H_2O تقريباً.

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



الشكل 11-2 سرعة الذوبان في المحلول المشبع تساوي سرعة التبلور، ولذلك لا تتغير كمية المذاب.

الشكل 12-2 يبين الرسم البياني أدناه ذوبانية عدة مواد عند درجات حرارة مختلفة.



✓ **قراءة الرسم البياني**

حدد ذوبانية NaCl عند $80^\circ C$

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

* L/1 L H₂O في حالة الغاز عند الضغط الجوي القياسي 101 kPa

يمكن توضيح تأثير درجة الحرارة على ذوبانية المواد من خلال البيانات الموجودة في الجدول 2-3. تلاحظ أن 203 g من السكروز C₁₂H₂₂O₁₁ تذوب في 100 g من الماء عند درجة حرارة 20°C. بينما يذوب 484.2 g من السكروز في 100 g من الماء عند درجة حرارة 100°C، وهذا يعني زيادة قابلية الذوبان 140% تقريباً. وحقيقة أن الذوبانية تتغير عند تغير درجة الحرارة، وإن بعض المواد تصبح أكثر قابلية للذوبان عند زيادة درجة الحرارة، هي المفتاح الأساسي لتكوين المحاليل فوق المشبعة. يحتوي المحلول فوق المشبع على كمية أكبر من المادة المذابة مقارنة بمحلول مشبع عند درجة الحرارة نفسها. ولعمل محلول فوق مشبع يتم تحضير محلول مشبع عند درجة حرارة عالية، ثم يبرد تدريجياً وببطء. إذ يسمح التبريد البطيء للمادة المذابة الزائدة أن تبقى مذابة في المحلول عند درجات حرارة منخفضة كما هو موضح في الشكل 2-13.

المفردات

أصل الكلمة

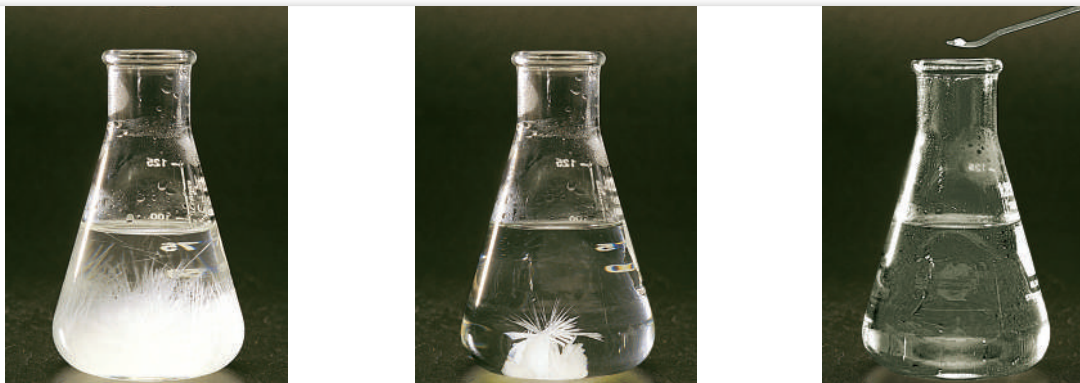
مُشبع (Saturated)

مشتقة من كلمة لاتينية

(Saturatus) وتعني يُشبع أو يملأ.

الشكل 2-13 عند

إضافة نوى التبلور إلى محلول فوق مشبع تتبلور المادة المذابة الزائدة.



الشكل 14-2 تعد الرواسب المعدنية في
الينابيع الحارة مثلاً على تكون البلورات
بفعل المحاليل فوق المشبعة .



الكيمياء الخضراء



البيئة البحرية:

يوجد في مملكة البحرين العديد
من الجزر، وترسب على سواحلها
أملاح لمعادن مختلفة....

قم بتحقيق افتراضي حول هذه
الأملاح وذوبانيتها من أجل
الحصول على معلومات حول
أهمية العوامل المؤثرة في الذوبانية...

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل

الاستعمال الشائع

الضغط (Pressure)

الاستعمال العلمي: القوة المبذولة
على وحدة المساحة. خلال تسرب
غاز ثاني أكسيد الكربون من المحلول
يزداد الضغط داخل القارورة المغلقة.
الاستعمال الشائع: الجهد الفيزيائي
أو الإجهاد الذهني. هناك الكثير
من الضغط للقيام بأداء جيد في
الامتحانات

المحاليل فوق المشبعة غير ثابتة؛ فعند إضافة قطعة صغيرة من المذاب - تسمى نواة التبلور -
إلى محلول فوق مشبع ترسب المادة المذابة الزائدة بسرعة، كما هو موضح في الشكل 13-2.
ويمكن أن يحدث التبلور إذا كان الجزء الداخلي من الوعاء مخدوشاً أو تعرض المحلول فوق
المشبع إلى الحركة أو رج الوعاء. وباستعمال يوديد الفضة AgI بوصفه نوى تكاثف في الهواء
فوق المشبع ببخار الماء يؤدي تجمع جزيئات الماء إلى تكون قطرات قد تسقط على الأرض
على شكل مطر. تسمى هذه الآلية استمطار الغيوم. ويتكون سكر النبات والرواسب المعدنية
على حواف الينابيع المعدنية - كالتي تظهر في الشكل 14-2 - من محاليل فوق مشبعة.

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

الضغط وقانون هنري يؤثر الضغط في ذوبانية المواد المذابة الغازية في المحاليل، فكلما
ازداد الضغط الخارجي - الضغط فوق المحلول - زادت ذوبانية الغاز في أي مذيب. تعتمد
المشروبات الغازية على هذا المبدأ؛ حيث تحتوي المرطبات الغازية على غاز ثاني أكسيد الكربون
الذائب في محلول مائي. لذا يذاب ثاني أكسيد الكربون في المحلول في أثناء عملية التعبئة عند
ضغط أعلى من الضغط الجوي، وعند فتح علبة المشروب الغازي يكون ضغط غاز ثاني
أكسيد الكربون أعلى من الضغط الواقع على العلبة، ونتيجة لذلك تتصاعد فقاعات غاز ثاني
أكسيد الكربون من المحلول إلى السطح وتتطاير، إلا إذا كانت العلبة مغلقة. وتستمر هذه
العملية إلى أن يفقد المحلول تقريباً غاز ثاني أكسيد الكربون كله، ويصبح المحلول بلا طعم.
ويمكن وصف انخفاض ذوبانية غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود في المشروب الغازي بعد
فتح العبوة بقانون هنري.

ينص **قانون هنري** على "تناسب ذوبانية الغاز في سائل عند درجة حرارة معينة طردياً مع ضغط الغاز الموجود فوق السائل". فعندما تكون زجاجة الصودا مغلقة - كما هو موضح في الشكل 15-2 يعمل الضغط الواقع فوق المحلول على إبقاء غاز ثاني أكسيد الكربون داخل المحلول. ويمكن تمثيل هذه العلاقة على النحو الآتي:

قانون هنري

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

S يمثل الذوبانية

P يمثل الضغط

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

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

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

بالضرب التبادلي نحصل على:

$$P_1 S_2 = S_1 P_2$$

وبقسمة الطرفين على P_1 يعطي المعادلة الآتية:

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

الشكل 15-2 ثاني أكسيد الكربون CO_2 مذاب في الصودا، كما يوجد بعض الغاز فوق السائل.

فسر لماذا يتصاعد غاز CO_2 من المحلول عند نزع الغطاء؟



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

سيبقى الضغط الموجود فوق السائل في زجاجة الصودا المغلقة CO_2 الزائد، ويحافظ عليه من التطاير من المحلول.

قانون هنري إذا ذاب 0.85 g من غاز ما عند ضغط مقداره 4.0 atm في 1.0 L من الماء عند درجة 25 °C، فما كتلة الغاز الذي يذوب في 1.0 L من الماء عند ضغط مقداره 1.0 atm عند درجة الحرارة نفسها؟

1 تحليل المسألة

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

المطلوب

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

المعطيات

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

2 حساب المطلوب

أكتب قانون هنري

حل قانون هنري لإيجاد S_2

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

ثم اضرب واقسم الأرقام والوحدات.

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

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

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

3 تقويم الإجابة

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

مسائل تدريبية

28. إذا ذاب 0.55 g من غاز في 1.0 L من الماء عند ضغط 20.0 kPa، فما كمية الغاز نفسه التي تذوب عند ضغط 110 kPa؟
29. ذوبانية غاز عند ضغط $0.66 \text{ g/L} = 10 \text{ atm}$ فما مقدار الضغط على عينة محلول حجمها 1.0 L وتحتوي على 1.5 g من الغاز؟
30. تحدد ذوبانية غاز عند ضغط 7 atm تساوي 0.52 g/L. فما كتلة الغاز بالجرامات التي تذوب في لتر واحد إذا تم زيادة الضغط إلى 10 atm؟

تقويم الدرس 2-2

الخلاصة

31. الفكرة الرئيسية صف العوامل المؤثرة في تكوين المحاليل؟
 32. عرف الذوبانية.
 33. صف كيف تؤثر قوى التجاذب بين الجزيئات في الذوبان؟
 34. لخص إذا تم إضافة نواة بلورية إلى محلول فوق مشبع فكيف يمكنك وصف خاصية المحلول الناتج؟
 35. عمل الرسوم البيانية واستعملها استعمل المعلومات الموجودة في الجدول 2-4 لعمل رسوم بيانية لذوبانية كبريتات الألومنيوم، وكبريتات الليثيوم، وكلوريد البوتاسيوم عند درجات حرارة 0°C و 20°C و 60°C و 100°C. أي المواد السابقة تتأثر ذوبانيتها أكثر بزيادة درجة الحرارة؟
- تشمل عملية الذوبان إحاطة جزيئات المذيب بجزيئات المذاب.
 - قد يكون المحلول غير مشبع أو مشبعاً أو فوق مشبع.
 - ينص قانون هنري على أن ذوبانية الغاز تتناسب في سائل طردياً مع الضغط الواقع فوق السائل عند درجة حرارة معينة.

الخواص الجامعة للمحاليل

Colligative Properties of Solutions

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

الربط مع الحياة إذا كنت تعيش في منطقة طقسها بارد جدًا في الشتاء فإنك قد لاحظت غالبًا أن الناس يرشون الملح لإزالة الثلج والجليد عن الأرصفة والطرق. ولكن كيف يساعد الملح على جعل القيادة في الشتاء أكثر أمنًا؟

المواد المتأينة والخواص الجامعة

Electrolytes and Colligative Properties

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

المواد المتأينة في محلول مائي إن المركبات الأيونية مواد توصل محاليلها التيار الكهربائي؛ وذلك لأنها تتفكك في الماء لتشكيل محلولاً يوصل التيار الكهربائي، كما هو موضح في الشكل 16-2. كما تتأين بعض المركبات الجزيئية في الماء وتكون أيضًا محلولاً متأينًا. وتسمى المواد المتأينة التي تنتج أيونات كثيرة في المحلول مواد متأينة قوية. أما التي تنتج عددًا قليلًا من الأيونات في المحلول فتسمى المواد المتأينة الضعيفة.

- ما المقصود بالخواص الجامعة؟
- ما هي الخواص الجامعة الأربعة للمحاليل؟
- كيف تحدد الارتفاع في درجة الغليان، والانخفاض في درجة التجمد للمحلول؟

مراجعة المفردات

الأيون: ذرة مشحونة كهربائيًا

المفردات الجديدة

الخواص الجامعة

الانخفاض في الضغط البخاري

الارتفاع في درجة الغليان

الانخفاض في درجة التجمد

الخاصية الأسموزية

الضغط الأسموزي

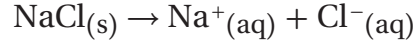
الشكل 16-2 محلول كلوريد الصوديوم موصل جيد للكهرباء؛ وذلك لأنه محلول مادة متأينة. في حين لا يوصل السكروز التيار الكهربائي؛ لأنه محلول مادة غير متأينة.



السكروز

كلوريد الصوديوم

يعد كلوريد الصوديوم مادة متأيّنة قوية، حيث يتفكك في المحلول وينتج أيونات Na^+ و Cl^- .



فإذابة 1 mol من كلوريد الصوديوم في 1 kg من الماء لا تنتج 1 m³ من محلول أيوني، ولكن تنتج 2 mol من جسيمات المذاب في المحلول، أي 1 mol لكل من أيوني Na^+ و Cl^- .

المواد غير المتأيّنة في المحلول المائي تذوب العديد من المركبات الجزيئية في المذيبات، ولكنها لا تتأين. ومثل هذه المحاليل لا توصل التيار الكهربائي، كما هو موضح في الشكل 2-16. وتسمى المواد المذابة مواد غير متأيّنة. والسكروز مثال على المواد غير المتأيّنة، حيث يحتوي 1 m³ من محلول السكروز على 1 mol فقط من جزيئات السكروز.

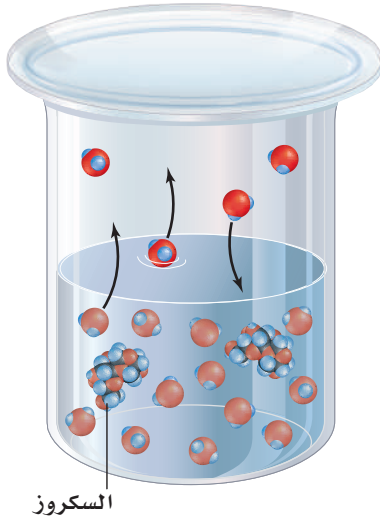
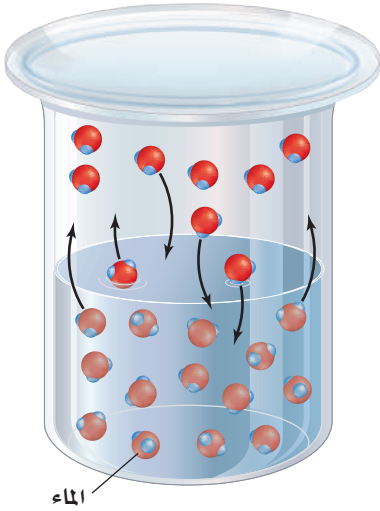
✓ **ماذا قرأت؟ استنتج** أي المركبين له تأثير أكبر في الخواص الجامعة: كلوريد الصوديوم أم السكروز؟

الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering

إن الضغط البخاري هو الضغط الذي تحدّثه جزيئات السائل، في وعاء مغلق، والتي تتصاعد من سطح السائل متحوّلة إلى الحالة الغازية. وفي الوعاء المغلق وعند درجة حرارة وضغط ثابتين تصل جسيمات المذيب إلى حالة اتزان ديناميكي، حيث تتصاعد وتعود من جديد للتحوّل إلى الحالة السائلة بالسرعة نفسها.

تظهر التجارب أن إضافة مذاب غير متطاير إلى مذيب يقلل الضغط البخاري للمذيب؛ وذلك بسبب نقصان عدد الجسيمات التي تحدّث الضغط البخاري. فعندما يكون المذيب نقياً كما في الشكل 2-17 تحتل جسيمات المذيب مساحة سطح السائل كلها. أما عندما يحتوي المذيب على مذاب كما في الشكل 2-17، فإن خليط جسيمات المذاب والمذيب يحتل مساحة سطح السائل. ومع وجود كمية قليلة من جسيمات المذيب على السطح يتحوّل القليل منها إلى الحالة الغازية. ومن ثم ينخفض الضغط البخاري. وكلما ازداد عدد جسيمات المذاب في المذيب قل الضغط البخاري الناتج، لذا فإن الانخفاض في الضغط البخاري عائد إلى عدد جسيمات المذاب في المحلول، ولذلك فهو من الخواص الجامعة للمحلول.

تستطيع توقع التأثير النسبي للمذاب في الضغط البخاري اعتماداً على كون المذاب متأيّناً أو غير متأيّن. فمثلاً يكون التأثير النسبي لوجود 1 mol من كل من المواد المذابة غير المتأيّنة - ومنها الجلوكوز والسكروز والإيثانول - هو نفسه في الضغط البخاري. إلا أن 1 mol من كل من المواد المذابة المتأيّنة - ومنها كلوريد الصوديوم NaCl ، وكبريتات الصوديوم Na_2SO_4 ، وكلوريد الألمنيوم AlCl_3 له تأثير متزايد في الضغط البخاري؛ وذلك لأنها تنتج عدداً متزايداً من الأيونات في محلول كل منها.



الشكل 2-17 الضغط البخاري لمذيب نقي أكبر من الضغط البخاري لمحلول يحتوي مذاباً غير متطاير.

الارتفاع في درجة الغليان Boiling Point Elevation

لأن المذاب غير المتطاير يقلل الضغط البخاري للمذيب فإنه يؤثر في درجة غليان المذيب. تذكر أن السائل يغلي عندما يعادل ضغطه البخاري الضغط الجوي. وعندما ترتفع درجة حرارة المحلول المحتوي على مذاب غير متطاير إلى درجة غليان المذيب النقي فإن ضغط البخار الناتج يبقى أقل من الضغط الجوي، لذا لا يغلي المحلول. ولذلك يجب تسخين المحلول إلى درجة حرارة أعلى لتزويده بالطاقة الحركية الإضافية اللازمة لرفع الضغط البخاري له إلى ما يعادل الضغط الجوي. ويسمى الفرق بين درجة حرارة غليان المحلول ودرجة غليان السائل النقي **الارتفاع في درجة الغليان**.

وتتناسب قيمة ارتفاع درجة الغليان، والتي يرمز لها بالرمز ΔT_b ، تناسباً طردياً مع مولالية محلول المواد غير المتأينة.

الارتفاع في درجة الغليان

ΔT_b تمثل ارتفاع درجة الغليان

$$\Delta T_b = K_b m'$$

K_b تمثل ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي

m' تمثل مولالية المحلول

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

كما أن ثابت ارتفاع درجة الغليان المولالي K_b ، هو الفرق بين درجات الغليان لمحلول يحتوي $1 m'$ من مذاب غير متطاير وغير إلكتروليتي والمذيب النقي. والوحدة المستعملة للتعبير عن ارتفاع درجة الغليان هي $^{\circ}C / m'$ وتختلف باختلاف المذيبات. يبين الجدول 2-4 قيم k_b لعدد من المذيبات الشائعة. لاحظ أن قيمة k_b للماء $= 0.512 ^{\circ}C / m'$ وهذا يعني أن $1 m'$ من محلول مائي يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين يغلي عند درجة حرارة $100.512 ^{\circ}C$ وهذه الدرجة أعلى $0.512 ^{\circ}C$ من درجة غليان الماء النقي $100.0 ^{\circ}C$. وكما أن الانخفاض في الضغط البخاري خاصة جامعة فإن الارتفاع في درجة الغليان يعد أيضاً خاصية جامعة. وتتناسب قيمة الارتفاع في درجة الغليان تناسباً طردياً مع مولالية المذاب في المحلول، أي أنه كلما زاد عدد جسيمات المذاب في المحلول زادت درجة الغليان. ولأن المولالية مرتبطة مع الكسر المولي الذي يتضمن عدد جسيمات المذاب، لذا فهي تستعمل للدلالة على التركيز. وتستعمل المولالية أيضاً كتلة المذيب بدلاً من حجمه، ولذلك لا تتأثر المولالية بتغير درجة الحرارة. انظر إلى الشكل 18-2 ولاحظ أن منحني المحلول يقع أسفل منحني المذيب النقي عند أي درجة حرارة.

ثابت الارتفاع في درجة الغليان المولالي k_b		الجدول 2-4
$K_b ^{\circ}C / m'$	درجة الغليان $^{\circ}C$	المذيب
0.512	100.0	الماء
2.53	80.1	البنزين
5.03	76.7	كلوريد الكربون
1.22	78.5	الإيثانول
3.63	61.7	الكلوروفورم



استخدم التكنولوجيا

تحقيق افتراضي حول الخواص الجامعة للمحاليل وتطبيقاتها في الحياة اليومية للإنسان.



المختبر الافتراضي

صمّم تجربة تتمكنك من ملاحظة الارتفاع في درجة الغليان أو الانخفاض في درجة التجمد لمحاليل مختلفة...

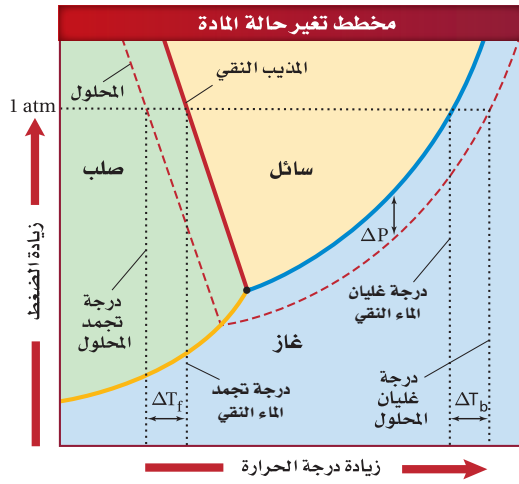
قارن ملاحظتك بدرس العملي في الصفحة 15 من كراسة التجارب العملية.

الكيمياء في الحياة الواقعية

الانخفاض في درجة التجمد



أسماك المياه المالحة إن المحافظة على التركيز الملحي المناسب في غاية الأهمية بالنسبة إلى أسماك المياه المالحة؛ فوجود الملح في المناطق القطبية من المحيط ضروري للمحافظة على المياه من التجمد، مما يسمح بالمحافظة على الحياة البحرية.



الشكل 2-18 تؤثر الحرارة والضغط في الحالة الصلبة والسائلة والغازية للمذيب النقي (الخط المتصل)، وتؤثر أيضًا في المحلول (الخط المتقطع).

قراءة الرسم البياني

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

الانخفاض في درجة التجمد Freezing Point Depression

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

وتكون درجة تجمد المحلول دائماً أقل من درجة تجمد المذيب النقي. يبين الشكل 2-18 الفرق بين درجات الغليان والتجمد للماء النقي والمحلول المائي. وعند مقارنة الخطوط المتصلة والمتقطعة تستطيع أن تلاحظ أن نطاق درجة الحرارة للمحلول المائي في الحالة السائلة أكبر من الماء النقي. ويبين الشكل 2-19 تطبيقين شائعين لاستعمال الملح لتقليل درجة تجمد المحلول المائي.

الشكل 2-19 تعمل إضافة الأملاح إلى الجليد على الطريق على تقليل درجة تجمد الجليد مما ينتج عنه انصهار الجليد. وتعمل إضافة الملح عند صنع الثلجات على تقليل درجة التجمد، مما يسمح للماء بتجميد الثلجات.



الانخفاض في درجة تجمد المحلول ΔT_f هو الفرق بين درجة تجمد المحلول ودرجة تجمد المذيب النقي الموجود في المحلول. يبين الجدول 2-5 ثابت الانخفاض في درجة التجمد المولالي (k_f) لكثير من المذيبات. هذا وتتناسب قيم الانخفاض في درجة التجمد للمواد غير المتأينة تناسباً طردياً مع مولالية المحلول.

ثابت الانخفاض في درجة التجمد المولالي k_f		الجدول 2-5
K_f ($^{\circ}\text{C}/m$)	درجة التجمد $^{\circ}\text{C}$	المذيب
1.86	0.0	الماء
5.12	5.5	البنزين
29.8	-23.0	رابع كلوريد الكربون
1.99	-114.1	الإيثانول
4.68	-63.5	الكلوروفورم

الانخفاض في درجة التجمد

ΔT_f تمثل درجة الحرارة

$$\Delta T_f = K_f m'$$

K_f ثابت الانخفاض في درجة التجمد

m' تمثل المولالية

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

وكما هو الحال مع قيم k_b فإن قيم k_f خاصة بالمذيب. ولأن قيمة ثابت انخفاض درجة التجمد للماء $= 1.86^{\circ}\text{C}/m$ (k_f)، فسيتمدد محلول مائي تركيزه $1m$ ، ويحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين عند درجة -1.86°C وهي أقل من درجة تجمد الماء النقي عند 0.0°C . ويعد الجلوسول أحد المذيبات غير المتأينة الذي تنتجه الكثير من الأسماك والحشرات لحماية دماؤها من التجمد في الشتاء القارص. وكذلك فإن مقاوم التجمد ومانع تكوين الجليد يحتوي على مذيب غير متأين، هو جليكول الإيثيلين. لاحظ أن معادلات الارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد تحدد مولالية المواد غير المتأينة، أما في حالات المواد المتأينة، فيجب استعمال المولالية الفاعلة للمحلول، كما يوضحها المثال 2-6.

المختبر الصغير

الانخفاض في درجة التجمد

كيف يمكنك قياس الانخفاض في درجة التجمد؟

الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. املاً كأسين سعة كل منهما 400 ml بالجليد المجروش، وأضف 50 ml من مياه الصنبور البارد إلى كل من الكأسين.

3. قس درجة حرارة كل من الكأسين باستعمال ميزان حرارة (ثيرموميتر) غير زئبقي.

4. حرك محتويات كل كأس باستعمال عصا تحريك مدة دقيقة واحدة، حتى تصبح كلتا الكأسين عند درجة حرارة ثابتة، وسجل درجة الحرارة.

5. أضف 75 g من الملح الصخري NaCl إلى إحدى الكأسين، وتابع التحريك في كلتا الكأسين، فسيذوب بعض الملح.

6. عندما تثبت درجة الحرارة، قم بتسجيل القراءة النهائية في كلتا الكأسين.

7. وللتخلص من النفايات اسكب محتويات كل كأس في زجاجة النفايات.

التحليل

1. **قارن** قراءات درجات حرارة الماء المتجمد والماء المالح. بم تفسر تغير درجة الحرارة؟

2. **فسر** لماذا تمت إضافة الملح إلى إحدى الكأسين فقط؟

3. **فسر** الملح عبارة عن مادة متأينة قوية تنتج أيونين Na^+ و Cl^- عندما تتفكك في الماء. فسر لماذا يعد من الأمور المهمة أخذ هذا التفكك بعين الاعتبار عند حساب الخاصية الجامعة للانخفاض في درجة التجمد؟

4. **توقع** ما إذا كان من الأفضل استعمال الملح الصخري الخشن، أم ملح المائدة الناعم عند صنع الآيس كريم المنزلية. فسر إجابتك.

التغيرات في درجات التجمد والغليان يستعمل كلوريد الصوديوم NaCl عادة لمنع تكون الجليد على الطرقات ولتجميد المثلجات (الآيس كريم). ما درجتا غليان وتجمد محلول مائي من كلوريد الصوديوم تركيزه 0.029 m^{\cdot} ؟

1 تحليل المسألة

أعطيت مولالية المحلول المائي لكلوريد الصوديوم. أولاً احسب ΔT_b و ΔT_f اعتماداً على عدد الجسيمات في المحلول. ثم حدد الارتفاع في درجة الغليان والانخفاض في درجة التجمد، أضف ΔT_b إلى درجة الغليان واطرح ΔT_f من درجة التجمد.

المعطيات

المذاب = كلوريد الصوديوم NaCl

المولالية = 0.029 m^{\cdot}

المطلوب

درجة الغليان = $^{\circ}\text{C} ?$

درجة التجمد = $^{\circ}\text{C} ?$

2 حساب المطلوب

احسب مولالية الجسيمات

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

ضع العلاقات الرياضية للارتفاع في درجة الغليان

$$\Delta T_b = K_b m^{\cdot}$$

والانخفاض في درجة التجمد

$$\Delta T_f = K_f m^{\cdot}$$

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

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

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

$$m^{\cdot} = 0.058m^{\cdot}$$

احسب درجة الغليان بعد الارتفاع ودرجة التجمد بعد الانخفاض للمحلول.

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

أضف ΔT_b إلى درجة الغليان

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

واطرح ΔT_f من درجة التجمد

3 تقويم الإجابة

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

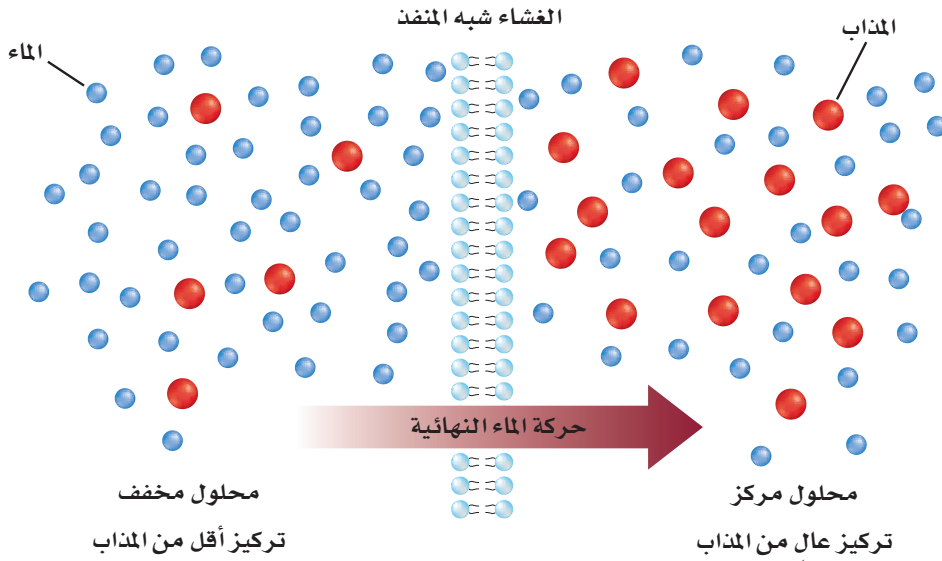
مسائل تدريبية

36. ما درجات الغليان والتجمد لمحلول مائي تركيزه 0.625 m^{\cdot} لأي مذاب غير متطاير وغير متأين؟

37. ما درجات الغليان والتجمد لمحلول سكروروز في إيثانول تركيزه 0.40 m^{\cdot} ؟

38. تحدّد تم اختبار محلول تركيزه 0.045 m^{\cdot} يحتوي على مذاب غير متطاير وغير متأين، ووجد أن الانخفاض في درجة تجمده بلغ

0.08°C . ما قيمة ثابت الانخفاض في درجة تجمده k_f ؟ وما المذيب المناسب في هذه الحالة: الماء أو الإيثانول أو الكلورفورم؟



الشكل 2-20 تنتشر المذيبات بسبب الخاصية الأسموزية من التركيز الأقل إلى التركيز الأكثر خلال أغشية شبه منفذة.

الضغط الأسموزي Osmotic Pressure

من المعروف إن الانتشار هو اختلاط الغازات أو السوائل، الناتج عن حركتها العشوائية. الخاصية الأسموزية هي انتشار المذيب خلال غشاء شبه منفذ. والأغشية شبه المنفذة حواجز تسمح لبعض الجسيمات بالعبور. والأغشية التي تحيط بالخلايا الحية جميعها عبارة عن أغشية شبه منفذة. وتلعب الخاصية الأسموزية دورًا مهمًا في عدة أنظمة بيولوجية، منها امتصاص الغذاء في النباتات. يبين الشكل 2-20 نظامًا يكون فيه المحلول المخفف مفصلاً عن المحلول المركز بغشاء شبه منفذ. تتحرك جزيئات الماء خلال العملية الأسموزية في الاتجاهين عبر الغشاء، ولكن جزيئات المذاب لا تستطيع العبور. وتنتشر جزيئات الماء عبر الغشاء من المحلول المخفف إلى المحلول المركز. وتسمى كمية الضغط الإضافي الناتج عن انتقال جزيئات الماء إلى المحلول المركز **الضغط الأسموزي**. ويعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في كمية محددة من المحلول، وهو خاصية جامعة للمحاليل.

تقويم الدرس 2-3

الخلاصة

- 39. **الفكرة الرئيسية** فسر طبيعة الخواص الجامعة.
 - 40. اشرح الخواص الجامعة الأربعة للمحاليل.
 - 41. فسر لماذا يكون للمحلول درجة غليان أعلى من درجة غليان المذيب النقي؟
 - 42. حل يغلي محلول مائي من كلوريد الكالسيوم CaCl_2 عند درجة حرارة 101.3°C ما كتلة كلوريد الكالسيوم بالكيلوجرام kg التي تذوب في 1000 g من المذيب؟
 - 43. احسب الارتفاع في درجة الغليان لمحلول يحتوي على 50 g من الجلوكوز $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ مذابة في 500.0 g من الماء. ثم احسب الانخفاض في درجة التجمد للمحلول نفسه.
 - 44. فسر لماذا يكون الضغط البخاري لمحلول أقل من الضغط البخاري للمذيب؟
 - 45. تحقق حدّد فني مختبر الارتفاع في درجة الغليان لمحلول مائي لمذاب غير متأين وغير متطاير بـ 1.12°C . ما مولالية المحلول؟
- تقلل المواد المذابة غير المتطايرة الضغط البخاري للمحلول.
 - يرتبط الارتفاع في درجة الغليان بشكل مباشر بمولالية المحلول.
 - يكون الانخفاض في درجة التجمد للمحلول أقل من درجة تجمد المذيب النقي.
 - يعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في حجم معين.

في المبدآن*

مهن: كيميائي البيئة

محلول CO₂

تشير السجلات الجيولوجية إلى أن مستويات ثاني أكسيد الكربون CO₂ الجوي أعلى كثيراً في الوقت الحاضر مقارنة بالعشرين مليون سنة الماضية؛ وقد ساهمت المصادر التي صنعها الإنسان في زيادة CO₂ إلى الحد الذي وصل إليه الآن في الغلاف الجوي. ولكن لا يبقى CO₂ في الغلاف الجوي إلى أجل غير مسمى؛ إذ تحتوي المحيطات بشكل طبيعي على CO₂ الذي يأتي من الغلاف الجوي، ومن المخلوقات الحية. وتقوم المحيطات بامتصاص 50% من CO₂ المنبعث من مصادر صنعها الإنسان. ويعتقد بعض العلماء أنه خلال السنين الألف القادمة سيذوب 90% منه في المحيطات.

جمع البيانات عن CO₂ Collecting CO₂ data

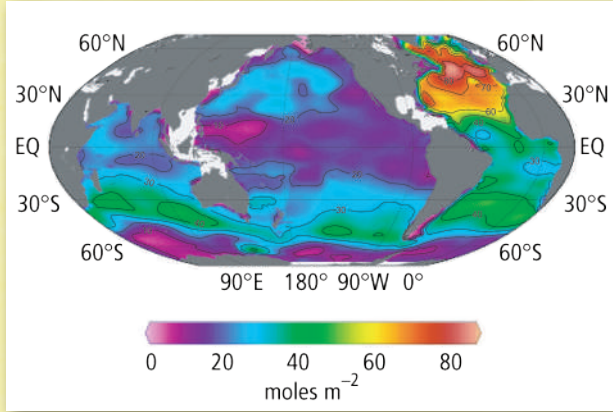
تتأثر سرعة ذوبان CO₂ في المحيطات بعدة عوامل، منها درجة الحرارة، وتركيز CO₂ في الهواء والماء، واختلاط الماء مع الهواء بسبب الرياح، وحركة الأمواج. لقد قضى فريق من الباحثين عدة سنوات لجمع وتحليل البيانات حول CO₂، وذلك من آلاف نقاط الجمع في المحيطات حول العالم. وتوضح بيانات الشكل I أن شمال المحيط الأطلسي يحتوي على أكبر كمية من CO₂ لكل متر مربع من سطح المحيط. حيث تجعل عوامل درجة الحرارة والعمق والتيارات البحرية من شمال المحيط الأطلسي ماصاً فعلاً لغاز CO₂ المنبعث من مصادر صنعها الإنسان.

جمع وتخزين CO₂ CO₂ capture and storage

هناك طريقة واحدة لتقليل كمية CO₂ المنطلقة إلى الغلاف الجوي، وهي جمع وتخزين CO₂ الناتج عن حرق الوقود الأحفوري. يقوم العلماء في البحث عن احتمالية حقن CO₂ الذي تم جمعه مباشرة في المحيط؛ وذلك لتسريع عملية ذوبانه؛ حيث تقلل هذه العملية من أثر البيت الزجاجي لغاز CO₂. ومع ذلك يمكن أن يؤدي اختلال التوازن الطبيعي لثاني أكسيد الكربون CO₂ الذائب إلى آثار بالغة على كيميائية المياه، مما قد

* للاطلاع فقط

يلحق ضرراً، أو حتى يقتل المخلوقات البحرية. فعلى سبيل المثال أظهرت الشعب المرجانية المنتشرة في مختلف أنحاء العالم دلائل إجهاد؛ نتيجة زيادة مستوى CO₂ الذائب في الماء.



شكل I تمثل الألوان الحمراء والصفراء والخضراء المناطق التي فيها مستويات عالية من CO₂ الذائب في الماء.

الحجز في أعماق البحار Deep ocean sequestration

هناك اقتراح قد يقلل من كمية CO₂ الجوي، ويحمي الحياة في الجزء العلوي من المحيط، وهو تسهيل غاز CO₂، ثم ضخه إلى طبقات المياه السفلى، وتسمى هذه العملية الحجز في أعماق البحار. هناك تصور بأن الضغط الشديد في الأعماق (أكبر من 3000 m) شأنه أن يحول CO₂ إلى هيدرات تذوب في أعماق مياه المحيطات، ولكن سيبقى CO₂ عالقاً لمئات السنين بعيداً عن الجزء العلوي للمحيط والغلاف الجوي.

بحوث مستمرة Ongoing research

يعمل العلماء لإيجاد إجابات عن كثير من الأسئلة حول أثر CO₂ على المخلوقات التي تعيش في الأعماق. ولا تزال هناك الكثير من المشاكل التقنية المتعلقة بعملية جمع CO₂ وتخزينه ونقل كميات كبيرة منه. وإذا تم حل هذه المشاكل التقنية فإن على الرأي العام والمسؤولين الأخذ بعين الاعتبار الأخطار المتعلقة بانبعاث CO₂ في الهواء وفي المحيطات.

الكيمياء في الكتابة في

عصف ذهني يجب الإجابة عن مجموعة من الأسئلة من خلال البحث قبل محاولة البدء في حجز ثاني أكسيد الكربون في أعماق البحار.

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

2-1 تركيز المحاليل

المفاهيم الرئيسية

- يقاس التركيز كميًا ونوعيًا.
- المولارية هي عدد مولات المذاب في 1L من المحلول.

$$\frac{\text{مولات المذاب}}{\text{لترات المحلول}} = M$$

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

$$\frac{\text{مولات المذاب}}{\text{كيلو جرام المذيب}} = m'$$

- لا يتغير عدد مولات المذاب خلال التخفيف. $M_1V_1 = M_2V_2$

الفكرة الرئيسية يمكن التعبير عن

التركيز بالنسبة المئوية أو بالمول.

المفردات

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

2-2 العوامل المؤثرة في الذوبان

المفاهيم الرئيسية

- تتضمن عملية الذوبان إحاطة جزيئات المذيب بجزيئات المذاب.
- يكون المحلول غير مشبع أو مشبعًا أو فوق مشبع.
- ينص قانون هنري على أن ذوبانية الغاز في سائل تتناسب طرديًا مع ضغط الغاز فوق السائل عند درجة حرارة معينة".

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

الفكرة الرئيسية يؤثر كل من الحرارة

والضغط والقطبية في تكوين المحاليل.

المفردات

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

2-3 الخواص الجامعة للمحاليل

المفاهيم الرئيسية

- تعمل المواد المذابة غير المتطايرة على تقليل الضغط البخاري للمحلول.
- يرتبط الارتفاع في درجة الغليان بشكل مباشر بمولالية المحلول.

$$\Delta T_b = K_b m'$$

- يكون الانخفاض في درجة تجمد المحلول أقل من درجة تجمد المذيب النقي.

$$\Delta T_f = K_f m'$$

- يعتمد الضغط الأسموزي على عدد جسيمات المذاب في حجم معين.

الفكرة الرئيسية تعتمد الخواص الجامعة

على عدد جسيمات المذاب في المحلول.

المفردات

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

2-1

إتقان المفاهيم

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

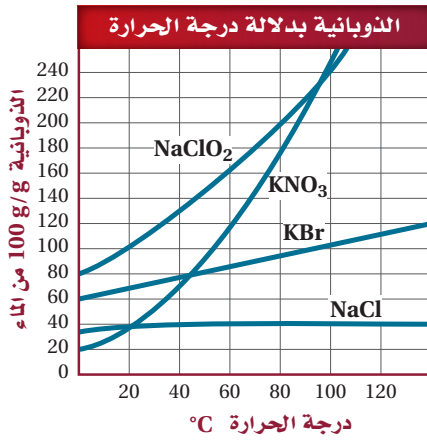
إتقان المسائل

51. بحسب خطوات العمل في تجربة مخبرية، قمت بخلط 25.0 g من $MgCl_2$ مع 550 ml من الماء. ما النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الماغنيسيوم $MgCl_2$ في المحلول؟
52. ما كمية LiCl بالجرامات الموجودة في 275 g من محلوله المائي الذي تركيزه 15%؟
53. ترغب في تحضير كمية كبيرة من محلول HCl بتركيز 5%، ولكن لديك فقط 25 ml من HCl. ما حجم محلول 5% الذي يمكن تحضيره من حجم HCl؟
54. احسب النسبة المئوية بالحجم لمحلول يحضر بإضافة 75 ml من حامض الإيثانويك إلى 725 ml من الماء.
55. احسب مولارية محلول يحتوي على 15.7 g من $CaCO_3$ الذائب في 275 ml من الماء.
56. ما حجم محلول تركيزه 3.00 M تم إعداده بإذابة 122 g من LiF؟
57. ما عدد مولات BaS التي يمكن استعمالها لتحضير محلول حجمه 1.5×10^3 ml وتركيزه 10 M؟
58. ما كتلة $CaCl_2$ بالجرامات اللازمة لتحضير محلول حجمه 2.0 L وتركيزه 3.5 M؟

59. تحضر محاليل متعددة التراكيز من محلول قياسي HCl بشكل متكرر. أكمل الجدول 6-2 بحساب حجم المحلول المركز أو 12 M من حمض الهيدروكلوريك الذي يجب أن يستعمل لتحضير 1.0 L من محلول HCl باستعمال قيم المولارية في القائمة.

الجدول 6-2 محاليل HCl	
حجم محلول HCl 12 M القياسي بوحدة ml	مولارية HCl
	0.50
	1.0
	1.5
	2.0
	5.0

60. كم تحتاج من حمض النيتريك بوحدة ml الذي تركيزه 5.0 M لتحضير 225 ml من HNO_3 بتركيز 1.0 M؟
61. تجربة في المختبر قمت بتخفيف 55 ml من محلول 4.0 M لتحضير 250 ml من هذا المحلول. احسب مولارية المحلول الجديد.
62. ما حجم حمض الفوسفوريك بوحدة ml الذي تركيزه 3.0 M يمكن تحضيره من 95 ml من محلول 5.0 M من H_3PO_4 ؟
63. إذا خففت 20.0 ml من محلول 3.5 M لتحضير محلول حجمه 100.0 ml، فما مولارية المحلول بعد التخفيف؟
64. ما مولارية محلول يحتوي على 75.3 g من KCl مذابة في 95.0 g من الماء؟
65. ما كتلة Na_2CO_3 بوحدة g التي يجب إذابتها في 155 g من الماء لعمل محلول مولاليتها تساوي 8.20 mol/kg؟
66. ما مولالية محلول يحتوي على 30.0 g من النفتالين $C_{10}H_8$ الذائب في 500 g من الطولوين؟
67. ما المولالية والكسر المولي لمذاب يحتوي على 35.5% بالكتلة من محلول حمض الميثانويك $HCOOH$ ؟



الشكل 2-22

77. استعن بقانون هنري لإكمال الجدول 2-7.

الجدول 2-7 الذوبانية والضغط	
الذوبانية g/L	الضغط kPa
2.9	?
3.7	32
?	39

78. المشروبات الغازية الضغط الجزئي لغاز CO₂ داخل زجاجة مشروب غازي 4.0 atm عند درجة حرارة 25°C. إذا كانت ذوبانية CO₂ تساوي 0.12 mol/l وعند فتح الزجاجة ينخفض الضغط الجزئي إلى 3.0×10^{-4} atm، فما ذوبانية CO₂ في الزجاجة المفتوحة؟ عبر عن إجابتك بوحدته g/L

2-3

إتقان المفاهيم

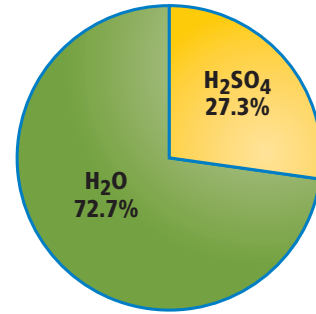
79. عرف الخاصية الجامعة.

80. استعمل مصطلحات المركز والمخفف لمقارنة المحلول على طرفي غشاء شبه منفذ.

81. حدد كل متغير في المعادلة الآتية: $\Delta T_b = k_b m'$

82. ما المقصود بالضغط الأسموزي، ولماذا يعد خاصية جامعة؟

68. ما الكسر المولي لحمض الكبريتيك H₂SO₄ في محلول يحتوي على النسبة المئوية من حمض الكبريتيك والماء، الظاهرة في الشكل 2-21؟



الشكل 2-21

69. احسب الكسر المولي لمحلول MgCl₂ الناتج عن إذابة 132.1 g من MgCl₂ في 175 ml من الماء إذا كانت كثافة الماء تساوي (1g/ml)؟

2-2

إتقان المفاهيم

70. صف عملية الذوبان.

71. اذكر 3 طرائق لزيادة سرعة الذوبان.

72. اشرح الفرق بين المحاليل المشبعة والمحاليل غير المشبعة.

إتقان المسائل

73. إذا كانت ذوبانية غاز تساوي 0.54 g/L عند ضغط مقداره 1.5 atm، فاحسب ذوبانية الغاز عند مضاعفة الضغط.

74. ذوبانية غاز تساوي 9.5 g/L عند ضغط 4.5 atm، ما كمية الغاز بالجرامات التي تذوب في 1 L إذا تم تخفيض الضغط إلى 3.5 atm؟

75. ذوبانية غاز 1.80 g/L عند ضغط مقداره 37.0 kPa. ما قيمة الضغط الذي تصبح عنده الذوبانية 9.00 g/L؟

76. استعمل الشكل 2-22 لمقارنة ذوبانية بروميد البوتاسيوم KBr ونترات البوتاسيوم KNO₃ عند درجة حرارة 80°C.

إتقان المسائل

83. احسب درجة التجمد لمحلول يحتوي على 12.1 g من النفثالين $C_{10}H_8$ الذائب في 0.175 kg من البنزين C_6H_6 . استعن بالجدول 2-5 لأخذ البيانات المطلوبة.

84. في المختبر قمت بإذابة 179 g من $MgCl_2$ في 1.00 L ماء، استعمل الجدول 2-5؛ لإيجاد درجة تجمد المحلول.

85. في المطبخ يقوم طباخ بتحضير محلول للغليان بإضافة 12.5 g من $NaCl$ إلى وعاء يحتوي 0.750 L من الماء. عند أي درجة حرارة يغلي المحلول في الوعاء؟ استعمل الجدول 2-4 لأخذ البيانات المطلوبة.

86. تتغير درجة غليان الإيثانول C_2H_5OH من $78.5^\circ C$ إلى $85.2^\circ C$ عند إضافة كمية من النفثالين $C_{10}H_8$ إلى 1.00 kg من الإيثانول. ما كمية النفثالين التي نحتاج إليها بوحدة g لتسبب هذا التغير في درجة الحرارة؟ استعمل الجدول 2-4 لأخذ البيانات المطلوبة.

87. الثلجات (الأيس كريم) يستعمل خليط الملح الصخري $NaCl$ والثلج والماء لتبريد الحليب والكريمة لصنع مثلجات (أيس كريم) منزلية. ما كمية الملح الصخري بالجرامات التي يجب إضافتها إلى الماء لتخفيض درجة التجمد إلى $10.0^\circ C$ ؟ علماً بأن كتلة المذيب تساوي 1 kg.

مراجعة عامة

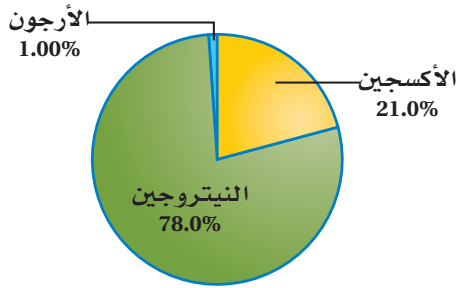
88. أي مذاب له التأثير الأكبر في درجة غليان 1.00 kg من الماء: 50 g من كلوريد الاسترانسيوم $SrCl_2$ أو 150 g من رابع كلوريد الكربون CCl_4 ؟ فسر إجابتك.

الجدول 2-8 هل الذوبان ممكن؟	
مذيب	مذاب
H_2O سائل	$MgCl_2$ صلب
C_6H_6 سائل	NH_3 سائل
H_2O سائل	H_2 غازي
Br_2 سائل	I_2 سائل

89. استعمل معرفتك بالقطبية والذوبانية لتوقع ما إذا كان الذوبان ممكناً في كل حالة من الحالات الموضحة في الجدول 2-8. فسر إجابتك

90. ادرس الجدول 2-3، وحلل بيانات الذوبانية ودرجة الحرارة لتحديد الخواص العامة للغازات O_2 و CO_2 و NH_3 في المخطط. قارن بين هذا الميل وخواص بقية المواد الصلبة في المخطط. حدد المواد الصلبة الموجودة في القائمة والتي لا تتبع الخواص العامة التي تتبعها أغلب المواد الصلبة في المخطط.

91. يبين الشكل 2-23 النسب المئوية لمكونات عينة من الهواء. احسب الكسر المولي لكل غاز في العينة.



الشكل 2-23

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

93. ما كتلة نترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ التي تلزم لتحضير 3.00 L من محلول تركيزه 0.500 M؟

94. ما مولالية المحلول في السؤال السابق؟

التفكير الناقد

95. طور خطة لتحضير 1000 ml من محلول حمض الهيدروكلوريك في الماء تركيزه 5% بالحجم، يجب أن تصف خطتك كميات المذاب والمذيب اللازمة بالإضافة إلى الخطوات المستعملة في تحضير المحلول.

الجدول 2-9 ذوبانية KI	
درجة الحرارة °C	جرامات KI لكل 100g من المحلول
20	144
40	162
60	176
80	192
100	206

100. صمم تجربة أعطيت عينة من مذاب صلب وثلاثة محاليل مائية تحتوي على ذلك المذاب. كيف يمكنك تحديد أي المحاليل مشبع، وأيها غير مشبع، وأيها فوق مشبع؟

مسائل تحدد

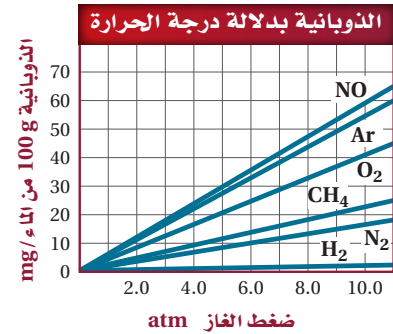
101. فسر باستعمال قانون هنري بيانات الذوبانية الموجودة في الجدول 2-10.

الجدول 2-10 قياسات الذوبانية لغاز	
الذوبانية	المحاولة
0.225	1
0.45	2
0.9	3
1.8	4
3.6	5

102. لديك محلول يحتوي على 135.2 g من KBr في 2.3 L من الماء. ما حجم هذا المحلول بالملترات الذي يمكنك استعماله لتحضير 1.5 L من محلول KBr تركيزه 0.1 M؟ وما درجة غليان المحلول الجديد؟

96. قارن واستخلص النتائج ادرس المخطط في الشكل 2-18، وقارن بين الخطوط المتقطعة لـ ΔT_b و ΔT_f ، وصف الاختلافات التي لاحظتها. كيف يمكن لهذه الخطوط أن توضع في أماكن مختلفة تبعاً لنوع المحاليل إذا كانت متأينة أو غير متأينة؟ ولماذا؟

97. توسع يبين الشكل 2-24 ذوبانية الأرجون في الماء عند ضغوط مختلفة. توسع في البيانات حتى ضغط 15 atm، واستعمل قانون هنري للتحقق من الذوبانية التي تم تحديدها عن طريق التوسع في البيانات.



الشكل 2-24

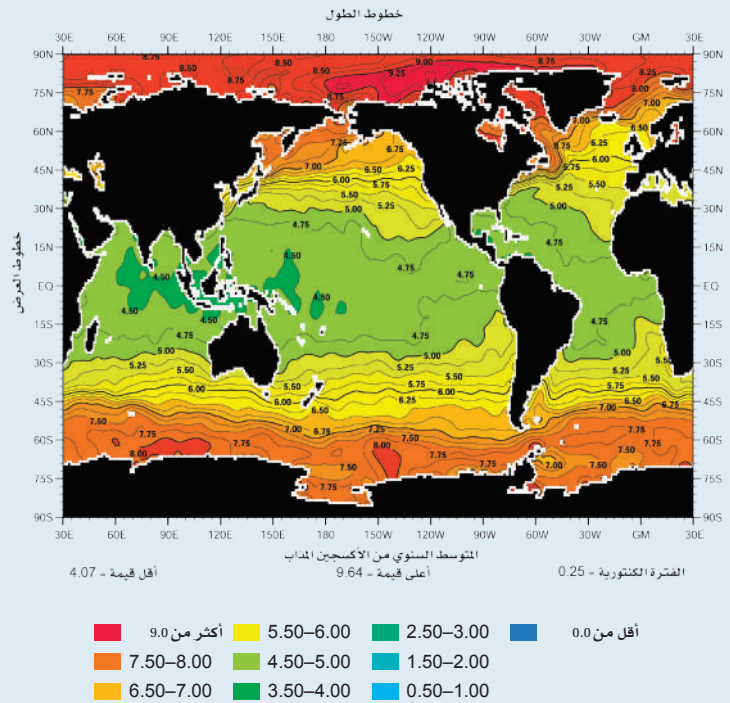
98. استدل يحدث الجفاف عندما يفقد الجسم سوائل كثيرة. ينصح الغواصون بتجفيف أجسامهم قبل الغوص. استعمل معرفتك بالعلاقة التي تربط الضغط وذوبانية الغاز لتفسير أهمية التجفيف قبل الغوص.

99. ارسم بيانياً يوضح الجدول 2-9 بيانات عن الذوبانية تم جمعها من إحدى التجارب. ارسم رسماً بيانياً للمولارية مقابل درجة الحرارة ليوديد البوتاسيوم KI. ما ذوبانية KI عند درجة حرارة 55 °C؟

تقويم إضافي

أسئلة المستندات

المتوسط السنوي من الأكسجين المذاب تبين البيانات الموجودة في الشكل 2-25 معدل قيم الأكسجين الذائبة في مياه المحيطات بوحدة ml /L خلال شهر واحد من العام 2001م. لاحظ أن المحور الأفقي يمثل خطوط الطول، والمحور العمودي يمثل خطوط العرض.



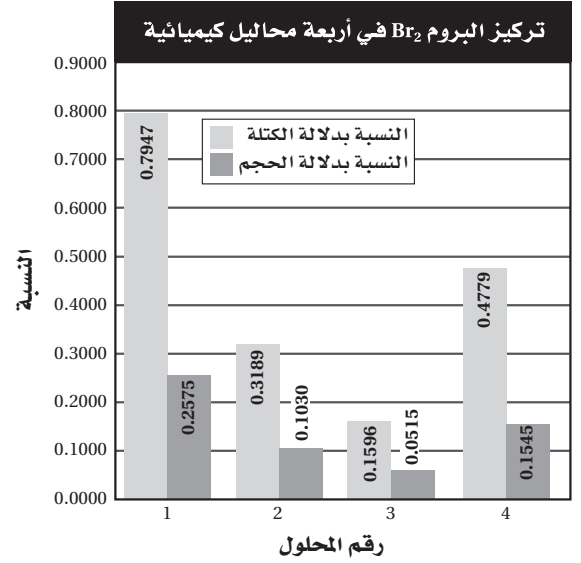
الشكل 2-25

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

اختبار تراكمي مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعمل الرسم البياني الآتي للإجابة عن السؤالين 1 و 2.



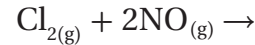
1. ما حجم البروم في 7.000 L من المحلول 1؟

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

2. ما كمية الجرامات من البروم في 55.00 g من المحلول 4؟

- a. 3.560 g
b. 0.08498 g
c. 1.151 g
d. 0.2628 g

3. ما نواتج التفاعل الآتي

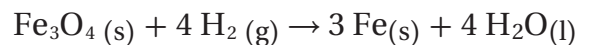


- a. NCl_2
b. 2NOCl
c. N_2O_2
d. 2ClO

4. إذا أذيب 1 mol من كل من المواد المذابة في القائمة الآتية في 1 L من الماء، فأيهما يكون له الأثر الأكبر في الضغط البخاري لمحلولها؟

- a. KBr
b. $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
c. MgCl_2
d. CaSO_4

استعن بالتفاعل الآتي للإجابة عن السؤالين 5 و 6.



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

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

6. إذا خلط 7 mol Fe_3O_4 مع 30 mol H_2 فأبي الجمل الآتية صحيحة؟

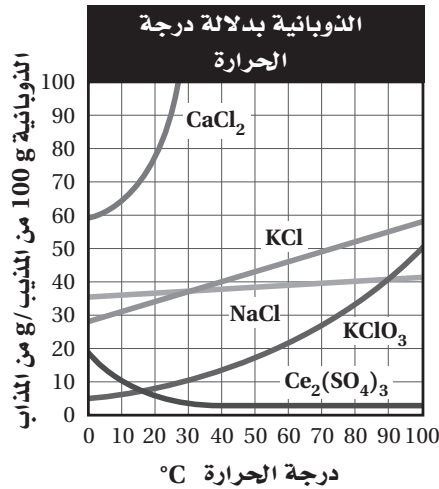
- a. لن يتبقى أي من المواد المتفاعلة.
b. سيتبقى 2 mol من غاز الهيدروجين.
c. سينتج 30 mol من الماء.
d. سينتج 7 mol من Fe.

7. أي مما يأتي لا يعد خاصية جامعة؟

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

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل الرسم البياني الآتي للإجابة عن الأسئلة من 8 إلى 10.



8. ما عدد مولات KClO_3 التي يمكن أن تذوب في 100 g

من الماء عند درجة حرارة 60°C ؟

9. أي محاليل الأملاح الآتية يمكنه استيعاب المزيد من المذاب

عند درجة حرارة 20°C NaCl أو KCl ؟ كيف يمكن مقارنة ذلك بذوبانيتها عند 80°C ؟

10. ما عدد مولات KClO_3 اللازمة لتحضير 1.0 L من

محلول مشبع من KClO_3 عند 75°C ؟

الطاقة والتغيرات الكيميائية

Energy and Chemical Changes

3

الفضاء

الفكرة العامة تمتص التفاعلات الكيميائية عادة الحرارة أو تطلقها.

3-1 المعادلات الكيميائية الحرارية

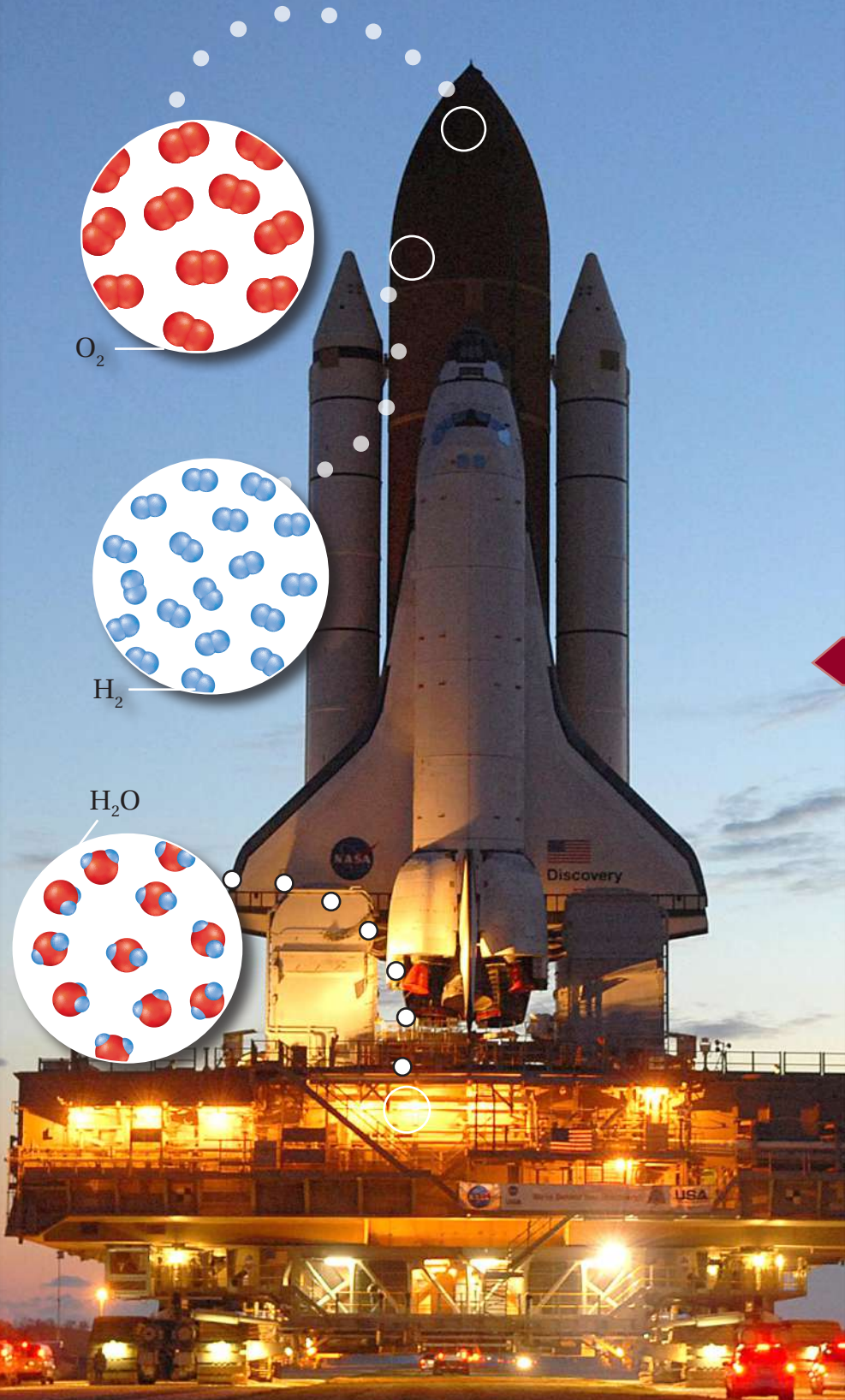
الفكرة الرئيسية تعبر المعادلات الكيميائية الحرارية عن الحرارة المنطلقة أو الممتصة في التفاعلات الكيميائية.

3-2 حساب التغير في المحتوى الحراري

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

حقائق كيميائية

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



نشاطات تمهيدية

نشاط استهلاكي

كيف تعمل كمادة باردة؟

تستعمل الكمّادات الباردة الكيميائية لتخفيف الألم الناتج عن الإصابة؛ إذ تحتوي المادة على مركبين منفصلين يحدث امتصاص للحرارة عند اتحادهما معاً.



ما المركب الذي يعتبر أفضل كمّادة باردة كيميائية؟

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. أحضر ثلاثة أنابيب اختبار.

3. استعمل مخبراً مدرجاً لوضع 15 ml من الماء المقطر في 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: أبعاد جميع المواد الكيميائية المستعملة في هذا النشاط عن مصادر الحرارة.

6. حرك الخليط جيداً، وسجل درجة حرارة المحلول.

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

تحليل النتائج

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

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

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

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يتوقع من الطالب أن يكون قادراً على:

- تصنيف التفاعلات الكيميائية حرارياً.
- إجراء حسابات ذات علاقة بحرارة التكوين لحساب حرارة التفاعل.
- تصميم تجارب تتعلق بتبادل الطاقة أو انتقالها أثناء التفاعلات الكيميائية.
- بناء نماذج تتعلق بالتبادل الحراري باستخدام تطبيقات المختبر الافتراضي.
- حساب كمية الطاقة الناتجة أو الممتصة في التفاعلات الكيميائية بطرق مختلفة منها قانون "هس".
- إدراك أهمية التطبيقات الخاصة بالكيمياء الحرارية في الحياة اليومية.
- تفسير البيانات المستقاة من الاستقصاءات باستخدام الحسابات والرسومات والنماذج وتكنولوجيا الحاسوب.

الكيمياء عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل وأنشطته ارجع إلى الموقع الإلكتروني لوزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين:

www.moe.gov.bh

تساؤلات جوهرية

المعادلات الكيميائية الحرارية

Thermochemical Equations

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

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

تبادل الطاقة بين النظام ومحيطه

Exchange of energy between the system and its surrounding

يهتم فرع **الكيمياء الحرارية** بدراسة التبادل الحراري الذي يصاحب التفاعلات الكيميائية والتغيرات في الحالة الفيزيائية للمواد. مثلاً في الكمادات الساخنة، ونتيجة لتفاعل كيميائي تنبعث حرارة تمتصها المادة وتنقلها إلى يديك الباردتين فتُحسّس بالدفء. تُعتبر المادة ومحتوياتها **النظام** System، أما اليد فتمثل **المحيط** Surrounding أو جزءاً منه. كل شيء في الكون لا ينتمي للنظام يسمى المحيط أو المحيط الخارجي. ويُعرّف **الكون** Universe بأنه النظام ومحيطه معاً.

قد تتساءل الآن كيف يحدث تبادل الحرارة في المادة الباردة؛ لاحظ انعكاس انتقال الحرارة: تُحسّس بالبرودة إذا لامست المادة لأن الحرارة تنتقل من المحيط (اليد) إلى النظام.

مفهوم المحتوى الحراري (Enthalpy): Heat Content: H

حسب النظريات العلمية الحديثة، لكل مادة طاقة مخزنة تسمى **الطاقة الداخلية** للنظام U. تساوي هذه الطاقة مجموع ثلاثة صور من الطاقة: الطاقة الموجودة في الذرة والطاقة الموجودة في الجزيء وطاقة الوضع بين الجزيئات. ويعتقد العلماء أن هناك صوراً أخرى للطاقة الداخلية لم تُفسّر بعد.

في الطبيعة كما في المختبرات، تحدث أغلب التغيرات الكيميائية والفيزيائية تحت ظروف محددة من حيث الضغط ودرجة الحرارة. غالباً يكون الضغط ثابتاً ويساوي الضغط الجوي. ففي المختبرات تُجرى التفاعلات عادةً في أنابيب وكؤوس ودوارق مفتوحة، وبالتالي تتعرض لضغط ثابت يساوي تقريباً الضغط الجوي. ولتسهيل دراسة التغيرات في الطاقة أثناء التفاعلات الكيميائية، حدّد العلماء خاصية تسمى المحتوى الحراري (H) Enthalpy **والمحتوى الحراري** هو الطاقة الداخلية التي تحتجزها مول واحد من المادة عند ضغط ثابت. ووحدة قياسها هي "كيلوجول/مول" (KJ/mol).

ما المقصود بالمحتوى الحراري أثناء العمليات و التفاعلات الكيميائية؟

كيف تكتب معادلات كيميائية حرارية تمثل تفاعلات كيميائية وعمليات أخرى؟

كيف تفقد الطاقة أو تكتسب في أثناء تغيرات الحالة الفيزيائية للمادة؟

كيف تحسب الطاقة الممتصة أو المنطلقة في تفاعل كيميائي؟

مراجعة المفردات

الضغط: القوة المؤثرة على وحدة المساحات.

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

التفاعلات الطاردة للحرارة: عند حدوثها تُحرر كمية من الحرارة إلى خارج التفاعل.

التفاعلات الماصة للحرارة: عند حدوثها تمتص كمية من الحرارة.

المفردات الجديدة

النظام - المحيط - الكون

المحتوى الحراري

حرارة التفاعل

المعادلة الكيميائية الحرارية

حرارة الاحتراق

حرارة التبخر المولية

حرارة الانصهار المولية

علاقة المحتوى الحراري بنوع المادة يعتبر المحتوى الحراري خاصية مميزة: إذ يختلف من مادة إلى أخرى، وذلك بسبب اختلاف نوع الذرات المكوّنة للمادة وعددها وكيفية ارتباطها.

ملاحظة:

تستخدم درجة الحرارة (0°C) والضغط (1atm) القياسيين للقياسات المتعلقة بأحجام الغازات. أما الظروف القياسية المحيطة لإجراء التجارب والتفاعلات الكيميائية والحيوية من أجل مقارنة نتائجها بنتائج الظروف الأخرى.

علاقة المحتوى الحراري بدرجة حرارة المادة اعتماداً على نظرية الحركة الجزيئية وتحت ضغط ثابت أو حجم ثابت؛ إذا ارتفعت درجة الحرارة، تزداد كل من طاقة الوضع وطاقة الحركة للذرات والجزيئات المكوّنة للنظام (في الحالة الصلبة أو السائلة أو الغازية). تُسبب هذه العملية زيادة في الطاقة الداخلية للنظام، وبالتالي فإنّ المحتوى الحراري يزداد. لذلك يحرص الكيميائيون على تحديد درجة حرارة النظام في كلّ المسائل المتعلقة بالتبادل الحراري. في الظروف القياسية (ضغط 1atm ودرجة حرارة 25°C)، ويجب عدم الخلط بينها وبين درجة الحرارة والضغط القياسيين STP ضغط 10^5Pa ودرجة حرارة 0°C) يُرمز للمحتوى الحراري بالرمز H° ويسمى المحتوى الحراري القياسي Standard Enthalpy.

عادة تشمل الظروف القياسية الظروف المحيطة بالتفاعل (درجة الحرارة والضغط) وحالة المواد المتفاعلة. مثلاً، لو أُجريت تفاعلاً كيميائياً أحد مكوناته هو الماء في حالة بخار عند درجة حرارة وضغط قياسيين STP، فأنت خارج الظروف القياسية لسببين اثنين: أولاً عند STP يكون الماء صلباً وليس غازاً، وثانياً درجة الحرارة لا تساوي 25°C . ولو أُجريت نفس التفاعل عند 25°C وضغط 10^5Pa ، فأنت أيضاً خارج الظروف القياسية لأن الماء يتواجد في حالته السائلة في الظروف القياسية، رغم أن الظروف المحيطة هي ظروف قياسية.

للاطلاع الحرّ

التغيير في المحتوى الحراري ΔH بسبب عدم القدرة على تحديد الطاقة المخزنة في مادة ما (مادة متفاعلة أو مادة ناتجة)، التجأ الكيميائيون إلى حساب التغيير في الطاقة أثناء تفاعلات المادة، بطرق عملية وأخرى نظرية كما ستدرسه في الدرس 2-3.

يُعرّف التغيير في المحتوى الحراري ΔH_{rxn} . بأنه كمية الحرارة التي تم امتصاصها أو تحريرها من قبل النظام أثناء التفاعل. عموماً يُقصد بالتغيير (Δ) الفرق في الخاصية بين الحالة النهائية والحالة الابتدائية.

التغيير في المحتوى الحراري:

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

وأثناء التفاعل الكيميائي، فإن ΔH_{rxn} يساوي الفرق بين مجموع المحتوى الحراري للنواتج ومجموع المحتوى الحراري للمتفاعلات.

يُطلق على ΔH_{rxn} اسم "المحتوى الحراري للتفاعل" أو "حرارة التفاعل".

حرارة التفاعل:

$$\Delta H_{rxn} = H_{\text{النواتج}} - H_{\text{المتفاعلات}}$$

✓ **ماذا قرأت؟ ما الفرق بين المحتوى الحراري والتغير في المحتوى الحراري؟**

التفاعلات الطاردة للحرارة وهي التفاعلات التي تطلق طاقة حرارية Q كنواتج من نواتج التفاعل إلى المحيط الخارجي، فترتفع درجة حرارته بينما تنخفض درجة حرارة النظام.



تكون H المواد الناتجة $> H$ المواد المتفاعلة، وبالتالي تكون إشارة ΔH_{rxn} سالبة.

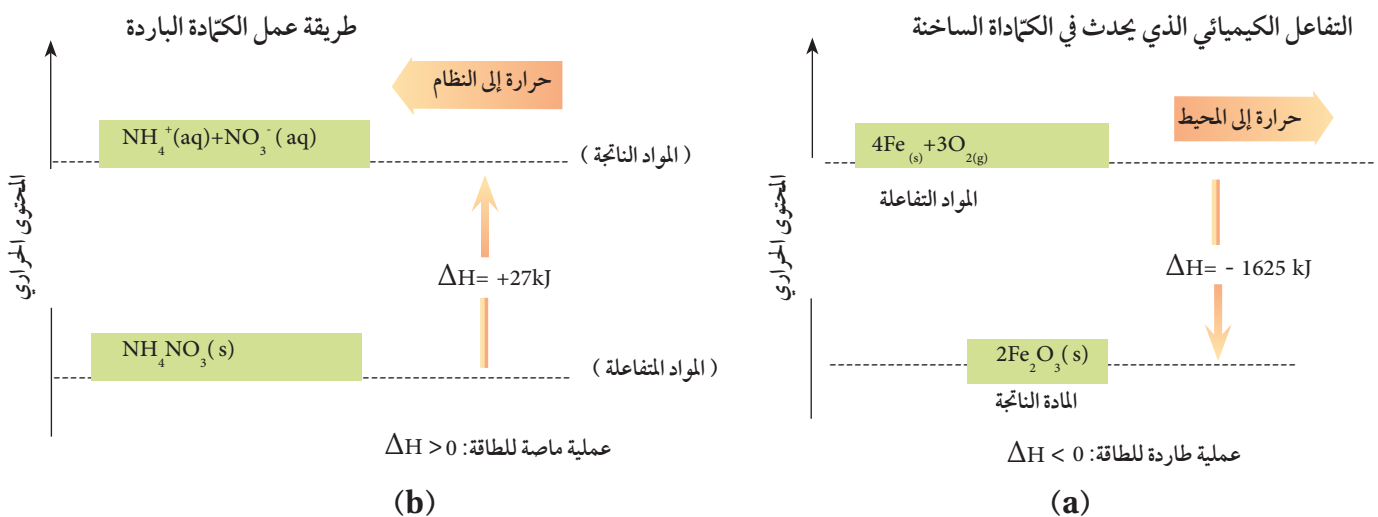
التفاعلات الماصة للحرارة يمتص هذا النوع من التفاعلات الطاقة الحرارية من المحيط الخارجي، فتتخفض درجة حرارته وترتفع درجة حرارة النظام.



تكون H المواد الناتجة $< H$ المواد المتفاعلة، وبالتالي تكون إشارة ΔH_{rxn} موجبة.

الشكل 1-3 يوضح التغير في الطاقة في كل من الكمادة الساخنة والكمادة الباردة.

تذكر أن الطاقة الحرارية Q المكتسبة أو المفقودة خلال التفاعل تساوي التغير في المحتوى الحراري ΔH_{rxn} ؛ لأن كل التفاعلات التي ستعرض لها في الدرس تحدث عند ضغط ثابت.



الشكل 1-3: مخطط الطاقة لتفاعل كل من الكمادة الساخنة والكمادة الباردة.

(a) يشير السهم نحو الأسفل إلى أن المواد المتفاعلة فقدت 1625 kJ تم تحريرها إلى المحيط.

(b) يشير السهم نحو الأعلى إلى أن المواد المتفاعلة امتصت من المحيط 27 kJ فارتفع المحتوى الحراري للنظام.

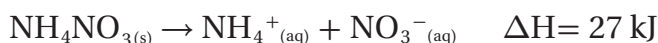


✓ **ماذا قرأت؟ اشرح إشارة التغير في المحتوى الحراري حسب نوع التفاعل (طاردم ماص للحرارة)**

كتابة المعادلات الكيميائية الحرارية

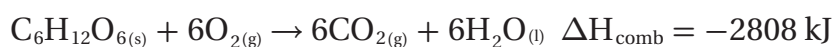
Writing Thermochemical Equations

إن التغير في الطاقة جزء مهم من التفاعلات الكيميائية، لذلك يضع الكيميائيون ΔH بوصفه جزءاً من الكثير من المعادلات الكيميائية. تدعى المعادلات الكيميائية التي تبين ما يحدث في الكمادة الساخنة أو الكمادة الباردة معادلات كيميائية حرارية إذا كتبت على النحو الآتي:



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

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



يسمى المحتوى الحراري الناتج عن حرق 1 mol من المادة احتراقاً كاملاً، حرارة الاحتراق (enthalpy (heat) of combustion (ΔH_{comb}). ويبين الجدول 3-1 تغيرات المحتوى الحراري القياسية لعدة مواد. ويستعمل الرمز ΔH° ليدل على تغير المحتوى الحراري القياسي. فالرمز ($^\circ$) يبين أن تغيرات المحتوى الحراري قد تم تحديدها للمواد المتفاعلة والنواتج جميعها عند الظروف القياسية.

الكيمياء في الحياة

صناعة الحلوى في البحرين



تشتهر مملكة البحرين بصناعة الحلويات ومنها الحلوى البحرينية ذات الشكل والطعم المميزين. وتعتمد هذه الصناعة على مواد محلية وأخرى مستوردة.

وتمر عملية تحضير الحلوى الطرية والصلبة بعدة خطوات، كل خطوة عبارة عن تفاعل كيميائي ماص للحرارة أو طارد لها. مثلاً، يُضاف حمض الستريك $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ لإعطاء نكهة حموضة الليمون ويلعب دور المادة الحافظة من تفاعلات محتمة. يتفاعل الحمض مع بيكربونات الصوديوم منتجاً سترات الصوديوم $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3$ وهي مادة معدلة للحموضة.

- ابحث إن كان التفاعل المذكور أعلاه ماصاً أو طارداً للحرارة.

حرارة الاحتراق القياسية

الجدول 3-1

$\Delta H^\circ_{\text{comb}}$ kJ/mol	الصيغة الكيميائية	المادة
-5644	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(s)}$	السكروز (سكر المائدة)
-5471	$\text{C}_8\text{H}_{18(l)}$	الأوكتان (أحد مكونات البنزين)
-2808	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(s)}$	الجلوكوز (سكر بسيط يوجد في الفواكه)
-2219	$\text{C}_3\text{H}_8(g)$	البروبان (وقود غازي)
-891	$\text{CH}_4(g)$	الميثان (وقود غازي)

تغيرات الحالة Changes of State

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

تسمى الحرارة اللازمة لتبخّر 1 mol من سائل **حرارة التبخر المولية** Molar enthalpy (heat) of vaporization (ΔH_{vap}). وبالمثل أيضاً إذا أردت شرب كأس ماء بارد فقد تضع فيه مكعباً من الثلج؛ فيبرد الماء لأنه يزود مكعب الثلج بالحرارة لكي ينصهر. تسمى الحرارة اللازمة لـ 1 mol من مادة صلبة **حرارة الانصهار المولية** Molar enthalpy (heat) of fusion (ΔH_{fus}). ولأن تبخر السائل وصهر المادة الصلبة عمليتان ماصتان للحرارة، تكون ΔH لكل من العمليتين موجبة. يبين الجدول 2-3 حرارة التبخر والانصهار القياسية لعدد من المواد المألوفة.



استخدم التكنولوجيا

ابحث عن معلومات حديثة تتعلق بكيفية تنظيم تبادل الطاقة أثناء إجراء تفاعلات كيميائية في أحد المصانع البحرية.

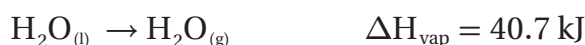


المختبر الافتراضي

صمم تجربة لتفاعل كيميائي تستقصي من خلاله التبادل الحراري الذي يحدث خلال هذا التفاعل.

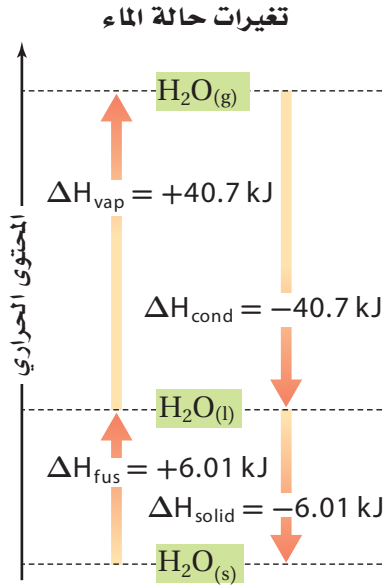
جدول 3-2		حرارة التبخر والانصهار القياسية	
المادة	الصيغة الكيميائية	$\Delta H_{\text{vap}}^{\circ}$ kJ/mol	$\Delta H_{\text{fus}}^{\circ}$ kJ/mol
الماء	H ₂ O	40.7	6.01
الإيثانول	C ₂ H ₅ OH	38.6	4.94
الميثانول	CH ₃ OH	35.2	3.22
حمض الإيثانويك	CH ₃ COOH	23.4	11.7
الأمونيا	NH ₃	23.3	5.66

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



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

الشكل 3-2 الأسهم التي تشير إلى الأعلى تدل على أن طاقة النظام تزداد عندما ينصهر الماء، ثم يتبخر. وتدل الأسهم المشيرة إلى أسفل أن طاقة النظام تقل عندما يتكثف الماء ويتجمد.

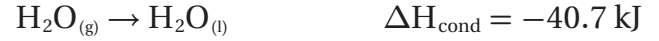


ماذا يحدث في العمليتين العكسيتين، عندما يتكثف بخار الماء ليكوّن الماء السائل أو عندما يتجمد الماء مكوناً الجليد؟ كميات الحرارة في هذه العمليات الطاردة للحرارة مساوية لكميات الحرارة التي تمتص في عمليتي التبخر والانصهار الماصتين للحرارة. وهكذا، فإن قيمة حرارة التكثيف المولية (Molar enthalpy (heat) of condensation (ΔH_{cond}) وقيمة حرارة التبخر المولية متساويتان رقمياً وإن اختلفتا في الإشارة. كذلك فإن قيمة حرارة التجمد المولية (ΔH_{solid}) وقيمة حرارة الانصهار المولية لهما القيمة الرقمية نفسها، ولكنها تختلفان في الإشارة. وهذه العلاقات موضحة في الشكل 3-2.

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

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

قارن بين المعادلتين الآتيتين تكثف وتجمد الماء بالمعادلتين المتعلقتين بتبخر الماء وصره.



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

ماذا قرأت؟ صنف عمليات كل من التكثف، والتجمد، والتبخر، والانصهار، ما إذا كانت طاردة للحرارة أو ماصة لها.

مختبر حل المشكلات

اعمل رسوماً بيانية واستعملها

بيانات الزمن ودرجة حرارة الماء

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

كيف ترسم منحنى التسخين للماء؟

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

التحليل

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

التفكير الناقد

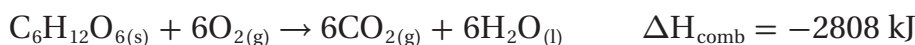
1. **حلل** كلاً من الأجزاء الخمسة من الرسم. والتي تتميز بتغير حاد في ميل المنحنى. بين كيف يغير امتصاص الحرارة من طاقة الوضع وطاقة الحركة لجزئيات الماء.
2. **احسب** كمية الحرارة اللازمة لكل منطقة من الرسم.

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

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

3. **استنتج** كيف يبدو شكل منحنى التسخين للإيثانول؟ ينصهر الإيثانول عند 114°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)؟ وما ميل المنحنى بين الأجزاء التي تتغير فيها درجة الحرارة؟

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



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

المطلوب

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

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

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

2 حساب المطلوب

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

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

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

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

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

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

3 تقويم الإجابة

الطاقة الناتجة أقل من ثلث ΔH_{comb} .

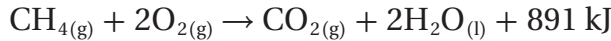
مسائل تدريبية

- احسب الحرارة اللازمة لصهر 25.7g من الميثانول الصلب عند درجة انصهاره. استعن في الجدول 3-2.
- ما كمية الحرارة المنطلقة عن تكثف 275g من غاز الأمونيا إلى سائل عند درجة غليانه؟ استعن في الجدول 3-2 لتحديد ΔH_{cond} .
- تحدّد ما كتلة الميثان CH_4 التي يجب احتراقها لإطلاق 12.880 kJ من الحرارة؟ استعن في الجدول 3-1.

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

تفاعلات الاحتراق Combustion Reactions

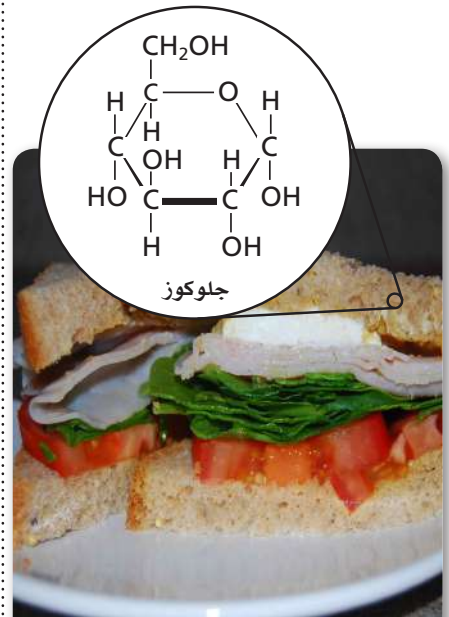
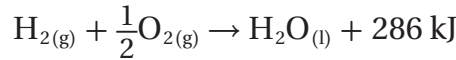
تفاعل الاحتراق عبارة عن تفاعل الوقود مع الأكسجين. وفي الأنظمة الحيوية يعد الطعام الوقود اللازم للاحتراق. يبين الشكل 3-3 بعض الأغذية العديدة التي تحتوي على الجلوكوز بالإضافة إلى أغذية أخرى تحتوي على الكربوهيدرات، والتي تتحول بدورها إلى جلوكوز داخل جسمك. كما أنك تعتمد على تفاعلات الاحتراق في تدفئة منزلك. فمثلاً، يُحرق غاز الميثان بوصفه وسيلة لطهو الطعام أو تدفئة المنازل؛ إذ ينتج عن حرق 1 mol من الميثان 891 kJ من الطاقة الحرارية، كما تبين المعادلة الكيميائية:



تعمل معظم المركبات - ومنها السيارات والطائرات والسفن والشاحنات - باحتراق الجاولين والذي يتكون غالباً من الأوكتان C_8H_{18} . ويبين الجدول 3-1 أن احتراق 1 mol من الأوكتان ينتج 5471 kJ.



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

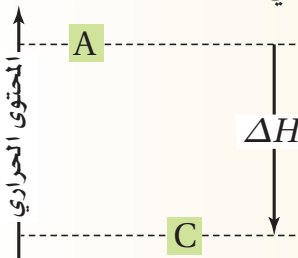


الشكل 3-3 هذه الأغذية هي وقود للجسم. فهي تزود الجسم بالجلوكوز الذي يحترق لإنتاج 2805 kJ/mol ليقوم الجسم بأنشطته الحيوية.

تقويم الدرس 3-1

الخلاصة

4. **الفكرة الرئيسية** اكتب معادلة كيميائية حرارية كاملة لاحتراق الإيثانول $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ إذا علمت أن $\Delta H_{\text{comb}} = -1367 \text{ kJ/mol}$
5. **حدد** أي العمليات الآتية طاردة للحرارة، وأيها ماصة لها؟
 - a. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$
 - b. $\text{Br}_2(\text{l}) \rightarrow \text{Br}_2(\text{s})$
 - c. $\text{C}_5\text{H}_{12}(\text{g}) + 8\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 5\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
6. **اشرح** كيف يمكنك حساب الحرارة المنطلقة عند تجمد 0.25 mol ماء.
7. **احسب** كمية الحرارة المنطلقة عنه احتراق 206 g من غاز الهيدروجين؟ $\Delta H_{\text{comb}} = -286 \text{ kJ/mol}$
8. **طبّق** إذا كانت حرارة التبخر المولية للأمونيا هي 23.3 kJ/mol فما مقدار حرارة التكثف المولية للأمونيا؟
9. **تفسير الرسوم العلمية** يبين الرسم المجاور المحتوى الحراري للتفاعل $A \rightarrow C$. هل التفاعل طارد أم ماص للحرارة؟ فسر إجابتك.



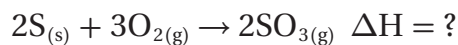
حساب التغير في المحتوى الحراري Calculating Enthalpy Change

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

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

قانون هس Hess's Law

يكون أحياناً من المستحيل أو من غير العملي أن تقيس التغير في المحتوى الحراري ΔH لتفاعل باستعمال المسعر. مثلاً، تأمل التفاعل في الشكل 3-4، وهو تغير الكربون في صورته المتأصلة (الأماس)، إلى الكربون في صورته المتأصلة، (الجرافيت). (جرافيت، C(s)، ماس، C(s)) يحصل 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 أنه توجد 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.



لسوء الحظ إن التجارب المخبرية 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 أنه إذا كنت تستطيع أن تجمع معادلتين كيميائيتين حراريتين أو أكثر لإنتاج معادلة نهائية لتفاعل ما كان مجموع التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات الفردية مساوياً لتغير المحتوى الحراري للتفاعل النهائي.

تساؤلات جوهرية

كيف تطبق قانون هس لحساب التغير في المحتوى الحراري لتفاعل ما؟

ما الأساس العلمي لحرارة التكوين القياسية؟

كيف يتم حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل ΔH°_{rxn} مستعملاً المعادلات الكيميائية الحرارية؟

ما التغير في المحتوى الحراري لتفاعل باستعمال قيم حرارة التكوين القياسية؟

مراجعة المفردات

المتآصلات: شكل أو أكثر لعنصر ويكون لهذه الأشكال تراكيب وخواص مختلفة عندما يكونون في الحالة الفيزيائية نفسها.

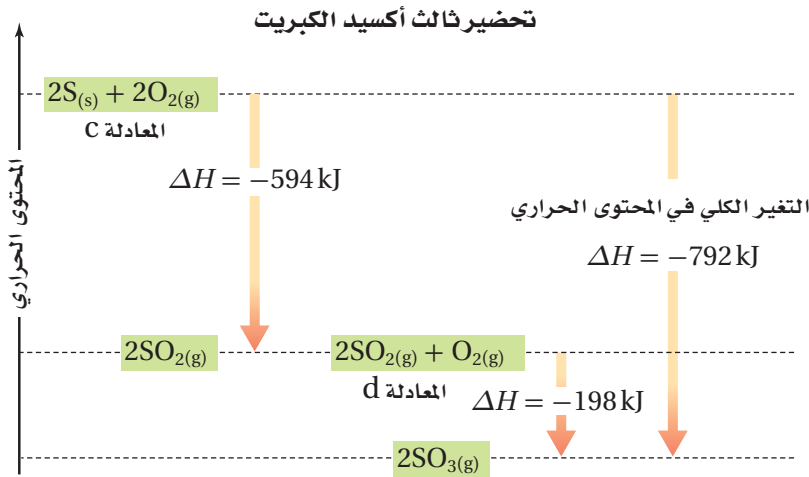
المفردات الجديدة

قانون هس

حرارة التكوين القياسية



الشكل 3-4 إن التعبير الذي يقول إن "الألماس يبقى إلى الأبد dimonds are forever" يدل على أن عملية تحويل الألماس إلى جرافيت عملية بطيئة جداً حتى أنه من المستحيل أن تقيس التغير في محتواه الحراري.



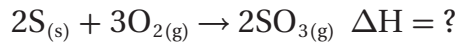
الشكل 3-5 يدل السهم الموجود عن اليسار على إطلاق 594 kJ عند اتحاد S و O₂ لتكوين SO₂ (المعادلة C).

ثم يتحد SO₂ مع O₂ لتكوين SO₃ (المعادلة d) عند إطلاق 198 kJ (السهم الأوسط).

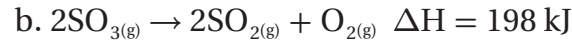
التغير الكلي في الحرارة (مجموع العمليتين) يمثل السهم الأيمن.

أوجد التغير في المحتوى الحراري لتحلل SO₃ إلى S و O₂.

تطبيق قانون هس كيف يمكن استعمال قانون هس لحساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعل الذي ينتج ثالث أكسيد الكبريت SO₃؟



الخطوة 1 نحتاج إلى الاطلاع على معادلات كيميائية معلومة تُظهر فيها التغير في المحتوى الحراري للمواد في معادلة التفاعل المطلوب حساب التغير في المحتوى الحراري له. المعادلتان الآتيتان تحتويان SO₃ و O₂ و S

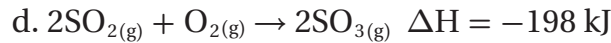


الخطوة 2 تبين معادلة التفاعل المطلوب حساب تغير التغير في المحتوى الحراري له أن 2mol من الكبريت يتحدان، إذن أعد كتابة المعادلة a لمولين من الكبريت بضرب معاملات المعادلة في اثنين. ثم ضاعف التغير الحراري ΔH؛ لأنه عند اتحاد 2mol من الكبريت تتضاعف الحرارة بهذه التغيرات، وتصبح المعادلة a كما يأتي (المعادلة c).



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

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



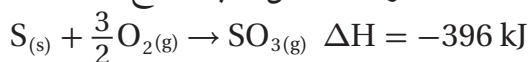
الخطوة 4 اجمع المعادلتين c و d لتحصل على المعادلة المطلوبة.



وهكذا تصبح المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق الكبريت وتكوين ثالث أكسيد الكبريت كما يأتي. ويبين الشكل 3-5 تغيرات الطاقة في هذا التفاعل.



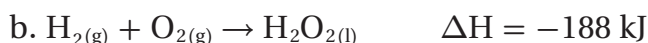
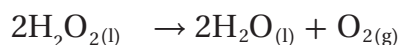
تكون المعادلات الكيميائية الحرارية عادةً موزونة لمول واحد من الناتج. ومن ثم نجد أنه في الكثير من هذه المعادلات يجب استعمال معاملات كسرية. مثلاً، تُكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لتفاعل الكبريت مع الأكسجين لإنتاج مول واحد من ثالث أكسيد الكبريت كما يأتي:



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

مثال 2-3

قانون هس: استعمل المعادلتين الكيميائيتين الحراريتين a و b أدناه لإيجاد ΔH لتحلل بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 ، وهو مركب له عدة استعمالات، منها إزالة لون الشعر، و تزويد محركات الصواريخ بالطاقة.



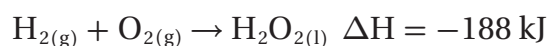
1 تحليل المسألة

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

المعطيات

المطلوب

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



2 حساب المطلوب

H_2O_2 هو مادة متفاعلة

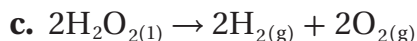
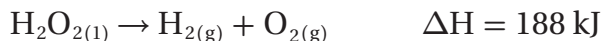
اعكس المعادلة b وغير إشارة ΔH

يلزم 2 mol من H_2O_2

اضرب المعادلة b بعد عكسها في 2 لتحصل على المعادلة c

اضرب 188 kJ في 2 لتحصل على ΔH للمعادلة c

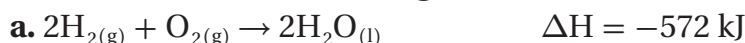
اكتب المعادلة c متضمنة ΔH



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



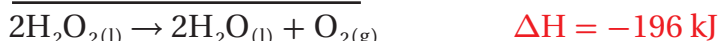
اجمع المعادلة a مع المعادلة c، واحذف كل حدّين موجودين على طرفي المعادلة المدججة. اجمع المحتوى الحراري للمعادلتين a و c.



اكتب المعادلة a



اكتب المعادلة c



اجمع المعادلتين a و c

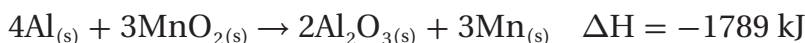
3 تقويم الإجابة

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

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



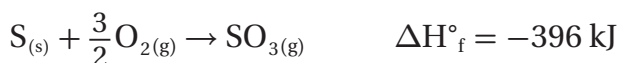
11. تحدد إذا كانت قيمة ΔH للتفاعل الآتي -1789 kJ ، استعمل بذلك مع المعادلة a لإيجاد ΔH للتفاعل b



المحتوى الحراري القياسي للتكوين (حرارة التكوين القياسية) Standard Enthalpy (Heat) of Formation

يمكنك 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 لا نهاية لها. و عوضاً عن ذلك، يسجل العلماء ويستعملون التغيرات في المحتوى الحراري فقط لنوع واحد من التفاعل، وهو التفاعل الذي يتكون فيه المركب من عناصره في حالاتها الطبيعية القياسية (عند ضغط جوي واحد (1atm) ودرجة حرارة 25°C (298k)). فمثلاً، الحديد صلب، والزئبق السائل، والأكسجين غاز ثنائي الذرة في الحالة القياسية. يسمى 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 تكون ثالث أكسيد الكبريت SO_3 مثلاً على تفاعل حرارة تكوين قياسية.



ينتج عن هذا التفاعل ثالث أكسيد الكبريت SO_3 ، وهو غاز خانق يتسبب في إنتاج المطر الحمضي عندما يختلط بالرطوبة الموجودة في الجو. والشكل 3-6 يبين النتائج المدمرة للمطر الحمضي.

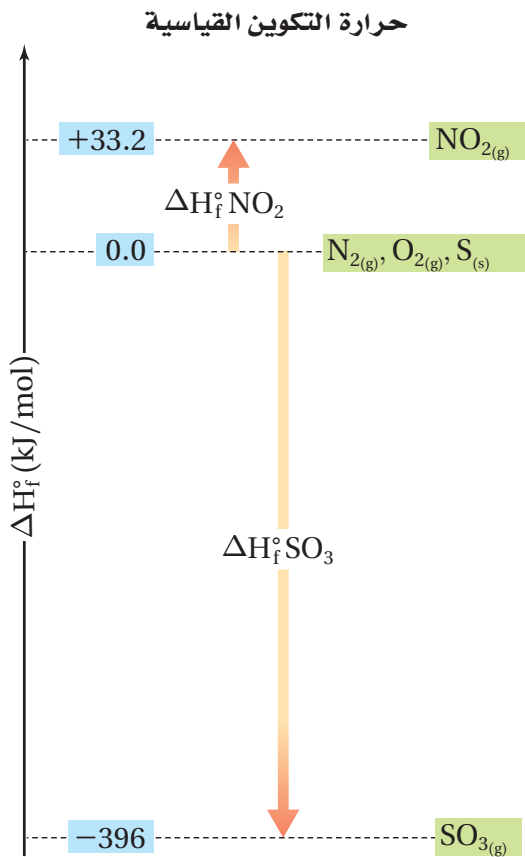
الكيمياء الخضراء



قضايا بيئية



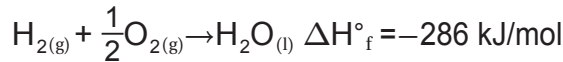
الشكل 3-6 يتحد ثالث أكسيد الكبريت مع الماء في الجو مكوناً حمض الكبريتيك H_2SO_4 ، وهو حمض قوي يصل إلى الأرض على شكل مطر حمضي. المطر الحمضي يدمر الأشجار والممتلكات ببطء.



الشكل 3-7 ΔH_f° للعناصر N_2 و O_2 و S تساوي (0.0kJ). عندما يتفاعل N_2 مع O_2 لتكوين مول واحد من NO_2 يتم امتصاص 33.2kJ من الطاقة.

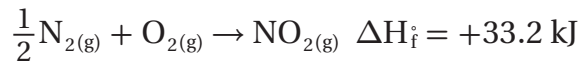
لذا، فإن ΔH_f° لـ NO_2 تساوي 33.2 kJ/mol. أما عند تفاعل S مع O_2 لتكوين مول واحد من SO_3 ينطلق 396 kJ من الطاقة. لذا فإن ΔH_f° لـ SO_3 تساوي -396 kJ/mol.

توقع صف موقع الماء التقريبي على الرسم أعلاه.



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 تدريجاً لقيم حرارة التكوين للمركبات، والتي تم إيجادها مخبرياً. يمكنك التفكير في الصفر على هذا التدرج بما يشبه الصفر المتوي 0.0°C الذي حُدّد 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 تحت الصفر.

إيجاد حرارة التكوين بالتجارب المخبرية تفاعل تكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين الموضح بالمعادلة :



من عنصري النيتروجين والأكسجين في الحالة القياسية، تكون حرارة التكوين لهما تساوي صفرًا. وعند تفاعل النيتروجين مع الأكسجين لتكوين مول واحد من ثاني أكسيد النيتروجين وجد مخبرياً أن ΔH تساوي 33.2 kJ.

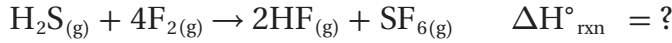
وهذا يعني أن 33.2 kJ من الطاقة قد امتصت في هذا التفاعل الماص للحرارة. أي أن المحتوى الحراري للنتائج NO_2 أعلى من المحتوى الحراري للمتفاعلات بمقدار 33.2 kJ. يبين الشكل 3-7 أنه على تدرج حرارة التكوين القياسية يوضع NO_2 فوق العناصر المكونة له بمقدار 33.2 kJ. ويوضع ثالث أكسيد الكبريت SO_3 بمقدار 396 kJ تحت الصفر؛ لأن $\text{SO}_3(g)$ ينتج عن تفاعل طارد للحرارة. أي أن حرارة التكوين لثالث أكسيد الكبريت ΔH_f° هو -396 kJ. يحتوي الجدول 3-3 على قيم حرارة التكوين القياسية لبعض المركبات الشائعة.

الجدول 3-3		حرارات التكوين القياسية
المركب	معادلة التكوين	ΔH_f° (kJ/mol)
$\text{H}_2\text{S}_{(g)}$	$\text{H}_{2(g)} + \text{S}_{(s)} \rightarrow \text{H}_2\text{S}_{(g)}$	-21
$\text{HF}_{(g)}$	$\frac{1}{2}\text{H}_{2(g)} + \frac{1}{2}\text{F}_{2(g)} \rightarrow \text{HF}_{(g)}$	-273
$\text{SO}_3(g)$	$\text{S}_{(s)} + \frac{3}{2}\text{O}_{2(g)} \rightarrow \text{SO}_3(g)$	-396
$\text{SF}_6(g)$	$\text{S}_{(s)} + 3\text{F}_{2(g)} \rightarrow \text{SF}_6(g)$	-1220

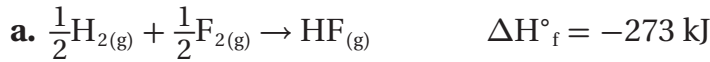
الشكل 3-8 يستعمل سادس فلوريد الكبريت في حفر أشكال دقيقة، وأحياناً بنمط محدد على رقائق السيليكون في عملية إنتاج الأجهزة شبه الموصلة. تعتبر أشباه الموصلات أجزاء مهمة في الأجهزة الالكترونية الحديثة ومنها الحواسيب والهواتف الخلوية ومشغلات MP3، وغيرها.



استعمال حرارة التكوين القياسية تستعمل حرارة التكوين القياسية في حساب حرارة التفاعل $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ لكثير من التفاعلات في الظروف القياسية باستعمال قانون هس. افترض أنك أردت أن تحسب $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ لتفاعل ينتج سادس فلوريد الكبريت، وهو غاز مستقر، غير نشط، له تطبيقات مهمة. واحدة منها مبينة في الشكل 3-8.

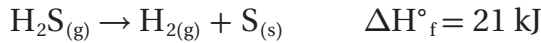


الخطوة 1 ارجع إلى الجدول 3-5 لتجد معادلة تفاعل تكوين كل من المركبات الثلاثة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$.



الخطوة 2 المعادلتان **a** و **b** تصفان تكوُّن الناتجين HF و SF₆ في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ ، لذا استعمل المعادلتين **a** و **b** كما هما.

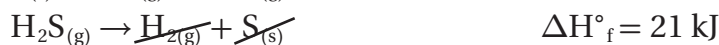
المعادلة **c** تصف تكوُّن H₂S، ولكن H₂S هو أحد المواد المتفاعلة في معادلة التفاعل المراد حساب حرارته القياسية. لذا اعكس المعادلة **c** وغير إشارة ΔH°_f فيها.



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



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



استخدم التكنولوجيا

نحو الذكاء الاصطناعي....

استخدم تطبيقاً رقمياً يمكنك من إدخال معلومات عن تفاعلات كيميائية في إحدى المجالات التالية (صناعة الأدوية - الصناعات الغذائية - بتروكيمياويات - صناعة المعادن) بمملكة البحرين، ثم من حساب التبادل الحراري عن طريق قانون هس.

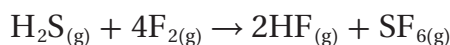
يمكن تلخيص خطوات حساب حرارة التفاعل القياسية $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ بالصيغة أدناه:

معادلة التجميع

$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}} = \Sigma \Delta H^\circ_f(\text{النواتج}) - \Sigma \Delta H^\circ_f(\text{المتفاعلات})$$

$\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ تمثل حرارة التفاعل القياسية، و Σ تمثل مجموع الحدود.

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



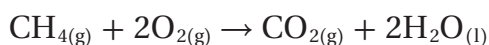
$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}} = [2\Delta H^\circ_f \text{HF} + \Delta H^\circ_f \text{SF}_6] - [\Delta H^\circ_f \text{H}_2\text{S} + (4)\Delta H^\circ_f \text{F}_2]$$

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

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

مثال 3-3

إيجاد تغير المحتوى الحراري من حرارات التكوين القياسية استعمال حرارات التكوين القياسية لحساب $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ لتفاعل احتراق الميثان.



1 تحليل المسألة

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

$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}} = \Sigma \Delta H^\circ_f(\text{النواتج}) - \Sigma \Delta H^\circ_f(\text{المتفاعلات})$$

المطلوب

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

المعطيات

$$\Delta H^\circ_f \text{CO}_2 = -394 \text{ kJ}$$

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

$$\Delta H^\circ_f \text{CH}_4 = -75 \text{ kJ}$$

$$\Delta H^\circ_f \text{O}_2 = 0.0 \text{ kJ}$$

2 حساب المطلوب

$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}} = \Sigma \Delta H^\circ_f(\text{النواتج}) - \Sigma \Delta H^\circ_f(\text{المتفاعلات})$$

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

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

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

استعمل العلاقة الرياضية:

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

عوض قيم حرارة التكوين في المعادلة

احتراق 1 mol من CH_4 يعطي 891 kJ

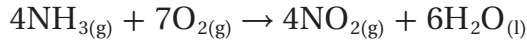
3 تقويم الإجابة

القيمة التي تم حسابها هي القيمة المعطاة في الجدول 3-1 نفسها.

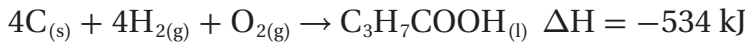
12. بين كيف أن مجموع معادلات حرارة التكوين يعطي كلاً من التفاعلات الآتية، دون البحث عن قيم ΔH واستعمالها في الحل.



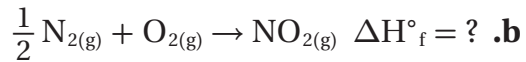
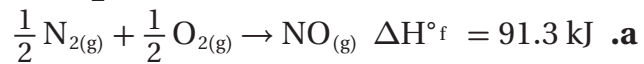
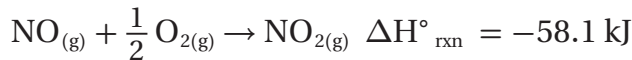
13. مستعيناً بجدول قيم حرارة التكوين القياسية (أحد ملاحق الكتاب)، احسب $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ للتفاعل الآتي.



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



15. تحدّد تندمج معادلتنا حرارة التكوين a و b لتكوّنوا معادلة لتفاعل أكسيد النيتروجين مع الأكسجين. وينتج عن التفاعل ثاني أكسيد النيتروجين.



ما قيمة $\Delta H^\circ_{\text{f}}$ للتفاعل b؟

تقويم الدرس 3-2

الخلاصة

16. **الفكرة الرئيسية** وضح المقصود بقانون هس، وكيف يستعمل لإيجاد $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ ؟
17. اشرح بالكلمات الصيغة التي يمكن استعمالها لإيجاد $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ عند استعمال قانون هس.
18. صف كيف تعرّف العناصر في حالاتها الطبيعية القياسية على تدرّج حرارة التكوين القياسية.
19. تفحص البيانات في الجدول 3-3. ماذا يمكن أن تستنتج عن ثبات أو استقرار المركبات المذكورة مقارنةً بالعناصر في حالاتها الطبيعية؟ تذكر أن الثبات والاستقرار يرتبط مع الطاقة المنخفضة.
20. احسب استعمال قانون هس لإيجاد ΔH للتفاعل أدناه:
- $$\text{NO}(\text{g}) + \text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = ?$$
- $$\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = +495 \text{ kJ}$$
- $$2\text{O}_3(\text{g}) \rightarrow 3\text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -427 \text{ kJ}$$
- $$\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -199 \text{ kJ}$$
21. تفسّر الرسوم العلمية استعماله البيانات أدناه لعمل رسم حرارة التكوين القياسية مشابه للشكل 3-7، واستعمله في إيجاد حرارة تبخر الماء عند 298 K .
- الماء السائل: $\Delta H^\circ_{\text{f}} = -285.8 \text{ kJ/mol}$
- الماء في الحالة الغازية: $\Delta H^\circ_{\text{f}} = -241.8 \text{ kJ/mol}$

كيف تعمل الأشياء؟

المركبات ذات المرونة في استعمال الوقود

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



1 **مصدر متجدد** E85 ووقود 15% من حجمه جازولين و 85% إيثانول. الإيثانول C_2H_5OH وقود متجدد يمكن إنتاجه منزلياً.

2 **فائدة بيئية** يقلل احتراق E85 من إطلاق غازات الدفيئة كثنائي أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين مقارنة بالجازولين.

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

4 **منع التلوث** ان 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 1 mol من الأوكتان C_8H_{18} ، وهو أحد مكونات البنزين، و 1 mol من الإيثانول.

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

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

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

مختبر الكيمياء

قياس السعرات الحرارية



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

سؤال: ما عدد السعرات في شريحة البطاطس؟

المواد والأدوات اللازمة

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

حلل واستنتج

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

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

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

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

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

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

الاستقصاء

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

إجراءات السلامة

تحذير: بعض الأشياء الساخنة قد لا تبدو في مظهرها ساخنة.

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

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. قس كتلة شريحة البطاطس وسجلها في جدول بيانات.
3. ضع شريحة البطاطس في صحن تبخير على القاعدة الفلزية لحامل الحلقة. ثبت الحلقة وشبكة التسخين بحيث تكونان على ارتفاع 10 cm فوق شريحة البطاطس.
4. قس كتلة كأس سعتها 250 ml فارغة وسجلها في جدول البيانات.
5. مستعملًا المخبار المدرج، قس 50 ml ماء وصبه في الكأس. قس كتلة الكأس والماء وسجلها في جدول البيانات.
6. قس وسجل درجة الحرارة الأولية للماء.
7. ضع الكأس على الشبكة التسخين على الحامل الحلقي. أشعل شريحة البطاطس أسفل الكأس.
8. حرك الماء في الكأس بلطف في أثناء احتراق الشريحة. قس أعلى درجة حرارة يصلها الماء وسجلها.
9. **التخلص من النفايات** اتبع تعليمات المعلم.

الفكرة العامة تمتص التفاعلات الكيميائية عادة الحرارة أو تطلقها.

3-1 المعادلات الكيميائية الحرارية

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

المفردات

- المحتوى الحراري
- التغير في المحتوى الحراري
- حرارة التفاعل
- الكون
- النظام
- المحيط
- المعادلة الكيميائية الحرارية
- حرارة الاحتراق
- حرارة التبخر المولية
- حرارة الانصهار المولية

المفاهيم الرئيسية

- تسمى الطاقة الممتصة أو المنطلقة أثناء تفاعل ما عند ضغط ثابت حرارة التفاعل أو التغير في المحتوى الحراري: $\Delta H = H_f - H_i$
- يحدث تفاعل طارد الحرارة عندما يفقد النظام طاقة لصالح المحيط.
- يحدث تفاعل ماص للحرارة عندما يكسب النظام طاقة من المحيط الخارجي.
- تشمل المعادلة الكيميائية الحرارية الحالات الفيزيائية للمواد المتفاعلة والنواتج والتغير في المحتوى الحراري.
- حرارة التبخر المولية، ΔH_{vap} ، هي كمية الطاقة اللازمة لتبخير 1 mol من السائل.
- حرارة الانصهار المولية، ΔH_{fus} ، هي كمية الطاقة اللازمة لصهر 1 mol من المادة الصلبة.

3-2 حساب التغير في المحتوى الحراري

الفكرة الرئيسية يستعمل قانون هس في حساب التغير في المحتوى الحراري للتفاعلات باستعمال قانون هس.

المفردات

- قانون هس
- حرارة التكوين القياسية

المفاهيم الرئيسية

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

$$\Delta H^{\circ}_{rxn} = \sum \Delta H^{\circ}_f(\text{النواتج}) - \sum \Delta H^{\circ}_f(\text{التفاعلات})$$

29. **التدفئة باستعمال الفحم** ما كمية الحرارة التي تنطلق عند احتراق 5.0 Kg من الفحم إذا كانت نسبة كتلة الكربون فيه 96.2% والمواد الأخرى التي يحتويها الفحم لا تتفاعل؟
 ΔH_{comb} للكربون يساوي -394 kJ/mol

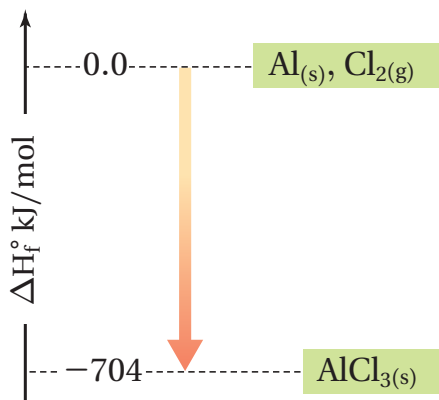
30. ما كمية الحرارة المنطلقة من تكثف 1255 g بخار ماء إلى ماء سائل عند درجة حرارة 100°C ؟

31. عينة من الأمونيا تطلق 5.66 kJ من الحرارة عندما تتصلب عند درجة انصهارها. ما كتلة العينة؟

3-2

إتقان المفاهيم

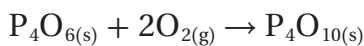
32. ماذا تصف حرارة التكوين القياسية لمركب معين؟
 33. كيف تتغير ΔH في معادلة كيميائية حرارية إذا تضاعفت كميات المواد جميعها ثلاث مرات وعكست المعادلة؟
 34. استعمل الشكل 3-10 لكتابة المعادلة الكيميائية الحرارية لتكوين 1 mol من كلوريد الألومنيوم (وهو صلب في حالته الطبيعية) من عناصره في حالتها القياسية.



الشكل 3-10

إتقان حل المسائل

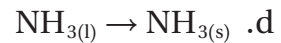
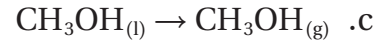
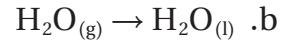
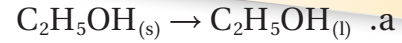
35. استعمل حرارة التكوين القياسية لحساب $\Delta H^\circ_{\text{rxn}}$ للتفاعل الآتي:



3-1

إتقان المفاهيم

22. اكتب إشارة ΔH لكل من تغيرات الحالة الفيزيائية الآتية:



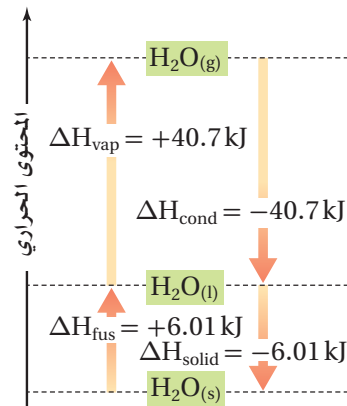
23. حرارة الانصهار المولية للميثانول هي 3.22 kJ/mol . ماذا يعني ذلك؟

24. اشرح كيف يساعد التعرق على تبريد جسمك؟

25. اكتب المعادلة الكيميائية الحرارية لاحتراق الميثان.

إتقان حل المسائل

26. استعن بالمعلومات من الشكل 3-9 لحساب كمية الحرارة اللازمة لتبخر 4.33 mol من الماء عند درجة حرارة 100°C .



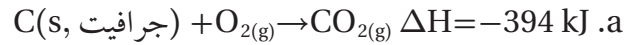
الشكل 3-9

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

28. **الشواء** ما كتلة البروبان C_3H_8 التي يجب حرقها في مشواة لكي تطلق 4560 kJ من الحرارة؟ ΔH_{comb} للبروبان تساوي -2219 kJ/mol

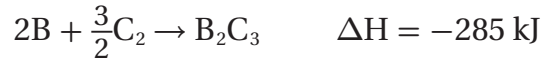
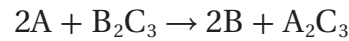
36. استعمل قانون هس والمعادلتين الكيميائيتين الحراريتين

الآتيتين لإيجاد المعادلة الكيميائية الحرارية للتفاعل
(جرافيت، C(s)) → C(s, الماس). ما مقدار ΔH للتفاعل؟



37. استعمل قانون هس والتغيرات في المحتوى الحراري

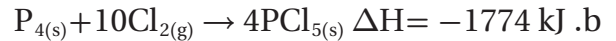
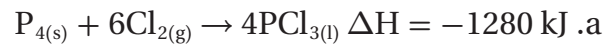
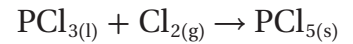
للتفاعلين الشاملين الآتين لحساب ΔH للتفاعل:



التفكير الناقد

38. طبق يعد ثالث كلوريد الفوسفور مادة أولية في تحضير

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



39. توقع أي من المركبين: غاز الميثان CH₄، وبخار الميثانال CH₂O،

لديه حرارة احتراق أكبر؟ وضح إجابتك. (ملاحظة: اكتب وقارن
المعادلتين الكيميائيتين الموزونتين لتفاعلي الاحتراق لكل منهما).

مسألة تحد

40. حللت عينة من الغاز الطبيعي فوجد أنها تتكون من 88.4%

ميثان CH₄ و 11.6% إيثان C₂H₆. فإذا كانت حرارة
الاحتراق القياسية للميثان هي -891 kJ/mol، وينتج عن
احتراقه غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂ وماء سائل H₂O.
اكتب معادلة احتراق غاز الإيثان مكوناً ثاني أكسيد الكربون
والماء. احسب حرارة الاحتراق القياسية للإيثان مستعملاً
حرارة تكوينه القياسية والتي تساوي -84 kJ/mol. استعمل
النتيجة وحرارة الاحتراق القياسية للميثان من الجدول 1-3،
في حساب الطاقة المنطلقة عن احتراق 1 kg من الغاز الطبيعي.

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

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

41. الوقود البديل ابحث من خلال المصادر وشبكة الإنترنت حول كيف يمكن إنتاج الهيدروجين وشحنه واستعماله وقوداً للسيارات. لخص الفوائد والعوائق لاستعمال الهيدروجين وقوداً بديلاً في محركات الاحتراق الداخلي.

أسئلة المستندات

زيت الطبخ قامت مجموعة بحث جامعية بحرق أربعة أنواع من زيوت الطبخ في مسعر لتحديد ما إذا كان هناك علاقة بين حرارة الاحتراق وعدد الروابط الثنائية في جزيء الزيت. تحتوي زيوت الطبخ على سلاسل طويلة من ذرات الكربون التي ترتبط بروابط مفردة أو ثنائية. السلسلة التي لا تحتوي على روابط ثنائية تسمى المشبعة. والزيوت التي تحتوي على رابطة ثنائية أو أكثر تسمى غير مشبعة. حرارة الاحتراق للزيوت الأربعة موجودة في الجدول 3-4. حسب الباحثون نسبة انحراف النتائج فوجدوا أنها 0.6%، واستنتجوا أنه لا يمكن تحري أي علاقة بين التشبع وحرارة الاحتراق بالطريقة المختبرية المستعملة.

الجدول 3-4 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

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

43. ما مقدار الحرارة التي يمكن أن تنطلق عند حرق 0.554 kg من زيت الزيتون؟

اختبار تراكمي مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. في التفاعل $2Al + 3FeO \rightarrow Al_2O_3 + 3Fe$ ما النسبة

المولية بين أكسيد الحديد III وأكسيد الألومنيوم

a. 2:3

b. 3:2

c. 1:1

d. 3:1

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤال 2.

كهروسالبية بعض العناصر						
H						
2.20						
Li	Be	B	C	N	O	F
0.98	1.57	2.04	2.55	3.04	3.44	3.98
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
0.93	1.31	1.61	1.90	2.19	2.58	3.16

2. ما الرابطة الأكبر كهروسالبية؟

a. H-H

b. H-N

c. H-C

d. H-O

3. عدد تأكسد العنصر Q يساوي +2، وعدد تأكسد العنصر

M يساوي -3. ما الصيغة الصحيحة للمركب الناتج عن

Q و M؟

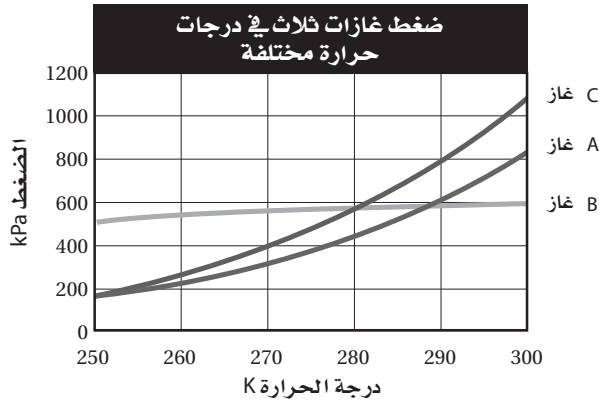
a. Q_2M_3

b. M_2Q_3

c. Q_3M_2

d. M_3Q_2

استعمل الرسم البياني أدناه للإجابة عن السؤال 4.



4. ما الضغط المتوقع للغاز B عند 310 K؟

a. 500 kPa .c 700 kPa

b. 600 kPa .d 900 kPa

استعمل الجدول أدناه للإجابة عن السؤالين 5 و 6.

كثافة وكهروسالبية بعض العناصر		
العنصر	الكثافة g/ml	الكهروسالبية
الألمنيوم	2.698	1.6
الفلور	1.696×10^{-3}	4.0
الكبريت	2.070	2.6
النحاس	8.960	1.9
الماغنيسيوم	1.738	1.3
الكربون	3.513	2.6

5. عينة من فلز كتلتها 9.250 g وحجمها 5.250 ml. ما

هذا الفلز؟

a. ألومنيوم .d نحاس

b. ماغنيسيوم .e كبريت

c. كربون

6. أي زوج لديه الاحتمال الأكبر لتكوين رابطة أيونية؟

a. كربون وكبريت

b. ألومنيوم وماغنيسيوم

c. نحاس وكبريت

d. ماغنيسيوم وفلور

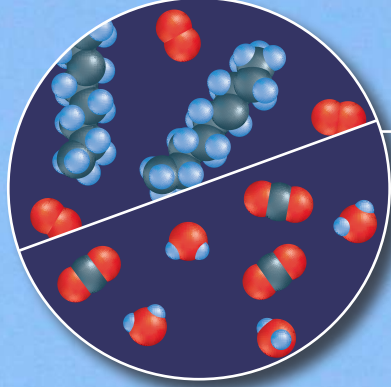
e. ألومنيوم وكربون

سرعة التفاعلات الكيميائية

Reaction Rates

4

سورة



متفاعلات ونواتج الاحتراق



مكبس واسطوانة



محرك



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

4-1 نموذج لسرعة التفاعلات الكيميائية

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

4-2 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

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

4-3 قوانين سرعة التفاعل

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

حقائق كيميائية

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

نشاطات تمهيدية

نشاط استهلاكي

كيف يمكن زيادة سرعة التفاعل؟

تحدث بعض التفاعلات الكيميائية بشكل بطيء جداً بحيث يصعب ملاحظتها. وستقوم في هذا النشاط بتقصي طريقة واحدة لتسريع تفاعل بطيء.



خطوات العمل

1. أقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. اعمل جدولاً لتسجيل المشاهدات والملاحظات قبل وبعد النشاط.
3. اسكب 10 ml تقريباً من فوق أكسيد الهيدروجين في دورق زجاجي. ثم سجّل ملاحظتك الأولية في جدول الملاحظات والمشاهدات.
- تحذير: فوق أكسيد الهيدروجين مادة حارقة، لذا تجنب ملامستها للجلد والعيون.
4. أضف 0.1 g من خميرة الخبز إلى فوق أكسيد الهيدروجين، حرك بلطف مستعملاً عود تنظيف الأسنان، ولاحظ المخلوط مرة أخرى، وسجل ملاحظتك في جدول الملاحظات.

تحليل النتائج

1. حدد المواد الناتجة عن تحليل 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.

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يتوقع من الطالب أن يكون قادراً على:

- تعريف نموذج سرعة التفاعل الكيميائي والتعبير عنه رياضياً.
- حساب سرعة التفاعلات الكيميائية باستخدام وحدات قياس مختلفة.
- إدراك أهمية مفهوم سرعة التفاعل في الصناعات الكيميائية.
- توضيح تأثير سرعة التفاعل ببعض الظروف الداخلية والخارجية.
- تفسير وتطبيق المفاهيم المتعلقة بقانون سرعة التفاعل الكيميائي.
- استقصاء وحل المشكلات وبناء نماذج تتعلق بقوانين سرعة التفاعل والعوامل المؤثرة في سرعة التفاعل الكيميائي.
- استخدام أدوات وأجهزة علمية لتسجيل بيانات وقياسها بدقة.
- تفسير البيانات المستقاة من الاستقصاءات باستخدام الحسابات والرسومات والنماذج وتكنولوجيا الحاسوب.

مير المواقع الإلكترونية



لمراجعة محتوى هذا الفصل وأنشطته ارجع إلى الموقع الإلكتروني لوزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين:

www.moe.gov.bh

تساؤلات جوهرية

كيف يتم حساب معدل متوسط سرعة التفاعل الكيميائي من بيانات التجربة؟

كيف يتم الربط بين سرعة التفاعل الكيميائي ونظرية التصادم بين جسيمات المواد المتفاعلة؟

مراجعة المفردات

الطاقة: القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة. وتكون الطاقة على شكلين: طاقة وضع وطاقة حركة.

المفردات الجديدة

سرعة التفاعل الكيميائي

نظرية التصادم

المعقد المنشط

طاقة التنشيط

نموذج لسرعة التفاعلات الكيميائية

A Model for Reaction Rates

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

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

التعبير عن سرعة التفاعل Expressing Reaction Rates

اكتشفت في النشاط الاستهلاكي أن تفاعل تحلل فوق أكسيد الهيدروجين يمكن أن يكون تفاعلاً سريعاً أو بطيئاً. فالمصطلحات، سريع أو بطيء هي مصطلحات غير دقيقة؛ إذ يجب أن يكون تعبيرنا أكثر دقة وتحديداً.

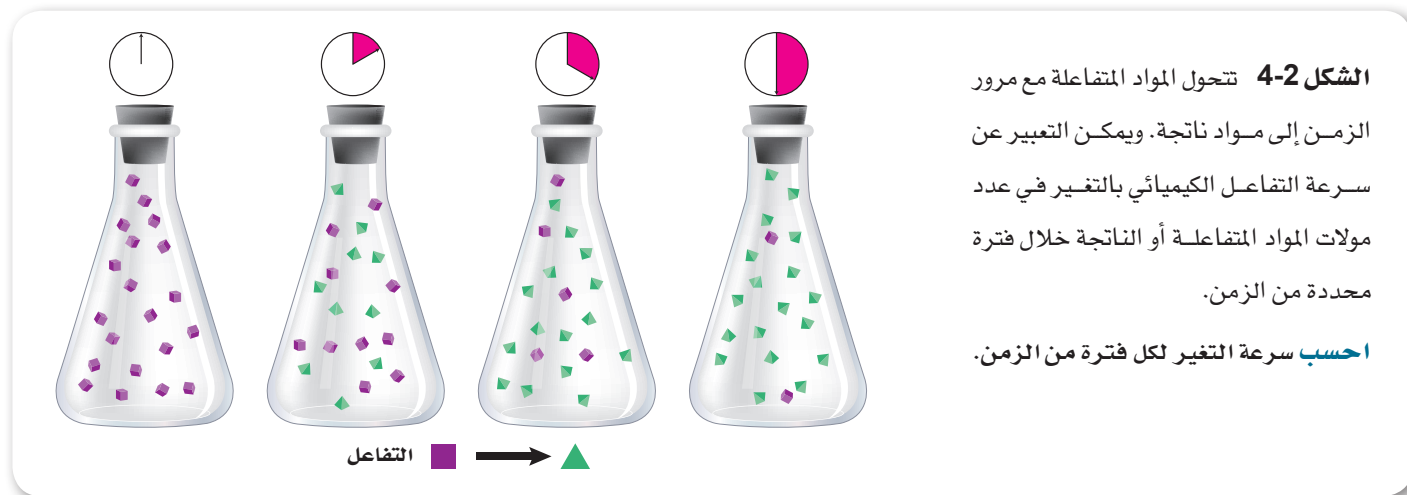
فكر في كيفية التعبير عن سرعة أو متوسط سرعة الأشياء المتحركة. يبين عداد السرعة في الشكل 4-1 أن سيارة السباق تتحرك بسرعة مقدارها 100 Km/h، بينما يمكن التعبير عن سرعة العداء في مضمار السباق بوحدة m/s. وعموماً يعرف متوسط السرعة لحدث ما أو عملية محددة بالتغير الكمي خلال زمن محدد. ولاشتقاق العلاقة الرياضية نستعمل الرمز دلتا (Δ) قبل الكمية (quantity) لتشير إلى التغير في هذه الكمية كما في المعادلة الآتية:

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

الشكل 4-1 يبين عداد السرعة في سيارة السباق السرعة بوحدة Km/h أو ميل لكل ساعة (MPH)،

وكلاهما يعني التغير في المسافة في وحدة الزمن. وقد تقاس سرعة العداء بوحدة m/s.

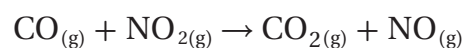




يبين الشكل 2-4 عملية تحوّل المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة مع مرور الزمن. لاحظ أن كمية المواد المتفاعلة تقل بينما تزداد المواد الناتجة. فإذا علمت متوسط التغير في النواتج أو المتفاعلات مع مرور الزمن أمكنك حساب متوسط سرعة التفاعل. وفي الغالب يحتاج الكيميائيون إلى معرفة التغير في التركيز المولاري M لمادة متفاعلة أو ناتجة خلال التفاعل. ولذلك جاء تعريف **سرعة التفاعل الكيميائي** ليعبر عن التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن، ويعبر عنها بوحدة $\text{mol/l}\cdot\text{s}$. وتشير الأقواس التي تكون حول الصيغة الجزيئية للمواد إلى التركيز المولاري. فمثلاً $[\text{NO}_2]$ تمثل التركيز المولاري لـ NO_2 .

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

لنفرض أنك ترغب في التعبير عن متوسط سرعة التفاعل الآتي خلال فترة زمنية بدأت عند t_1 وانتهت عند t_2 .



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

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

ولنفترض على سبيل المثال أن تركيز NO هو $0.000M$ عندما كان $t_1 = 0.00 \text{ s}$ وأصبح تركيزه $0.010M$ بعد ثابنتين من بداية التفاعل، فما متوسط سرعة التفاعل بوحدة عدد مولات NO الناتجة لكل لتر في الثانية؟

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

لاحظ كيفية اشتقاق الوحدة:

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

المفردات

المفردات الأكاديمية

التركيز Concentration

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

الاستعمال الشائع: تركيز الانتباه على هدف أو غرض واحد.

فنقول مثلاً: اقتصر تركيز الجمهور على الأداء فقط.

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

متوسط سرعة التفاعل =

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

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

معادلة متوسط سرعة التفاعل

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

[مواد متفاعلة reactants Δ] تمثل التغير في تركيز المواد المتفاعلة.

Δt تمثل التغير في الزمن

مثال 4-1

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

1 تحليل المسألة

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

المعطيات

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

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

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

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

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة متوسط سرعة التفاعل

عوض عن الزمن والتركيز الابتدائيين والنهائيين

احسب الناتج بوحدة mol/l.s

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

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

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

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

3 تقويم الإجابة

متوسط سرعة التفاعل يساوي 0.0300 mol/l.s، معتمداً على الكمية الموجودة في بداية التفاعل ونهايته.

استعمل البيانات الموجودة في الجدول أدناه لحساب متوسط سرعة التفاعل:

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

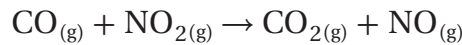
- احسب متوسط سرعة التفاعل معبراً عنها بعدد مولات H₂ المستهلكة لكل لتر في كل ثانية .
- احسب متوسط سرعة التفاعل معبراً عنه بعدد مولات Cl₂ المستهلكة لكل لتر في كل ثانية
- تحديد إذا علمت أن متوسط سرعة التفاعل لحمض الهيدروكلوريك HCl المتكون هي 0.05 mol /l.s، فما تركيز HCl الذي يتكون بعد مرور 4.00 s؟

نظرية التصادم Collision Theory

في التفاعل الكيميائي؛ يجب أن تتصادم جزيئات المواد المتفاعلة لتكوين النواتج. يمثل الشكل 3-4 أيضاً التفاعل بين جزيئات A₂ و B₂ لتكوين مركب AB. ويجب أن تتصادم جزيئات المواد المتفاعلة بعضها ببعض لتكوين جزيئات AB. لذا يوضح هذا الشكل **نظرية التصادم** التي تنص على حتمية اصطدام الذرات والأيونات والجزيئات بعضها ببعض لكي يتم التفاعل.

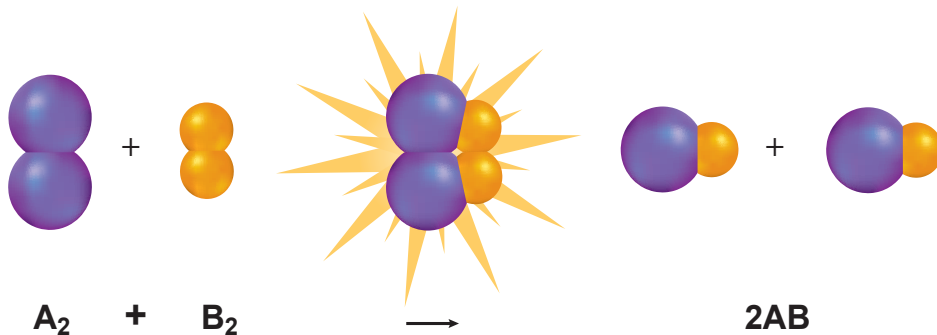
✓ **ماذا قرأت؟ توقع لماذا يجب حدوث اصطدامات بين الجسيمات لحدوث التفاعل.**

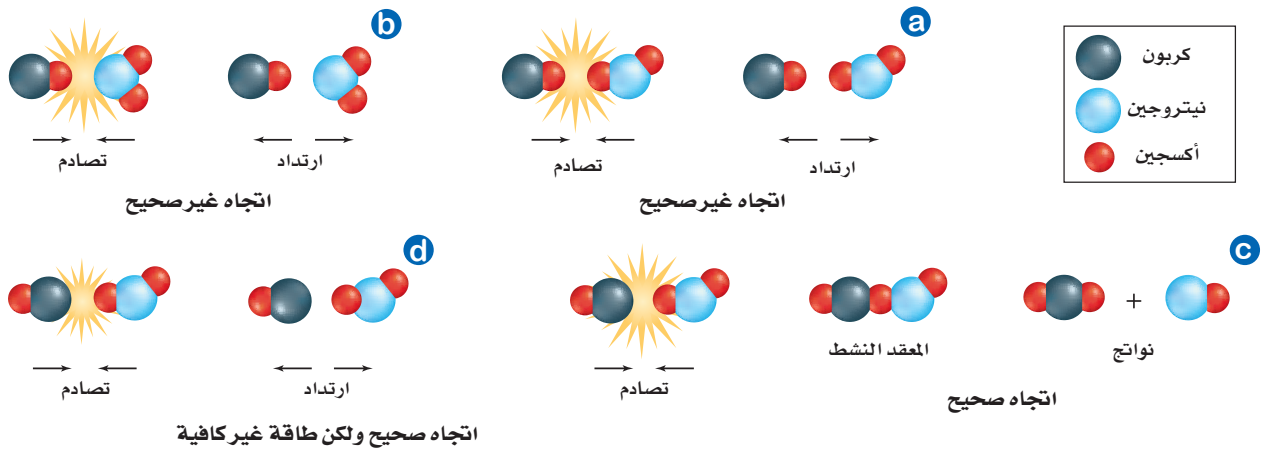
لاحظ تفاعل غاز أول أكسيد الكربون CO مع غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO₂ الذي يحدث عند درجة حرارة أعلى من 500 K والموضح بالمعادلة:



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

الشكل 3-4 في التفاعلات الكيميائية؛ يجب أن تتصادم الجسيمات بكمية كافية من الطاقة لكي يحدث تفاعل.





الشكل 4-4 يبين الشكل أربعة احتمالات مختلفة لاتجاهات التصادم بين جزيئات CO و NO₂. لا تؤدي الاصطدامات في كل من الحالتين a و b إلى حدوث تفاعل؛ لأن الجزيئات لا تستطيع تكوين روابط. أما تصادم الجزيئات في الحالة c فهو في اتجاه مناسب لحدوث التفاعل. وعلى الرغم من أن تصادم الجزيئات في d في الاتجاه المناسب، إلا أن طاقتها غير كافية لحدوث تفاعل.

يوضح الشكلان 4-4a، 4-4b الإجابة المحتملة عن هذا السؤال، فلكي يؤدي الاصطدام إلى حدوث تفاعل، يجب أن ترتبط ذرة الكربون من جزيء CO بذرة أكسجين من جزيء NO₂ في لحظة الاصطدام، وهذه هي الطريقة الوحيدة لتتكون رابطة مؤقتة. أما الاصطدامات الموضحة في الشكلين 4-4a، 4-4b فلا تؤدي إلى حدوث تفاعل؛ لأن الجزيئات تتصادم بشكل غير مناسب؛ حيث لا تلامس ذرة الكربون ذرة الأكسجين في لحظة التصادم، فترتد الجزيئات دون تكوين روابط.

ولكن عندما يكون اتجاه الجزيئات مناسباً في أثناء التصادم، كما في الشكل 4-4c، يحدث التفاعل، وتنتقل ذرة أكسجين من جزيء NO₂ إلى جزيء CO. وعندما يحدث ذلك تتكون جسيمات عمرها قصير تدعى **المعقد المنشط** Activated Complex، ويدعى في بعض الأحيان الحالة الانتقالية، وهو حالة غير مستقرة من تجمع الذرات، يحدث خلاله تكسير الروابط القديمة وتكوين روابط جديدة. ونتيجة لذلك قد يؤدي المعقد المنشط إلى تكوين المواد الناتجة، أو يتكسر لتكوين المواد المتفاعلة مرة أخرى.

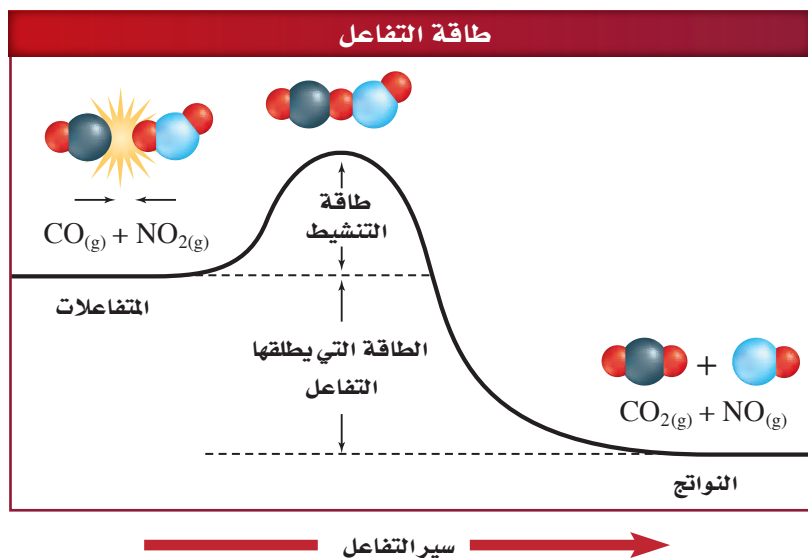
طاقة التنشيط وسرعة التفاعل لا يؤدي التصادم في الشكل 4-4d إلى تفاعل لعدم توافر طاقة كافية لحدوث التفاعل، كما هو الحال مع اللعبة المحشوة بالحلوى؛ إذ لا يمكن فتحها ما لم تضرب بقوة كافية لتتكسر، لذلك لا يحدث تفاعل بين جزيئات CO و NO₂ ما لم تصادم بقوة كافية. ويسمى الحد الأدنى من الطاقة لدى الجزيئات المتفاعلة واللازم لتكوين المعقد المنشط وإحداث التفاعل **طاقة التنشيط** E_a. يلخص الجدول 4-1 الظروف الواجب توافرها لحدوث التفاعل. فعندما تكون قيمة E_a عالية فهذا يعني أن عددًا قليلاً من الاصطدامات تمتلك طاقة كافية لتكوين المعقد المنشط، ومن ثم تكون سرعة التفاعل بطيئة. أما إذا كانت قيمة E_a منخفضة فهذا يعني أن هناك عددًا كبيراً من الاصطدامات التي لها طاقة كافية لحدوث التفاعل، لذا يكون التفاعل أسرع. ففكر في هذه

الجدول 4-1 ملخص نظرية التصادم

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

الشكل 4-5 عندما يحدث تفاعل طارد للحرارة تصطدم الجزيئات التي تمتلك الطاقة الكافية لتغلب على طاقة التنشيط فتكون المعقد المنشط وتطلق طاقة مكونة نواتج ذات محتوى طاقة أقل من المواد المتفاعلة.

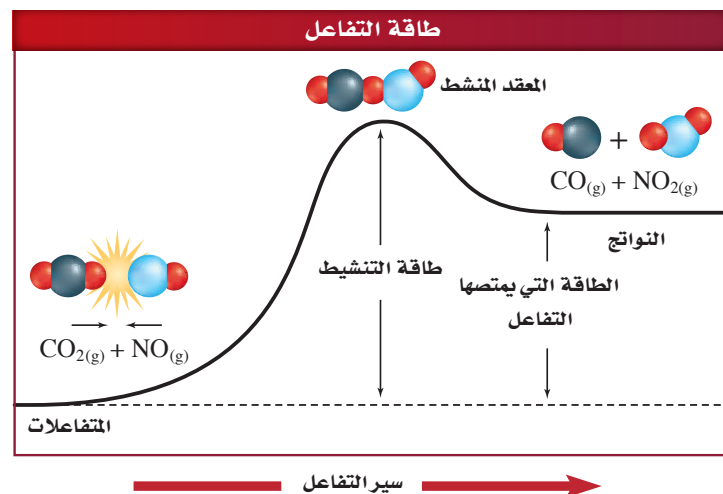
✓ **اختبر الرسم البياني** فسر كيف يمكنك أن تعرف من خلال الرسم ما إذا كان التفاعل طارد للحرارة.



العلاقة من خلال شخص يقوم بدفع عربة ثقيلة إلى قمة تل. فإذا كان التل مرتفعاً فسوف يحتاج الشخص إلى طاقة كبيرة لدفع العربة نحو القمة، كما أنه سيستغرق وقتاً طويلاً للوصول إلى قمة التل. أما إذا كان التل منخفضاً فسوف يحتاج إلى كمية أقل من الطاقة اللازمة لدفع العربة إلى قمة التل، إضافة إلى قدرته على إنجاز المهمة في وقت أسرع.

يبين الشكل 4-5 مخطط الطاقة لتفاعل أول أكسيد الكربون مع ثاني أكسيد النيتروجين. هل يختلف مخطط الطاقة هذا عما تعلمته سابقاً في فصل الطاقة والتغيرات الكيميائية؟ ولماذا؟ يبين هذا المخطط طاقة التنشيط للتفاعل الذي يعتبر حاجزاً أمام حدوث التفاعل. لذلك يجب أن تتغلب المواد المتفاعلة عليه للحصول على مواد ناتجة. وفي هذه الحالة تصادم جزيئات CO و NO₂، مع وجود كمية كافية من الطاقة؛ لتغلب على هذا الحاجز، وتكون طاقة النواتج أقل من طاقة المواد المتفاعلة. وتسمى التفاعلات التي تفقد طاقة التفاعلات الطاردة للحرارة.

تعتبر عملية التحول بين المواد المتفاعلة والناتجة لبعض التفاعلات عمليات انعكاسية. ويبين الشكل 4-6 التفاعل العكسي الماص للطاقة بين CO₂ و NO لإعادة إنتاج CO و NO₂. ويكون مستوى طاقة المتفاعلات في هذا التفاعل أدنى من مستوى طاقة النواتج. لذلك يجب التغلب على طاقة التنشيط لإعادة إنتاج CO و NO₂. وهذا يحتاج إلى طاقة عالية أكبر من طاقة التفاعل الطردى. وإذا حدث هذا التفاعل العكسي وأنتج CO و NO₂ فسيكون مستوى طاقتها أعلى.



الشكل 4-6 تكون طاقة الجزيئات في التفاعل العكسي الماص للحرارة أقل من طاقة النواتج. وحتى يحدث التفاعل يجب أن تمتص المواد المتفاعلة الطاقة لتغلب على طاقة التنشيط وتكون نواتج ذات طاقة عالية.

✓ **اختبار الرسم البياني** قارن بين الشكل 4-5 والشكل 4-6 من حيث طاقة التنشيط ما إذا كانت كبيرة أو صغيرة.

مختبر حل المشكلات

تفسير البيانات

[N ₂ O ₅]	الزمن (min)
0.01756	0
0.00933	20.0
0.00531	40.0
0.00295	60.0
0.00167	80.0
0.00094	100.0

كيف تتغير سرعة التحلل خلال الزمن؟ يتحلل مركب خامس أكسيد نثائي النيتروجين N₂O₅ في الهواء وفقاً للمعادلة الآتية:



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

التحليل

يبين الجدول المقابل النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها عند قياس تركيز N₂O₅ خلال فترة زمنية محددة، عند الضغط الجوي العادي، ودرجة حرارة 45 °C.

التفكير الناقد

- عبر عن متوسط سرعة التفاعل خلال كل فترة زمنية بوحدة mol / l.min لقياس تركيز NO₂ الناتج. استعمل المعادلة الكيميائية لتفسير العلاقة بين السرعات المحسوبة في هذا السؤال، وتلك المحسوبة في السؤال 1.
- فسر البيانات والنتائج التي توصلت إليها، ثم استعملها في وصف كيفية تغير سرعة تحلل N₂O₅ خلال الزمن.
- طبّق نظرية التصادم لتفسير سبب تغير سرعة التفاعل.

- احسب متوسط سرعة التفاعل خلال كل فترة زمنية: (0- 20 min)، (40 - 60 min)، (80- 100 min).
عبر عن سرعة التفاعل في كل فترة بإشارة موجبة، وبوحدة mol / l.min.

تقويم الدرس 4-1

الخلاصة

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

تساؤلات جوهرية

ما هي العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل؟

ما هو دور العوامل المحفزة؟

مراجعة المفردات

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

المفردات الجديدة

المحفزات

المثبطات

العوامل المؤثرة في سرعة التفاعل

Factors Affecting Reaction Rates

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

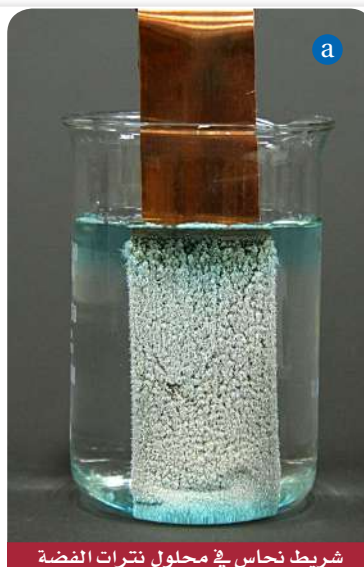
الربط مع الحياة ترى، كم تكون سرعة انتشار النار في غابة إذا كانت أشجارها متباعدًا بعضها عن بعض أو كان الخشب رطبًا؟ وبشكل مماثل، تعتمد سرعة التفاعل الكيميائي على عدة عوامل، منها تركيز المواد المتفاعلة، وخواصها الفيزيائية.

طبيعة المواد المتفاعلة The Nature of Reactants

تتفاعل بعض المواد أسرع من غيرها. فمثلًا يتشابه فلزُّ النحاس والخاصين (الزنك) في خواصها الفيزيائية؛ بسبب قرب موقعيهما في الجدول الدوري، ومع ذلك فهما يتفاعلان بسرعات مختلفة عند وضع كل منهما في كأسٍ يحتوي على محلول نترات الفضة بالتركيز نفسه. فعند وضع شريط من النحاس في محلول نترات الفضة تركيزه 0.05 M كما في الشكل 4-7a يتفاعل النحاس مع نترات الفضة ليكوّن فلز الفضة ومحلول نترات النحاس II. وعند وضع شريط من الخاصين في محلول نترات الفضة تركيزه 0.05 M. كما في الشكل 4-7b. يتفاعل الخاصين مع محلول نترات الفضة ليكوّن فلز الفضة ومحلول نترات الخاصين. يمكنك ملاحظة التشابه في التفاعلين، ولكن عند مقارنة كمية الفضة المتكونة في كلتا الحالتين كما هو موضح في الشكل 4-7 إذ يظهر أن كمية الفضة المتكونة من تفاعل الخاصين مع نترات الفضة أكبر من الكمية الناتجة عن تفاعل النحاس مع الكمية نفسها من نترات الفضة. كما أن تفاعل الخاصين مع نترات الفضة يحدث أسرع؛ لأن الخاصين أنشط كيميائيًا عند تفاعله مع نترات الفضة من النحاس.



شريط خاصين في محلول نترات الفضة



شريط نحاس في محلول نترات الفضة

الشكل 4-7 الخاصين أنشط من النحاس، لذلك يتفاعل مع نترات الفضة أسرع من تفاعل النحاس.

اكتب معادلة كيميائية موزونة تمثل تفاعل الخاصين مع نترات الفضة.

التركيز Concentration

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

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

تأمل التفاعل الموضح في الشكل 4-8، حيث تحترق الشمعتان في الهواء. ولكن كيف يمكن مقارنة الشمعة في الصورة العليا مع الشمعة في الصورة السفلى التي وضعت داخل زجاجة تحتوي 100% أكسجين تقريباً؟ وهذا يشكل خمسة أضعاف تركيز الأكسجين في الهواء الجوي؟ وبالاعتماد على نظرية التصادم، كلما زاد تركيز الأكسجين زاد عدد الاصطدامات بين جزيئات الشمع وجزيئات الأكسجين. ونتيجة لذلك تزداد سرعة التفاعل، وينتج لهب شديد الإضاءة.

مساحة السطح Surface Area

إذا تأملت التفاعل في الشكل 4-9 فستلاحظ أن الدبوس الساخن يتوهج بوجود الأكسجين، كما في الشكل 4-9a، بينما تشتعل كتلة سلك تنظيف الاواني المعدنية بشدة في الشكل 4-9b، حيث تعمل زيادة مساحة سطح التفاعل على زيادة سرعة التفاعل؛ بسبب زيادة عدد الاصطدامات بين الجسيمات المتفاعلة.

درجة الحرارة Temperature

تؤدي الزيادة في درجة الحرارة إلى زيادة سرعة التفاعل الكيميائي. فأنت تعلم مثلاً أن التفاعلات التي تسبب تلف الأطعمة تكون أسرع كثيراً عند درجة حرارة الغرفة منها عند وضع الأطعمة في المبرّد (الثلاجة). يوضح الرسم البياني في الشكل 4-10 أن زيادة درجة الحرارة بمقدار 10 K تؤدي إلى مضاعفة سرعة التفاعل تقريباً. فكيف يمكن لزيادة طفيفة في درجة الحرارة أن يكون لها هذا التأثير الكبير؟

أن زيادة درجة حرارة المادة يزيد من متوسط الطاقة الحركية للجسيمات التي تتكون منها المادة. ولهذا السبب تتصادم الجسيمات على نحو أكثر تواتراً عند درجات الحرارة المرتفعة مما هو عليه الحال عند درجات الحرارة المنخفضة. ومع ذلك لا تفسر هذه الحقيقة وحدها



المختبر الافتراضي

صمّم أربع تجارب في المختبر الافتراضي تستقصي خلالها تأثير العوامل التي درستها في سرعة التفاعل.

الشكل 4-8 تشير شدة إضاءة اللهب

في الزجاجة التي تحتوي تركيزاً أكبر من الأكسجين إلى زيادة سرعة التفاعل. لذا يفسر الازدياد في تركيز الأكسجين إلى تفاعل.



يبلغ تركيز الأكسجين في الهواء حول الشمعة 20% تقريباً.



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

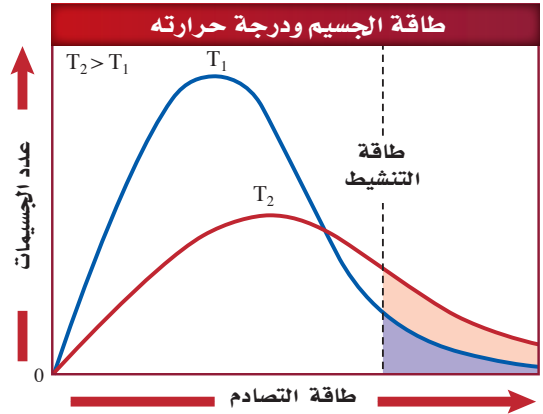
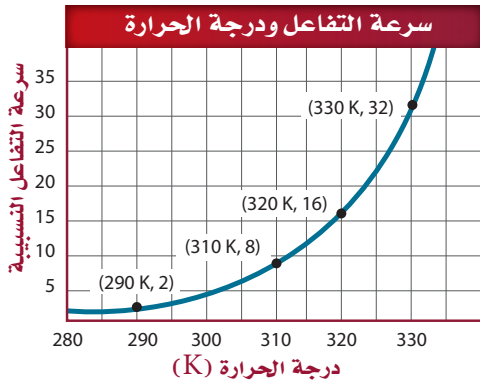
الشكل 9-4 توفر مساحة سطح سلك تنظيف الاواني المعدنية الكبيرة عدد أكبر من الاصطدامات بين الأكسجين والفلز.



الزيادة في سرعة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة. ولفهم أفضل للعلاقة بين تغير سرعة التفاعل مع ارتفاع درجة الحرارة، تفحص الرسم البياني في الشكل 10-4، الذي يقارن بين أعداد الجسيمات التي لها الطاقة الكافية للتفاعل عند درجات الحرارة T_1 و T_2 ، حيث T_2 أكبر من T_1 . ويمثل الخط المتقطع طاقة التنشيط E_a للتفاعل. وتمثل المنطقة المظللة تحت كل منحنى عدد الاصطدامات التي لها طاقة مساوية أو أكبر من طاقة التنشيط. كيف يمكن المقارنة بين المناطق المظللة؟ عدد الاصطدامات العالية الطاقة عند درجة الحرارة العالية T_2 أكبر كثيرًا من عدد الاصطدامات عند درجة الحرارة المنخفضة T_1 . لذلك كلما كانت درجة الحرارة أعلى كان عدد الاصطدامات في التفاعل أكبر.

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

الشكل 10-4 يؤدي الإرتفاع في درجة الحرارة إلى زيادة عدد الإصطدامات وزيادة سرعة التفاعل. كما تؤدي الزيادة في درجة الحرارة إلى زيادة الطاقة الحركية للجسيمات. إضافة إلى ذلك تمتلك الكثير من الاصطدامات طاقة كافية للتغلب على طاقة التنشيط وبالتالي تؤدي إلى التفاعل.



دراسة العلاقة بين سرعة التفاعل

ودرجة الحرارة

ما تأثير درجة الحرارة في التفاعل الكيميائي عموماً؟

خطوات العمل



1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. جزي قرصاً من الأقراص الفوّارة إلى أربع قطع متساوية.

3. استعمال الميزان لقياس كتلة قطعة واحدة منها. ضع 50 ml

من الماء عند درجة حرارة الغرفة (20°C تقريباً) في كأس

زجاجية سعتها 250 ml. استعمال مقياس حرارة غير

زئبقي لقياس درجة حرارة الماء.

4. ضع قطعة القرص الفوّار في الماء، وسجل الوقت لحظة

ملامسة القرص للماء، ولحظة ذوبانه بالكامل، باستعمال

ساعة وقف أو ساعة يد بها عقرب ثوان.

5. كرّر الخطوتين 3 و 4، ولكن في هذه المرة سخّن الماء تدريجياً

على سخّان كهربائي حتى تصل درجة حرارته إلى 50°C،

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

التحليل

1. حدد الكتلة الابتدائية، والكتلة النهائية، والزمن الابتدائي t_1 والزمن النهائي t_2 لكل محاولة.

2. احسب سرعة التفاعل من خلال إيجاد كتلة المواد 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 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.

المحفّزات والمثبّطات Catalysts and Inhibitors

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

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

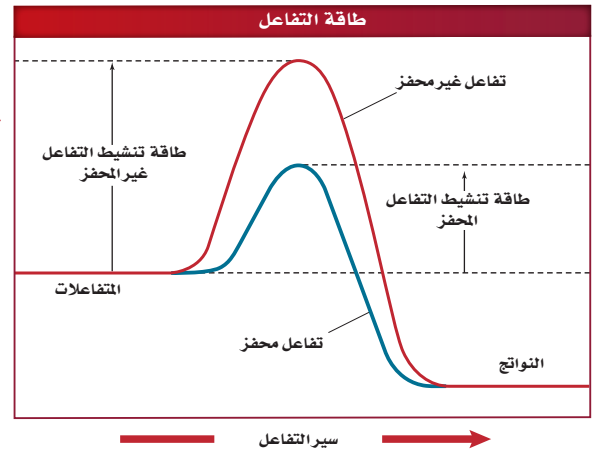
المثبّطات يسمى النوع الآخر من المواد التي تؤثر في سرعة التفاعل **المثبّطات**. وخلافاً للمحفّز الذي يزيد سرعة التفاعل، تعمل المثبّطات على إبطاء سرعة التفاعل أو منع حدوث التفاعل. كما تحوّل بعض المثبّطات دون حدوث التفاعل على الإطلاق.



الشكل 4-12 طاقة تنشيط أعلى يعني أنه يجب أن يكون للجسيمات طاقة أعلى لكي تتفاعل. فالحصان والفارس يحتاجان إلى القليل من الطاقة للقفز فوق حاجز منخفض، بينما يحتاجان إلى مزيد من السرعة والطاقة لاجتياز الحاجز المرتفع.

الشكل 4-11 يبين

الشكل أن طاقة تنشيط التفاعل المحفز أقل من طاقة تنشيط التفاعل غير المحفز، لذا ينتج التفاعل المحفز النواتج بسرعة أكبر من التفاعل غير المحفز.



يبين الرسم البياني في الشكل 4-11 مخطط الطاقة لتفاعل كيميائي طارد للطاقة. ويمثل الخط الأحمر مسار التفاعل دون وجود أي محفز، في حين يمثل الخط الأزرق سير التفاعل مع وجود المحفز. لاحظ أن طاقة التنشيط للتفاعل المحفز أقل كثيراً من طاقة التنشيط في التفاعل غير المحفز. يمكنك اعتبار طاقة التنشيط في التفاعل عقبة يجب تحطيمها، كما هو مبين في الشكل 4-12. ففي هذا السياق يحتاج الحصان والفارس مثلاً طاقة أقل كثيراً لاجتياز الحاجز المنخفض، مقارنة بالطاقة اللازمة للقفز فوق الحاجز المرتفع.

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

تقويم الدرس 4-2

الخلاصة

12. **الفكرة الرئيسية** فسّر سبب تفاعل فلز الماغنيسيوم مع حمض الهيدروكلوريك HCl أسرع من تفاعل الحديد مع الحمض.
 13. **فسّر** كيف تفسر نظرية التصادم تأثير التركيز في سرعة التفاعل.
 14. **فسّر** الفرق بين المحفزات والمثبطات.
 15. **صف** تأثير طحن إحدى المواد الداخلة في التفاعل على شكل مسحوق بدلاً من وضعها قطعة واحدة - في سرعة التفاعل.
 16. **استنتج** إذا كانت زيادة درجة حرارة التفاعل بمقدار 10 K يؤدي إلى تضاعف سرعة التفاعل، فماذا تتوقع أن يكون أثر زيادة درجة الحرارة بمقدار 20 K؟
 17. **ابحث** في كيفية استعمال المحفزات في الصناعة، أو الزراعة، أو في معالجة التربة الملوثة، أو النفايات، أو الماء الملوث. اكتب تقريراً قصيراً يلخص النتائج التي حصلت عليها حول دور المحفزات في أحد هذه التطبيقات.
- تشمّل العوامل الرئيسية التي تؤثر في سرعة التفاعلات الكيميائية: التركيز، ومساحة سطح التفاعل، ودرجة الحرارة، والمحفزات.
 - رفع درجة حرارة التفاعل يزيد عموماً من سرعة التفاعل من خلال زيادة وتيرة التصادم، وعدد الاصطدامات التي تكون المقعد المنشط.
 - تعمل المحفزات على زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية عن طريق خفض طاقات التنشيط.

تساؤلات جوهرية

ما المقصود بقانون سرعة التفاعل؟

كيف يتم حساب رتبة التفاعل الكيميائي بمقارنة السرعة الابتدائية؟

مراجعة المفردات

المتفاعلات: المواد التي يبدأ بها التفاعل الكيميائي.

المفردات الجديدة

قانون سرعة التفاعل

ثابت سرعة التفاعل

رتبة التفاعل

قوانين سرعة التفاعل Reaction Rate Laws

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

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

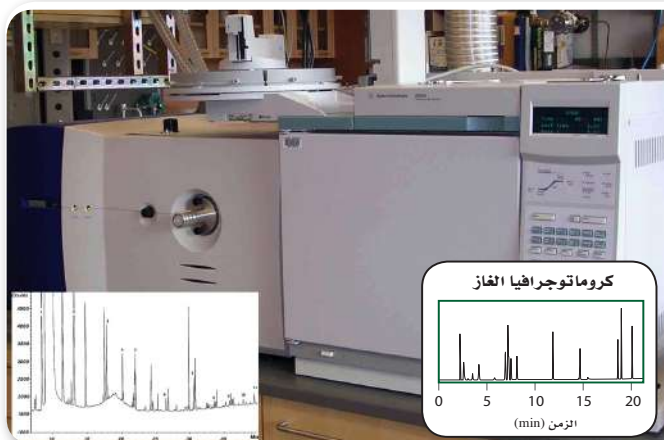
كتابة قوانين سرعة التفاعلات Writing Reaction Rate Laws

تعلمت سابقاً كيفية حساب متوسط سرعة التفاعل الكيميائي. وكلمة (متوسط) مهمة؛ لأن معظم التفاعلات الكيميائية تبطئ 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، يعتبر التفاعل $A \rightarrow B$ تفاعلاً من خطوة واحدة. ويعبر عن قانون سرعة تفاعله على النحو الآتي:

$$R = k[A] \quad R \text{ يمثل سرعة التفاعل، } [A] \text{ تركيز المادة المتفاعلة، بينما هو ثابت سرعة التفاعل}$$

يعبر عن سرعة التفاعل بخطوة واحدة بحاصل ضرب كمية ثابتة في تركيز المادة المتفاعلة.

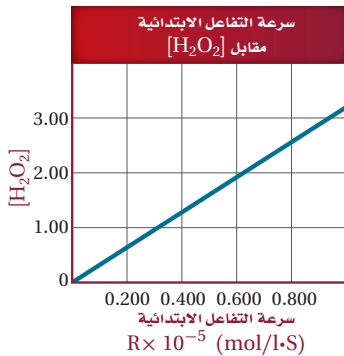
والرمز k قيمة عددية ثابتة تسمى **ثابت سرعة التفاعل**. وترتبط هذه القيمة العددية سرعة التفاعل بتركيز المواد المتفاعلة عند درجة حرارة معينة. وثابت السرعة قيمة محددة لكل تفاعل، وله وحدات قياس مختلفة مثل: $L^2/mol^2 \cdot s$ ، أو $L/mol \cdot s$ ، أو s^{-1} . ويجب تحديد قانون سرعة التفاعل تجريبياً، كما هو موضح في الشكل 4-13.



الشكل 4-13 يتم سحب

عينات من خليط التفاعل على فترات منتظمة لتحديد سرعة التفاعل في أثناء حدوثه، ثم تحقن هذه العينات فوراً في جهاز الكروماتوجرافيا، الذي يقوم بتعرّف مكوناتها، ثم فصلها بعضها عن بعض.

الشكل 14-4 يبين الرسم البياني العلاقة المباشرة بين تركيز H_2O_2 وسرعة التحلل.



سؤال

استخدم الشكل لتحديد السرعة الابتدائية للتفاعل عندما يكون:

$$1.5 \text{ mol/L} = [H_2O_2]$$



المرأة ونوبل للكيمياء

حصلت الأمريكية فرانسيس أرنولد (Frances H. Arnold) على جائزة نوبل في الكيمياء عام 2018، وهي الجائزة التي تشاركتها مع مواطنها جورج ب. سميث والبريطاني جريجوري ب. وينتر. وقد عملت في البحث على تطوير التطور الموجه، وهي تقنية تحاكي التطور الطبيعي ولكن بطريقة متسارعة في المختبر للحصول على بروتينات بالخصائص المرغوبة، حيث ركزت التقنية على العوامل المؤدية إلى تسريع التفاعلات باستحداث انزيمات جديدة تقوم مقام العامل المحفز.



العالمية الأمريكية فرانسيس أرنولد -

نوبل للكيمياء 2018

يبين قانون السرعة أن سرعة التفاعل تتناسب طردياً مع التركيز المولاري للمركب A. كما أن ثابت سرعة التفاعل k لا يتغير مع التركيز، ولكنه يتغير مع تغير درجة الحرارة. وتعني القيمة الكبيرة لـ k أن A يتفاعل بسرعة لتكوين B.

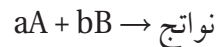
قوانين سرعة التفاعل من الرتبة الأولى يفهم من المعادلة الرياضية سرعة التفاعل $k[A]$ أن التعبير $[A]$ يعني $[A]^1$. ويعرف الرقم العلوي الذي يمثل الأس لمادة المتفاعلة A برتبة التفاعل، والتي يمكن تحديدها من خلال معرفة تأثير التغير في تركيز المادة المتفاعلة على سرعة التفاعل. فعلى سبيل المثال، يُعبّر عن قانون سرعة تفاعل تحلل فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 بالمعادلة الآتية: $R = k [H_2O_2]$

وبما أن سرعة التفاعل تتناسب طردياً مع تركيز H_2O_2 مرفوعة للأس 1 أي: $[H_2O_2]^1$ فإن تحلل H_2O_2 هو تفاعل من الرتبة الأولى، لذلك فإن سرعة التفاعل ستتغير بنفس التغير في تركيز H_2O_2 . فإذا انخفض تركيز H_2O_2 إلى النصف فإن سرعة التفاعل ستخفض أيضاً بمقدار النصف.

تذكر أنه يتم تحديد سرعة التفاعل من البيانات التجريبية. ولأن رتبة التفاعل تعتمد على سرعة التفاعل، فإنه يترتب على ذلك أن رتبة التفاعل تحدد تجريبياً أيضاً. وأخيراً، ولأن ثابت السرعة K يصف سرعة التفاعل، لذا يجب تحديده تجريبياً أيضاً. يبين الشكل 14-4 كيف تتغير سرعة التفاعل الابتدائية لتحلل H_2O_2 مع التغير في تركيز H_2O_2 .

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

قوانين سرعة التفاعل لرتب أخرى الرتبة الكلية للتفاعل الكيميائي هي ناتج جمع الرتب بالنسبة إلى كل مادة متفاعلة في التفاعل الكيميائي. ومن المعلوم أن الكثير من التفاعلات - وبخاصة تلك التي تحتوي على أكثر من مادة متفاعلة - ليست من الرتبة الأولى. لتفحص الشكل العام لتفاعل كيميائي مكون من مادتين متفاعلتين، كما هو مبين في المعادلة الآتية حيث ترمز a و b في هذه المعادلة الكيميائية للمعاملات.



يكون الشكل العام لسرعة مثل هذا التفاعل كما يأتي:

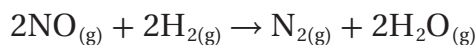
القانون العام لسرعة التفاعل

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

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

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

إذا حدث التفاعل بين A و B في خطوة واحدة، وتكون معقد نشط واحد فقط فستكون $a = m$ و $b = n$. وهذا غير محتمل؛ لأن تفاعلات الخطوة الواحدة ليست شائعة. فعلى سبيل المثال، تأمل التفاعل بين أول أكسيد النيتروجين NO والهيدروجين H_2 ، الموضح في المعادلة الآتية:



يحدث هذا التفاعل في أكثر من خطوة، وبالتالي فإن قانون سرعة التفاعل له يكون:

$$R = k [H_2] [NO]^2$$

ويحدد القانون السرعة من البيانات التجريبية التي تشير إلى أن السرعة تعتمد على تركيز المواد المتفاعلة على النحو الآتي: إذا تضاعف [NO] مرتين فإن السرعة ستتضاعف أربع مرات؛ وإذا تضاعف [H₂] مرة واحدة فإن السرعة ستتضاعف مرة واحدة أيضاً.

يوصف التفاعل بأنه من الرتبة الثانية في NO، ومن الرتبة الأولى في H₂، وبذلك تكون رتبة التفاعل الكلية من الدرجة الثالثة. فالرتبة الكلية للتفاعل هي مجموع الرتب لكل مادة متفاعلة (مجموع الأسس)، الذي هو (2 + 1)، أو 3.

✓ **ماذا قرأت؟ اشرح كيف يمكنك تحديد الرتبة الكلية للتفاعل من المعادلة الرياضية للتفاعل.**

تحديد رتبة التفاعل Determining Reaction Order

تحدد رتبة التفاعل من خلال مقارنة السرعات الابتدائية للتفاعل بتغير تركيز المواد المتفاعلة. إن السرعة الابتدائية تقيس سرعة التفاعل في اللحظة التي يتم فيها إضافة المواد المتفاعلة ذات التراكيز المعروفة، وخلط بعضها ببعض. انظر إلى التفاعل العام التالي (نواتج → aA + bB)، وافترض أنه أجري ثلاث مرات بتراكيز مختلفة لكل من A و B، وأن سرعة التفاعل الابتدائية كما هو مبين في الجدول 2-4. 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 2-4، لتحديد m رتبة (أس) المادة [A] مع بقاء تركيز المادة B ثابتاً، لاحظ أن تركيز المادة A في المحاولة 2 هو ضعف التركيز في المحاولة 1. ولاحظ أيضاً أن سرعة التفاعل في المحاولة 2 قد تضاعفت مرتين، مما يعني أن تفاعل المادة A أحادي الرتبة. ولأن 2^m = 2، فلا بد إذن أن تكون قيمة m تساوي 1. وسنستعمل الطريقة نفسها لتحديد قيمة الأس n في المادة [B]. فعند مقارنة تركيز المادة B في المحاولتين الثانية والثالثة سنجد أن تركيزها قد تضاعف في المحاولة الثالثة، مما يعني زيادة سرعة التفاعل أربع مرات عن المحاولة الثانية. ولأن 4 = 2ⁿ، 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 للسرعة.

$$R = k [A]^1 [B]^2$$

وبالتالي تكون الرتبة الكلية للتفاعل هي تفاعل من الرتبة الثالث (مجموع الأسس 2 + 1 = 3)

النانو تكنولوجيا في خدمة البيئة:
أكسيد التيتانيوم منقي الهواء...
ابتكر الخبراء مادة اسمتية جديدة عند إضافة أكسيد التيتانيوم (TiO₂) المعالج بالبورون إلى الاسمنت وذلك لتغيير الخصائص الجزيئية لها. يُستخدم هذا الاسمنت في حماية الجدران المصبوغة المعرضة للتلوث البيئي، فتظهر بلون نظيف لامع بسبب وجود هذا الأكسيد.

كيف ينقي أكسيد التيتانيوم الهواء المحيط به؟ عند التعرض لأشعة الشمس من نوع UV، يعمل ثاني أكسيد التيتانيوم كعامل محفز للتفاعلات التي تحول المواد الخطرة إلى مواد قليلة الخطورة - مثل تحويل أكاسيد النيتروجين إلى نترات تذوب في الماء بمجرد هطول الأمطار. كما يُفكك الأوكسجين المحيط بالجدران المواد العضوية المتطايرة (VOCs) إلى ماء وثاني أكسيد الكربون.



مباني في حاجة إلى صيانة دورية إذا لم يستخدم ثاني أكسيد التيتانيوم.

بيانات السرعات الابتدائية للتفاعل نواتج → aA + bB			الجدول 2-4
التركيز الابتدائي [A]	التركيز الابتدائي [B]	السرعة الابتدائية mol/l · s	المحاولة
0.100	0.100	2.00 × 10 ⁻³	1
0.200	0.100	4.00 × 10 ⁻³	2
0.200	0.200	16.00 × 10 ⁻³	3

18. اكتب معادلة قانون سرعة التفاعل $aA \rightarrow Bb$ إذا كانت رتبة التفاعل للمادة A هي من الرتبة الثالثة.
19. إذا علمت أن رتبة التفاعل $2NO_{(g)} + O_{2(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$ من الدرجة الأولى بالنسبة للأكسجين، والرتبة الكلية للتفاعل من الرتبة الثالثة. فما القانون العام لسرعة التفاعل؟
20. أعطيت البيانات التجريبية من الجدول الآتي. حدد قانون سرعة التفاعل الآتي: نواتج $aA + bB \rightarrow$ (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}

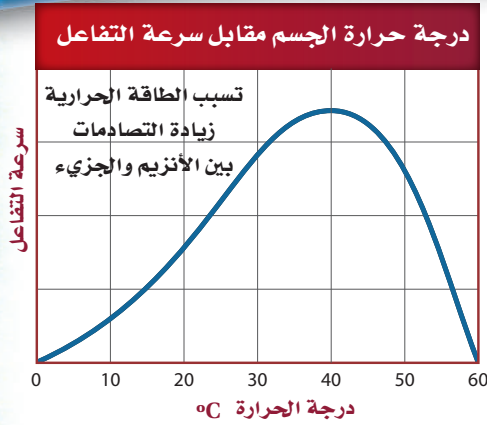
21. تحدد إذا علمت أن قانون سرعة التفاعل: $CH_3CHO_{(g)} \rightarrow CH_4_{(g)} + CO_{(g)}$ هو: $R = k[CH_3CHO]^2$. استعمل هذه المعلومات لتعبئة البيانات المفقودة في الجدول الآتي:

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}	

تقويم الدرس 4-3

الخلاصة

22. الفكرة الرئيسية: اشرح ماذا يمكن أن نعرف عن التفاعل من خلال قانون سرعة التفاعل الكيميائي؟
23. طبق اكتب معادلات قانون سرعة التفاعل التي تظهر الفرق بين التفاعل من الرتبة الأولى والتفاعل من الرتبة الثانية بالنسبة لمادة متفاعلة.
24. اشرح وظيفة ثابت سرعة التفاعل في معادلة قانون سرعة التفاعل.
25. اشرح متى يمكن أن يصبح ثابت سرعة التفاعل k ليس ثابتاً وعلام تدل قيمة k في قانون سرعة التفاعل؟
26. اقترح تفسيراً لأهمية أن نعرف أن قيمة قانون سرعة التفاعل هو متوسط سرعة التفاعل.
27. اشرح كيفية ارتباط الأسس في معادلة قانون سرعة تفاعل كيميائي بالمعاملات في المعادلة الكيميائية التي تمثله.
28. حدد رتبة التفاعل الكلية بين المادتين A و B حسب معادلة قانون سرعة التفاعل الآتية: $R = k[A]^2[B]^2$.
29. صمم تجربة اشرح كيف يمكن تصميم تجربة لتحديد القانون العام لسرعة التفاعل باستعمال طريقة السرعة الابتدائية للتفاعل الآتي: نواتج $aA + bB \rightarrow$
- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعة التفاعل الكيميائي عند درجة حرارة وتركيز محددين للمواد المتفاعلة قانون سرعة التفاعل.



الشكل 1 تقترب درجة حرارة الجسم من 37°C . تؤدي الزيادة الكبيرة في الطاقة الحرارية إلى كسر الصيغ البنائية للبروتينات مما يوقف قدرتها على العمل كما ينبغي.

انخفاض درجة حرارة الجسم Hypothermia

عندما تنخفض درجة حرارة الجسم تبدأ غدة تحت المهاد القيام بالعمليات التي من شأنها زيادة تحرير الطاقة الحرارية. فالقشعريرة أو الارتجاف عملية تنتج عن تقلصات سريعة للعضلات نتيجة التفاعلات الكيميائية التي تطلق الطاقة الحرارية. كما يبدأ الجسم أيضاً بإجراءات للحفاظ على الطاقة الحرارية للجسم، ومن ذلك الحد من تدفق الدم إلى الجلد.

ارتفاع درجة حرارة الجسم Hyperthermia

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

سرعة التفاعل ودرجة حرارة الجسم

تخيل أنك خرجت من المنزل في يوم بارد مسرعاً؛ لأنك متأخر عن المدرسة دون أن تلبس معطفك، وبدأت تركض، وبعد وقت قصير بدأت ترتجف. إن الارتجاف استجابة تلقائية من قبل الجسم، وهي عملية مهمة للحفاظ على درجة حرارته.

درجة حرارة الجسم الطبيعية Normal body temperature

درجة حرارة الجسم الطبيعية 37°C تقريباً، ولكنها قد تختلف باختلاف العمر، أو الجنس، أو الوقت، أو مستوى النشاط الذي يقوم به الشخص؛ فترتفع درجة حرارة جسمك عندما تقوم بأنشطة شاقة، أو عندما تكون درجة حرارة الهواء المحيط بك مرتفعة. ويمكن أن تنخفض درجة حرارة جسمك عند أخذ حمام بارد، أو عدم لبس معطف في طقس بارد.

التفاعلات الكيميائية تسخن الجسم

Chemical reactions heat the body

يتم هضم الطعام داخل كل خلية من خلايا الجسم، لإنتاج الطاقة التي تُستعمل أو تُخزّن على شكل جزيئات كبيرة تدعى أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP). وعند الحاجة إلى الطاقة يتحول ATP إلى أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) ومجموعة الفوسفات (P_i) ومن ثم تتحرر الطاقة. $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i + \text{طاقة}$

تتطلب مثل هذه التفاعلات إنزيمات خاصة لكي تنظم سرعتها. والإنزيمات بروتينات محفزة تكون أكثر كفاءة ضمن درجة حرارة جسم الإنسان الطبيعية. لا يمكن أن تحدث مثل هذه التفاعلات بسرعة تلبى احتياجات الجسم دون مساعدة الإنزيمات ودرجة حرارة قريبة من 37°C . أما خارج نطاق هذه الحرارة، فتصبح سرعة التفاعل أبطأ، كما هو مبين في الشكل 1.

تنظيم درجة حرارة الجسم Regulating body temperature

يقوم المهاد - وهو جزء من الدماغ - بتنظيم درجة حرارة الجسم عن طريق نظام التغذية الراجعة المعقد. حيث يحافظ النظام على التوازن بين الطاقة الحرارية الصادرة عن التفاعلات الكيميائية داخل الجسم، والطاقة الحرارية المتبادلة بين الجسم والبيئة المحيطة به.

الكتابة في الكيمياء بحث صمم كتيباً للمرضى حول العلاج الطبي لانخفاض درجة حرارة الجسم أو ارتفاعها. ثم صف المدى الطويل لتأثير هذه الأمراض، وكيف يمكن منعها؟ لمزيد من المعلومات ارجع إلى الموقع الإلكتروني www.moe.gov.bh لتعرف أكثر عن سرعة التفاعلات.

مختبر الكيمياء

تأثير التركيز في سرعة التفاعل

الخلفية: تصف نظرية التصادم كيف يؤثر التغيير في تركيز إحدى المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل الكيميائي؟

سؤال: كيف يؤثر تركيز المواد المتفاعلة في سرعة التفاعل؟

المواد والأدوات اللازمة

ماصة مدرجة سعة 10 ml مائة ماصة

ماء مقطر حامل أنابيب اختبار

شريط ماغنيسيوم ورق صنفرة

مقص مسطرة بلاستيكية

ملاقط ساعة وقف

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 بواسطة الفم. تجنب أن يلامس حمض الهيدروكلوريك الجلد أو العيون؛ فهو مادة كاوية.

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. استعمل الماصة المدرجة البلاستيكية لسحب 10 ml من حمض الهيدروكلوريك HCl بتركيز 6 M، ثم وضعها في أنبوب الاختبار رقم 1.

3. اسحب 5 ml من حمض HCl تركيزه 6 M، باستعمال الماصة من أنبوب الاختبار رقم 1، ثم وضعها في أنبوب الاختبار رقم 2، وأضف إليها 5ml من الماء المقطر، ثم حرّك المزيج بقضيب التحريك، ليصبح تركيز محلول 3.0 M HCl.

4. اسحب 5 ml من محلول حمض HCl تركيزه 3.0 M من أنبوب الاختبار رقم 2، وضعها في أنبوب الاختبار رقم 3. أضف إليها 5 مل من الماء المقطر، وحرّكها بقضيب التحريك، ليصبح تركيز محلول HCl 1.5 M.

5. اسحب 5 ml من محلول حمض HCl بتركيز 1.5 M من أنبوب الاختبار رقم 3، وضعها في أنبوب الاختبار رقم 4.



وأضف إليها 5 ml من الماء المقطر، وحرّك المزيج، ليصبح تركيز محلول HCl 0.75 M.

6. اسحب 5 ml من حمض HCl بتركيز 0.75 M من أنبوب

الاختبار رقم 4 ثم عادها بالماء وتخلص منها في المغسلة.

7. ضع شريطا من الماغنيسيوم بطول 1 cm باستعمال الملقط في

الأنبوب رقم 1. سجل في جدول البيانات الزمن المستغرق

بالثانية، حتى تتوقف الفقاعات عن الظهور.

8. كرر الخطوة رقم 7 مع أنابيب الاختبار الثلاثة المتبقية. وسجل

الزمن اللازم لتوقف الفقاعات عن الظهور.

9. **التنظيف والتخلص من النفايات** أفرغ المحاليل الحمضية

في وعاء التخلص من الأحماض، واغسل أنابيب الاختبار

وأدوات المختبر جيّداً باستعمال الماء، وتخلص من المواد

الأخرى حسب توجيهات المعلم. ثم أعد الأدوات المختبرية

جميعها إلى مكانها المناسب.

حلل واستنتج

1. **صمم الرسم البياني** ارسم منحني بياني يمثل تركيز الحمض (على محور السينات)، وزمن التفاعل (على محور الصادات).

2. **استنتج** العلاقة بين تركيز الحمض وسرعة التفاعل

الكيميائي، بالاعتماد على الرسم البياني؟

3. **ضع فرضية** بالاعتماد على: نظرية التصادم، وسرعة التفاعل، وتركيز المواد المتفاعلة؛ لتفسير تلك النتائج التي حصلت عليها.

4. **تحليل الأخطاء** قارن نتائج التجربة التي حصلت عليها مع النتائج التي حصل عليها الطلبة الآخرون في المختبر، فسّر الاختلافات.

الاستقصاء

صمم تجربة اعتماداً على مشاهداتك والنتائج التي

حصلت عليها، هل يؤثر التغيير في درجة الحرارة في سرعة

التفاعل؟ صمم تجربة لاختبار فرضيتك.

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

1-4 نموذج لسرعة التفاعلات الكيميائية

المفاهيم الرئيسية

- يعبر عن سرعة التفاعل الكيميائي بسرعة استهلاك المواد المتفاعلة أو سرعة تكوّن المواد الناتجة.
- متوسط سرعة التفاعل = $\frac{\text{التغير في كمية المادة المتفاعلة والناتجة}}{\text{التغير في سرعة الزمن } \Delta t}$
- تحسب سرعات التفاعل عموماً ويعبر عنها بوحدة mol / l.s.
- يجب أن تصطدم الجسيمات حتى يحدث التفاعل .

الفكرة الرئيسية

نظرية التصادم هي المفتاح لفهم الاختلاف في سرعة التفاعلات.

المفردات

- سرعة التفاعل
- نظرية التصادم
- المعقّد المنشط
- طاقة التنشيط

2-4 العوامل المؤثرة في سرعة التفاعلات الكيميائية

المفاهيم الرئيسية

- تتضمن العوامل الرئيسية التي تؤثر في سرعة التفاعل طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ومساحة السطح، والحرارة، والمحفزات.
- تؤدي زيادة درجة الحرارة عموماً إلى زيادة سرعة التفاعل؛ وذلك بزيادة عدد الاصطدامات التي تشكل المقعد المنشط.
- تزيد المحفزات من سرعة التفاعل الكيميائي بتقليل طاقة التنشيط.

الفكرة الرئيسية

تؤثر عوامل كثيرة في سرعة التفاعلات الكيميائية، ومنها: طبيعة المواد المتفاعلة، والتركيز، ودرجة الحرارة، ومساحة السطح، والمحفزات.

المفردات

- المحفزات
- المثبطات

3-4 قوانين سرعة التفاعل

المفاهيم الرئيسية

- تسمى العلاقة الرياضية بين سرعة التفاعل الكيميائي عند درجة حرارة معينة وتراكيز المواد المتفاعلة قانون السرعة.

$$R = k [A]$$

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

الفكرة الرئيسية

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

المفردات

- قانون سرعة التفاعل
- ثابت سرعة التفاعل
- رتبة التفاعل

4-1

إتقان المفاهيم

30. ماذا يحدث لتراكيز المواد المتفاعلة والناجحة 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 الناجحة B؟

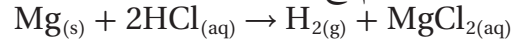
33. ما دور المعقد المنشط في التفاعل الكيميائي؟

34. افترض أن جزيئين يتفاعلان عند تصادمهما، تحت أي ظرف لا يمكن أن يحدث تفاعل بينهما؟

إتقان المسائل

35. يتفاعل اليود والكلور في الحالة الغازية $I_2 + Cl_2 \rightarrow 2ICl$ ، فإذا كان تركيز $[I_2]$ يساوي 0.400 M عند بداية التفاعل وأصبح 0.300 M بعد مضي 4.00 min. احسب متوسط سرعة التفاعل بوحدة mol/l.min.

36. يتفاعل الماغنيسيوم مع حمض الهيدروكلوريك حسب المعادلة:



إذا كانت كتلة Mg تساوي 60g لحظة بدء التفاعل، وبقي منها 4.5 g، بعد مضي 3.00 min ما متوسط سرعة التفاعل بعدد مولات Mg المستهلكة/دقيقة؟

37. وجد أن سرعة تفاعل كيميائي $2.25 \times 10^{-2} \text{ mol/l.s}$ عند درجة حرارة 322 K، فما مقدار هذه السرعة بوحدة mol/l.min؟

4-2

إتقان المفاهيم

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

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

40. طبق نظرية التصادم لتفسير سبب زيادة سرعة التفاعل بزيادة تركيز المواد المتفاعلة.

41. فسر لماذا تتفاعل المادة الصلبة - التي على شكل مسحوق - مع الغاز أسرع من تفاعل المادة الصلبة نفسها إذا كانت قطعة واحدة؟

42. **حفظ الأغذية** طبق نظرية التصادم لتفسير لماذا يفسد الطعام ببطء عند وضعه في الثلاجة بالمقارنة مع بقاءه خارجها عند درجة حرارة الغرفة؟

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

44. 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 المسائل

45. لنفترض أن كمية كبيرة من محلول فوق أكسيد الهيدروجين الذي تركيزه 3% قد تحلل لإنتاج 12 ml من غاز الأكسجين خلال 100 s عند درجة حرارة 298 K. قُدّر كمية غاز الأكسجين التي تنتج عن مقدار مماثل من المحلول في 100 s وعند 308 K.

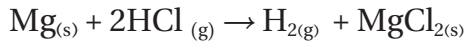
46. استعمل المعلومات في السؤال 45 لتقدير كمية غاز الأكسجين التي تنتج عن كمية مماثلة من المحلول خلال 100 s وعند درجة حرارة 318 K، ثم قُدّر الزمن اللازم لإنتاج 12 ml من غاز الأكسجين عند درجة حرارة 288 K.

مراجعة عامة

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

54. 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.

55. وضعت عينة من الماغنيسيوم معلومة الكتلة في وعاء يحتوي على حمض الهيدروكلوريك، فحدث تفاعل كيميائي وفقاً للمعادلة الآتية:



استعمل بيانات الجدول 4-4 لحساب حجم غاز الهيدروجين الناتج في الظروف القياسية STP خلال 3.00 min؟ ملاحظة: يشغل 1 mol من الغاز المثالي حيزاً مقداره 22.4 L في الظروف القياسية.

جدول 4-4 تفاعل الماغنيسيوم وحمض الهيدروكلوريك		
حجم الهيدروجين L عند STP	كتلة الماغنيسيوم g	الزمن min
0.00	6.00	0.00
?	4.50	3.00

56. 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؟

57. يعبر عن التركيز في التفاعل الكيميائي بوحدة mol/l وعن الزمن بوحدة s. فإذا كان التفاعل الكلي من الرتبة الثالثة، فما وحدة ثابت سرعة التفاعل؟

4-3

إتقان المفاهيم

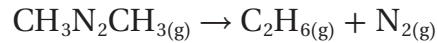
47. عند اشتقاق قانون سرعة التفاعل، يجب الاعتماد على الأدلة التجريبية أكثر من الاعتماد على المعادلات الكيميائية الموزونة للتفاعل؟

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

49. إذا كانت معادلة التفاعل العام هي: $A + B \rightarrow AB$ وقد وُجدَ بالاعتماد على البيانات التجريبية أن رتبة التفاعل من الرتبة الثانية بالنسبة للمادة المتفاعلة A، فكيف تتغير سرعة التفاعل إذا انخفض تركيز المادة A إلى النصف، وبقيت جميع الظروف الأخرى ثابتة؟

إتقان المسائل

50. تم الحصول على البيانات التجريبية المدرجة في الجدول 4-3 من تحلل مركب الآزوميثان $\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3$ عند درجة حرارة محددة حسب المعادلة:



استعمل البيانات الواردة في الجدول 4-3 لتحديد قانون سرعة التفاعل.

جدول 4-3 تحلل مادة الأيزوميثان		
رقم التجربة	$[\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3]$ الابتدائي	السرعة الابتدائية للتفاعل
1	0.012 M	$2.5 \times 10^{-6} \text{ mol/l}\cdot\text{s}$
2	0.024 M	$5.0 \times 10^{-6} \text{ mol/l}\cdot\text{s}$

51. استعمل بيانات الجدول 4-3 لحساب قيمة ثابت سرعة التفاعل K.

52. استعمل بيانات الجدول 4-3 لتوقع سرعة التفاعل، إذا كان التركيز الابتدائي لـ $\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3$ هو 0.048 M، ودرجة الحرارة ثابتة.

63. صمّم جدولاً لكتابة تراكيز المواد المتفاعلة في المعادلة التالية، مبتدئاً بـ 0.100 M لكل المتفاعلات، ثم حدّد قانون سرعة التفاعل باستعمل طريقة السرعات الابتدائية:

$$aA + bB + cD \rightarrow$$

مسألة تحدّ

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

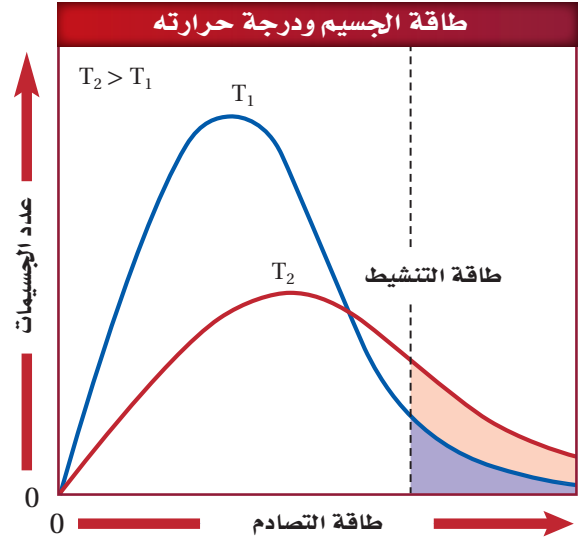
65. ما كتلة كلوريد الحديد III اللازمة لتحضير 1.00 L من محلول تركيزه 0.225 M ؟

66. ما المعلومات الضرورية الواجب معرفتها لحساب الارتفاع في درجة غليان محلول الهكسان في البنزين؟

67. إذا كانت قيمة ΔH لتفاعل ما سالبة، فمقارن بين طاقة المواد الناتجة وطاقة المواد المتفاعلة. وهل التفاعل ماص للطاقة أم طارد لها؟

التفكير الناقد

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



الشكل 4-15

59. ميّز بين المناطق المظللة في الشكل 4-15 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.

60. طبق طريقة السرعة الابتدائية لتحديد رتبة التفاعل الكيميائي بالنسبة للمادة المتفاعلة X. اكتب مجموعة من البيانات التجريبية الافتراضية التي تقود إلى الاستنتاج أن التفاعل من الرتبة الثانية بالنسبة للمادة X.

61. بناءً على مخطط يبين جميع الاحتمالات للتصادمات بين جزيئين من المادة المتفاعلة A، وجزيئين من المادة المتفاعلة B. زد عدد جزيئات A من 2 إلى 4، ثم ارسم جميع احتمالات تصادمات ما مقدار الزيادة في متوسط التصادم؟ وعلام يدل ذلك فيما يتعلق بسرعة التفاعل؟

62. طبق نظرية التصادم لتفسير سببين لماذا تؤدي الزيادة في درجة حرارة التفاعل بمقدار 10 K غالباً إلى مضاعفة سرعة التفاعل.

70. ما متوسط سرعة التفاعل في أول 22.3 s معبراً عنها
بوحدة (l.s) / mol ؟

71. ما متوسط سرعة تفاعل الفينولفتالين عندما ينخفض
تركيزه من 0.0050 M إلى 0.00015 M ؟

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

68. **الأدوية** تحيّل انتشار مرض الأنفلونزا في بلد ما. ولحسن الحظ قام العلماء مؤخراً باكتشاف محفز جديد يزيد من سرعة إنتاج دواء فعال ضد هذا المرض. اكتب مقالا صحفياً يصف كيفية عمل هذا المحفز على أن يشمل المقال مخطط الطاقة في التفاعلات التي تحدث، وشرحاً مفصلاً لأهمية هذا الاكتشاف.

69. **الاهتمام بالحديقة** اكتب إعلاناً يوضح أن أسمدة الشركة (A) أفضل من أسمدة الشركة (B)؛ لأن حبيبات أسمدتها صغيرة الحجم، وضمن الإعلان مخططاً قابلاً للتطبيق.

أسئلة المستندات

الكواشف الكيميائية يستعمل كاشف كيميائي (الفينولفتالين) للكشف عن القواعد. تبين بيانات الجدول 4-5 انخفاض تركيز الفينولفتالين مع مرور الزمن عند إضافة محلول الفينولفتالين ذا التركيز 0.0050 M إلى محلول مركز من مادة قاعدية تركيزها 0.6 M .

الجدول 4-5 التفاعل بين الفينولفتالين وكمية فائضة من مادة قاعدية.

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

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

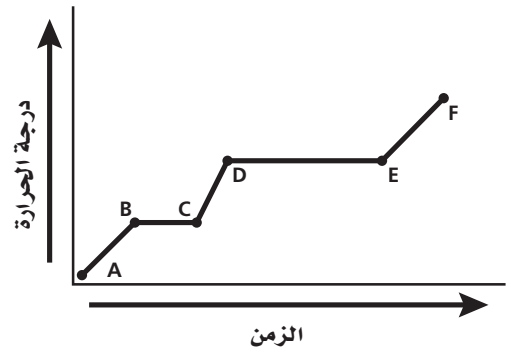
اختبار تراكمي مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

1. جميع الإجابات حول سرعة التفاعل الكيميائي صحيحة ما عدا:

- a. السرعة التي يحدث بها التفاعل.
- b. التغير في تراكيز المواد المتفاعلة خلال وحدة الزمن.
- c. التغير في تراكيز المواد الناتجة خلال وحدة الزمن.
- d. كمية المواد الناتجة المتكونة في كل فترة زمنية.

استعمل الرسم البياني للإجابة عن السؤالين: 2 و 3.



2. خلال أي مرحلة تبدأ المادة في الانصهار؟

- a. AB
- b. BC
- c. CD
- d. DE

3. أي الإجابات صحيحة بالنسبة للمادة عند تسخينها من النقطة C إلى النقطة D.

- a. تزداد طاقة الوضع، وتقل طاقة الحركة.
- b. تزداد طاقة الوضع وتزداد طاقة الحركة.
- c. تزداد طاقة الحركة، وتبقى طاقة الوضع ثابتة.
- d. تقل طاقة الوضع، وتبقى طاقة الحركة ثابتة.

4. ما حجم الماء الذي يجب إضافته إلى 6.0 ml من محلول قياسي تركيزه 0.050 M لتخفيفه إلى محلول تركيزه 0.020 M؟

- a. 15 ml
- b. 9.0 ml
- c. 6.0 ml
- d. 2.4 ml

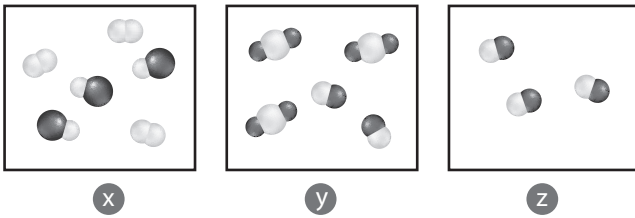
5. أي الوحدات لا تستعمل للتعبير عن سرعة التفاعل؟

- a. M/min
- b. L/s
- c. mol/ml·h
- d. mol/l·min

6. أي أنواع القوى الآتية تعتبر الأقوى؟

- a. الرابطة الأيونية.
- b. قوى ثنائية القطب.
- c. قوى التشتت.
- d. الرابطة الهيدروجينية.

استعمل الأشكال أدناه للإجابة عن السؤالين 7 و 8



7. أي العينات تحتوي على جزيئات غاز الأكسجين؟

- a. x
- b. y
- c. z
- d. كل من x و y

8. أي العينات تحتوي على جزيئات فلوريد الماغنسيوم؟

- a. x
- b. y
- c. z
- d. كل من x و y

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل البيانات الآتية للإجابة عن السؤال 9.

يذوب الحمض H_3A في الماء بثلاث خطوات	
$R = k_1 [H_3A]$ $k_1 = 3.2 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$	$H_3A(aq) \rightarrow H_2A^-(aq) + H^+(aq)$
$R = k_2 [H_2A^-]$ $k_2 = 1.5 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$	$H_2A^-(aq) \rightarrow HA^{2-}(aq) + H^+(aq)$
$R = k_3 [HA^{2-}]$ $k_3 = 0.8 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$	$HA^{2-}(aq) \rightarrow A^{3-}(aq) + H^+(aq)$
التفاعل الكلي: $H_3A(aq) \rightarrow A^{3-}(aq) + 3H^+(aq)$	

9. إذا كان تراكيز المواد المتفاعلة:

$[H_3A] = 0.100M$, $[H_2A^-] = 0.500M$ و

$[HA^{2-}] = 0.200M$ ، فأأي الخطوات هي المحددة

للتفاعل؟ اشرح كيف توصلت إلى ذلك.

الاتزان الكيميائي

Chemical Equilibrium

5

العلم

الفكرة العامة تصل الكثير من التفاعلات والعمليات إلى حالة من الاتزان الكيميائي، حيث تتكون كل من المواد المتفاعلة والناجمة بسرعات متساوية.

1-5 حالة الاتزان الديناميكي

الفكرة الرئيسية يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان، الذي يربط تراكيز المواد المتفاعلة والناجمة.

2-5 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

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

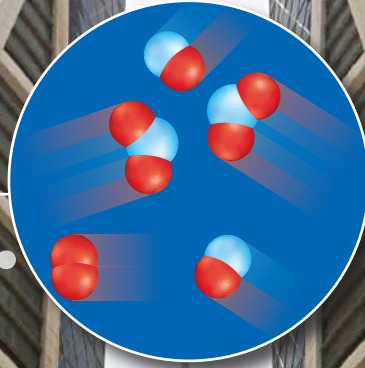
3-5 استعمال ثوابت الاتزان

الفكرة الرئيسية يمكن استعمال تعابير ثوابت الاتزان في حساب تراكيز المواد وذوبانيتها.

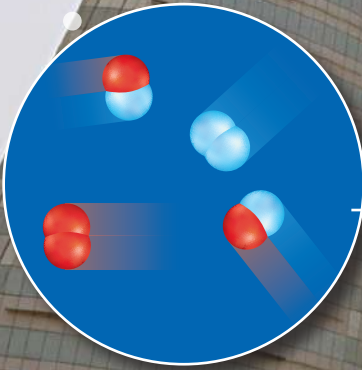
حقائق كيميائية

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

من مكونات الضباب: NO_2
 $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$



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



نشاطات تمهيدية

نشاط استهلالي

ما التساوي في الاتزان؟

الاتزان هو نقطة توازن تلغي عندها التغييرات المتعارضة بعضها بعضاً.



خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. قم بقياس 20 ml من الماء في مخبر مدرج وأفرغها في كأس زجاجي مدرج سعتها 100 ml. ثم املاً المخبر المدرج بالماء الى 20 ml وأضف نقطتين من ملون الطعام إلى الماء في كل من الكأس والمخبر المدرج.

3. أحضر أنبوبين زجاجيين مفتوحين الطرفين لهما القطر نفسه.

4. بمساعدة زميلك بالعمل، اغمر أحد الأنبوب في الماء الملون في الكأس والآخر في الماء الملون في المخبر المدرج، وعند ارتفاع الماء الملون في الأنبوب يغلق كل منكما الطرف العلوي للأنبوب بسبابته وينقل محتوياته إلى وعاء الآخر.

5. كرر عملية النقل 25 مرة. سجل ملاحظاتك.

تحليل النتائج

1. صف ملاحظاتك خلال عملية النقل.

2. فسر هل تختلف النتيجة النهائية إذا تابعت عملية النقل فترة أطول؟

استقصاء هل يمكن توضيح الاتزان إذا استعملت أنابيب زجاجية بأقطار مختلفة؟ فسر ذلك.

بعد الانتهاء من دراسة هذا الفصل يتوقع من الطالب أن يكون قادراً على:

- توضيح المقصود بالاتزان الكيميائي والاتزان الديناميكي وعلاقته بسرعة التفاعل.
- توضيف المفاهيم والمعادلات والعلاقات في تطبيقات علمية تتعلق بالاتزان الديناميكي.
- تحديد خصائص الاتزان الديناميكي.
- تطبيق مبدأ "لوشاتيليه" لتوقع أثر التغير في التركيز أو درجة الحرارة أو الضغط على حالة الاتزان.
- حساب التراكيز عند الاتزان للمواد المتفاعلة أو الناتجة مستخدماً ثابت الاتزان.
- حساب الذوبانية للمواد الأيونية قليلة الذوبان في الماء مستخدماً ثابت حاصل الذوبانية.
- استقصاء وحل المشكلات المتعلقة بالاتزان الديناميكي.
- تفسير البيانات المستقاة من الاستقصاءات باستخدام الحسابات والرسومات والنماذج وتكنولوجيا الحاسوب.

كيمياء
مير المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل وأنشطته ارجع إلى الموقع الإلكتروني لوزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين:

www.moe.gov.bh

تساؤلات جوهرية

- ما هي خصائص الاتزان الكيميائي؟
- كيف تتم كتابة تعابير الاتزان الكيميائي للأنظمة المتزنة؟
- كيف يتم حساب 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 الانعكاسي

الاتزان الكيميائي

قانون الاتزان الكيميائي

ثابت الاتزان

الاتزان المتجانس

الاتزان غير المتجانس

حالة الاتزان الديناميكي

A State of Dynamic Balance

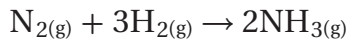
الفكرة الرئيسية يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان، الذي يربط تراكيز المواد المتفاعلة والناجثة.

الربط مع الحياة تخيل شد الحبل بين فريقين. قد لا يبدو أن أيًا من الفريقين يسحب الآخر؛ لأن الحبل بينهما لا يتحرك، وفي الحقيقة، كلا الفريقين يسحب الآخر، ولكن القوة المبذولة من الفريقين متساوية ومتعاكسة، لذلك يكونان في حالة اتزان.

الاتزان Equilibrium

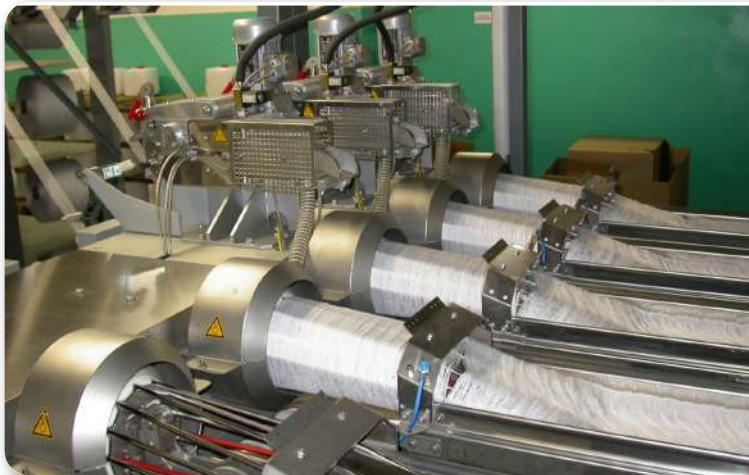
في كثير من الأحيان، تصل التفاعلات الكيميائية إلى نقطة اتزان أو توازن. إن كنت قد قمت بعمل النشاط الاستهلاكي فستجد أنك وصلت إلى نقطة الاتزان من خلال نقل الماء من المخبر المدرج إلى الكأس، ومن الكأس إلى المخبر المدرج.

تأمل تفاعل تحضير غاز الأمونيا من غاز النيتروجين والهيدروجين الآتي:

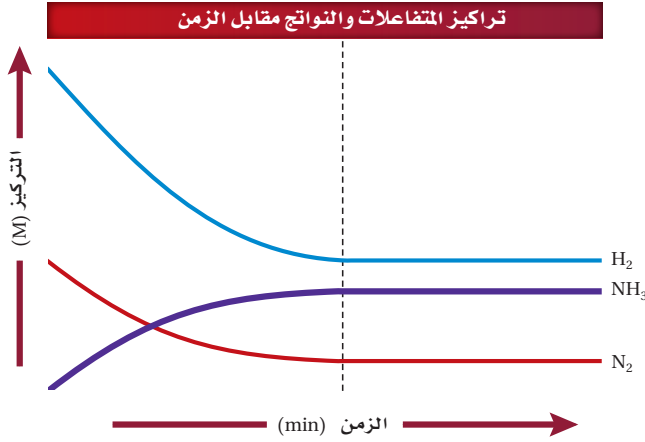


للأمونيا أهمية كبيرة في الزراعة؛ حيث تستعمل سادًا ومادة إضافية في حبوب أطعمة الحيوانات. وفي الصناعة تمثل الأمونيا مادة خامًا في صناعة الكثير من المنتجات، مثل النايلون، كما يظهر في الشكل 5-1.

تفاعل تحضير الأمونيا يحدث تلقائيًا في الظروف القياسية (درجة حرارة 298 k وضغط جوي 1atm)، ولكن التفاعلات التلقائية ليست دائمًا سريعة. فعند عمل هذا التفاعل في الظروف القياسية، تتكون الأمونيا ببطء شديد. ولإنتاج الأمونيا بسرعة عملية يجب إجراء التفاعل في درجات حرارة أعلى وضغط أكبر.



الشكل 5-1 تتفاعل الأمونيا مع نهايتي جزيء مكون من 6 ذرات كربون، لتكون 1، 6 - ثنائي أمينوهكسان. تمثل هذه إحدى خطوات تكوّن بوليمر النايلون. وتُظهر الصورة لف ألياف النايلون على ملفات 6 التي تستعمل في صناعة الإطارات.



الشكل 2-5 يتناقص تركيز المواد المتفاعلة H_2 ، N_2 في البداية، في حين يزداد تركيز الناتج NH_3 . قبل أن تستهلك المتفاعلات تمامًا، تصبح تراكيز جميع المواد ثابتة.

اختبار الرسم البياني

وضح كيف يبين الرسم البياني أن تراكيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة تصبح ثابتة.

المفردات

المفردات الأكاديمية

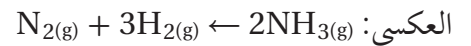
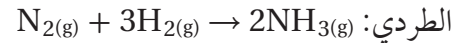
تحويل Convert

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

ماذا يحدث عندما يوضع 1 mol من النيتروجين مع 3 mol من الهيدروجين في وعاء مغلق للتفاعل عند حرارة 723 K؟ سوف يتفاعل النيتروجين والهيدروجين تلقائيًا. يوضح الشكل 2-5 سير التفاعل. لاحظ أن تركيز الأمونيا NH_3 الناتجة يساوي صفرًا في البداية، ويزداد مع الوقت، وأن المتفاعلات H_2 و N_2 تستهلك مع الوقت، لذلك يقل تركيزها تدريجيًا. وبعد مرور فترة من الزمن لا تتغير تراكيز NH_3 و N_2 و H_2 أي تصبح جميع التراكيز ثابتة - كما هو موضح في الخطوط الأفقية في الجانب الأيمن من الرسم البياني. لاحظ أن تراكيز H_2 و N_2 لا تساوي صفرًا، وهذا يعني أنه لم يتم تحويل كامل المتفاعلات إلى النواتج.

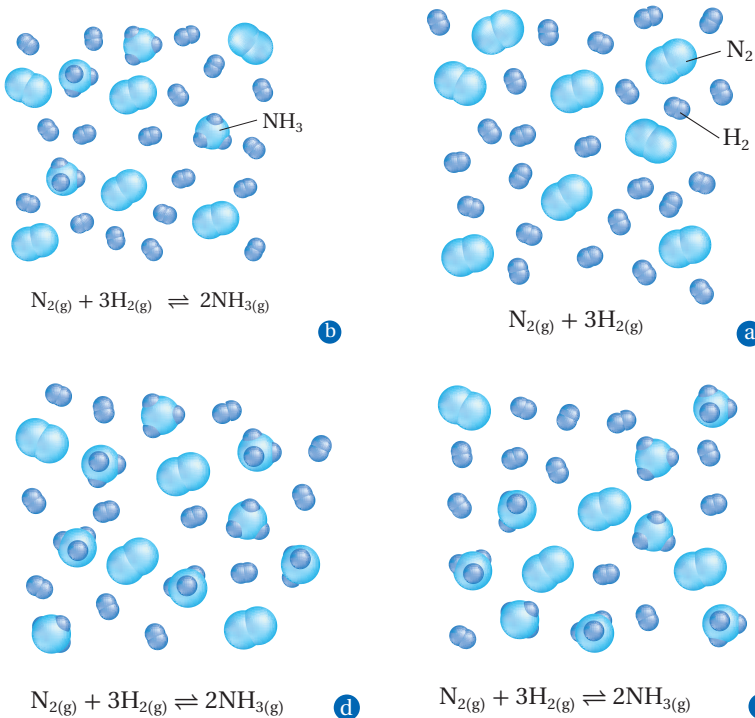
اختبار الرسم البياني صف ميل منحنى كل من الهيدروجين والنيتروجين والأمونيا في الطرف الأيسر من الرسم البياني. كيف يختلف ميل كل منحنى في الطرف الأيسر عن ميله في الطرف الأيمن من الرسم؟

التفاعلات الانعكاسية والاتزان الكيميائي عندما تتحول المتفاعلات بالكامل إلى نواتج يصف العلماء التفاعل بأنه مكتمل، غير أن معظم التفاعلات لا تكتمل، بل تظهر وكأنها توقفت، لأنها انعكاسية. **التفاعل الانعكاسي** هو التفاعل الكيميائي الذي يحدث في الاتجاهين الطردي والعكسي.



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

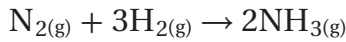
توجد المتفاعلات للتفاعل الطردي على الجهة اليسرى من الأسهم، في حين تكون المتفاعلات للتفاعل العكسي في الجهة اليمنى من الأسهم. في التفاعل الطردي يتحد النيتروجين والهيدروجين لتكوين الأمونيا، أما في التفاعل العكسي فتحلل الأمونيا لتكوّن كلاً من غاز الهيدروجين وغاز النيتروجين.



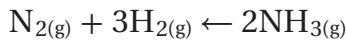
الشكل 3-5 توضح الرسومات من a إلى d سير التفاعل لتكوين الأمونيا من الهيدروجين والنيتروجين.

استنتج ادرس الأشكال وأجب عن الأسئلة الآتية:
a : كيف تعلم أن التفاعل لم يبدأ بعد؟
b : ما الدليل الذي يشير إلى بداية التفاعل العكسي؟ قارن الشكلين c و d، كيف تعلم أن النظام وصل إلى حالة الاتزان؟

كيف يؤثر التفاعل الانعكاسي على إنتاج الأمونيا؟ يوضح الشكل 3a-5 بدء تفاعل مزيج من الهيدروجين والنيتروجين بسرعة أولية محددة. ولا توجد أي كمية ناتجة عن الأمونيا، وهذا يعني أن ما يحدث هو التفاعل الطردي فقط.



يقل تركيز كل من الهيدروجين والنيتروجين في أثناء اتحادهما لتكوين الأمونيا، كما هو موضح في الشكل 3b-5. وتذكر مما درست سابقاً أن سرعة التفاعل الكيميائي تعتمد على تراكيز المتفاعلات؛ إذ يسبب نقص تراكيز المتفاعلات إبطاء سرعة التفاعل الطردي. وفي هذا التفاعل، بمجرد أن تنتج الأمونيا، يحدث التفاعل العكسي ببطء ثم تزداد سرعته مع زيادة تركيزها.

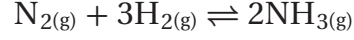


وفي أثناء سير التفاعل تستمر سرعة التفاعل الطردي في النقصان، وتستمر سرعة التفاعل العكسي في الزيادة حتى تتساوى السرعتان. عند هذه النقطة تتكون الأمونيا بنفس السرعة التي تتحلل بها، لذلك تبقى تراكيز N_2 و H_2 و NH_3 ثابتة كما هو موضح في الشكلين 3c-5، 3d-5، ويكون النظام عندها قد وصل إلى حالة الاتزان.

يعني مفهوم الاتزان أن العمليات الانعكاسية تتزن، ولذا يعرف **الاتزان الكيميائي** بأنه الحالة التي يوازن فيها التفاعل الطردي والعكسي أحدهما الآخر؛ لأنها يحدثان بالسرعة نفسها.

معدل سرعة التفاعل الطردي = معدل سرعة التفاعل العكسي

يمكنك معرفة أن تفاعل تكوّن الأمونيا وصل إلى حالة الاتزان الكيميائي لأن معادلته كتبت بسهم مزدوج كما يأتي:



عند الاتزان، تكون تراكيز المواد المتفاعلة والناجثة ثابتة، كما يظهر في الشكلين 5-3c و 5-3d، لكن هذا لا يعني أن كميات أو تراكيز المتفاعلات و النواتج متساوية. فهذه الحالة نادرة الحدوث.

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

الربط الفيزياء الطبيعة الديناميكية للاتزان

يمثل كل من الدفع أو السحب المؤثر في جسم ما قوةً. فأنت تبذل قوة عندما تدفع الباب أو تسحب مقعدك من مكانه. إذا أثرت قوتان أو أكثر في الجسم نفسه وفي الاتجاه نفسه فإن القوى تضاف معًا. وتطرح إحدى القوى من الأخرى إذا كانتا في اتجاهين متعاكسين. لهذا في لعبة شد الحبل عندما يسحب الفريقان الحبل بقوة متساوية تنتج قوة مقدارها صفر، فلا يتحرك الحبل، ويوصف النظام بأنه في حالة اتزان. وبالمثل، في الشكل 5-4a فالأشخاص الذين يلعبون لعبة التوازن (السيسو) يمثلون نظامًا متزنًا؛ إذ تسمى القوى المتماثلة والمتعاكسة على لعبة التوازن (السيسو) بالقوى المتوازنة، أما إذا كانت واحدة من هذه القوى أكبر من الأخرى فإن القوة المحصلة تكون أكبر من صفر وتسمى القوى غير المتوازنة. وتسبب القوى غير المتوازنة تسارع الجسم، كما يحدث في الشكل 5-4b.



الشكل 5-4

a: تكون جميع القوى في توازن لذلك لا يتحرك موقع لعبة التوازن (السيسو).

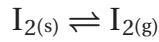
b: تتسبب القوى غير المتوازنة في الجهة اليسرى في تغيير موقع لعبة التوازن (السيسو).

وضح كيف تشبه لعبة التوازن (السيسو) الاتزان الكيميائي؟



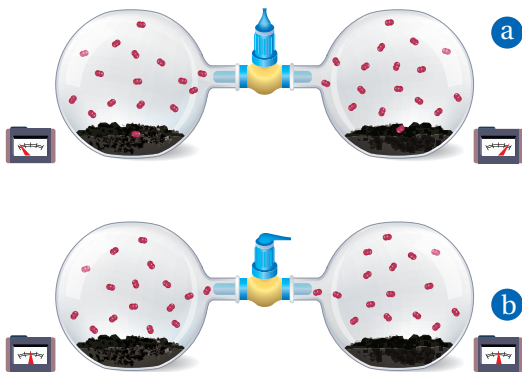
الشكل 5-5 افترض أن عددًا معينًا من الأشخاص محصورون في مبنين متصلين بممر يسمح للناس بالعبور ذهابًا وإيابًا بينهما. إن عدد الأشخاص في كل مبنى يبقى ثابتًا إذا كان عدد الأشخاص الذين يعبرون الجسر مساويًا لعدد الأشخاص الذين يعبرون في الاتجاه المعاكس. **حدد** هل يكون الأشخاص أنفسهم موجودين دومًا في المبنى نفسه؟ كيف تطبق إجابتك على الاتزان الكيميائي؟

يمكن تشبيه ما ورد في الشكل 5-5 بالطبيعة الديناميكية للاتزان الكيميائي عند وضع كميات متساوية من بلورات اليود في دورقين متصلين كما هو موضح في الشكل 6a - 5. يحتوي الدورق في الجهة اليسرى على جزيئات يود من النظير المشع I-127، ويحتوي الدورق في الجهة اليمنى جزيئات يود من النظير المشع I-131. تبين عدادات الإشعاع الفرق في مستويات الإشعاع في كل دورق. إذ يمثل كل دورق نظامًا مغلقًا، ومن ثم لا يمكن لأي من المتفاعلات أو النواتج أن تدخل أو تخرج من الدورق. فعند درجة حرارة 298 k وضغط 1 atm يحصل الاتزان في كلا الدورقين



في التفاعل الطردى الذي يسمى التسامي، تتغير جزيئات اليود من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية مباشرة. وفي التفاعل المعاكس 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-5 ينتقل بخار اليود بين الدورقين. بعد فترة من الزمن، تبين قراءات عدادات الإشعاع وجود عدد جزيئات اليود المشع I-131 في الدورق في الجهة اليسرى، كما في الدورق في الجهة اليمنى في الحالتين الصلبة والغازية. توحي الأدلة بأن جزيئات اليود تتغير بشكل مستمر من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية حسب التفاعل الطردى. وأن جزيئات اليود الغازية تتغير إلى الحالة الصلبة وفقًا للتفاعل العكسي. تؤشر القراءات الثابتة في عدادات الإشعاع أن الاتزان قد تحقق في الحجم الكلي في الدورقين.



في الشكل 5-6 a. تفصل جزيئات اليود المشع في الدورق الأيمن عن جزيئات اليود غير المشع في الدورق الأيسر. لاحظ قراءات عدادات الإشعاع. **b.** بعد فتح المحبس لفترة من الزمن. توضح قراءات عدادات الإشعاع وجود جزيئات مشعة في كلا الدورقين. لقد تحركت الجسيمات ذهابًا وإيابًا بين الدورقين وبين الحالتين الصلبة والغازية.

تعابير الاتزان Equilibrium Expressions

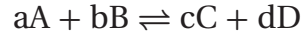


استخدم التكنولوجيا

نحو الذكاء الاصطناعي

أدخل البيانات في تطبيق رقمي، يحدد تعابير ثابت الاتزان، بالاعتماد على المعاملات المستخدمة في وزن المعادلات الانعكاسية.

لبعض الأنظمة الكيميائية ميل قليل للتفاعل، في حين تستمر أنظمة أخرى في التفاعل حتى تكتمل. تصل معظم التفاعلات إلى حالة الاتزان مع وجود بعض التفاعلات غير مستهلكة. عندما لا تستهلك التفاعلات بالكامل تكون كمية النواتج أقل من المتوقع حسب المعادلة الكيميائية الموزونة. وبالنظر إلى معادلة تحضير الأمونيا نجد أنه يتكون 2 mol من الأمونيا عند تفاعل 1 mol من النيتروجين مع 3 mol من الهيدروجين. ولأن هذا التفاعل يصل إلى حالة اتزان فإننا نحصل على أقل من 2 mol من الأمونيا. **قانون الاتزان الكيميائي** قدم وطور الكيميائيان النرويجيان كاتو ماكسمليان جولدبرغ Guldberg وبيتر ويج Waage في عام 1864م **قانون الاتزان الكيميائي** الذي ينص على أنه عند درجة حرارة معينة يمكن للتفاعل الكيميائي أن يصل حالة تصبح فيها نسب تراكيز التفاعلات و النواتج ثابتة. وتكون معادلة التفاعل العامة للتفاعل في حالة اتزان كما يلي:



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

تعبير ثابت الاتزان

تمثل [A] و [B] التراكيز المولارية للمتفاعلات

[C] و [D] التركيز 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 قوة مساوية للمعامل الخاص به في المعادلة الموزونة.

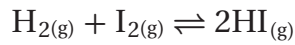
ثابت الاتزان K_{eq} هو القيمة العددية لنسبة تراكيز النواتج إلى تراكيز المتفاعلات، ويُرفع كل تركيز إلى قوة مساوية للمعامل الخاص به في المعادلة الموزونة. تكون قيمة K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة فقط.

كيف يمكن تفسير قيمة ثابت الاتزان؟ تعلم أن قيمة الكسر الذي بسطه أكبر من مقامه تكون أكبر من 1. وتكون قيمة الكسر الذي بسطه أقل من مقامه أقل من 1. على سبيل المثال، قارن النسب $\frac{5}{1}$ و $\frac{1}{5}$. فالخمس أكبر من الخمس. ولأن تراكيز النواتج توجد في بسط معادلة ثابت الاتزان، يكون التفاعل محتويًا على نواتج أكثر من المتفاعلات إذا كانت القيمة العددية للثابت K_{eq} كبيرة، وبالمثل تكون المواد المتفاعلة أكثر من النواتج عندما تكون القيمة العددية للثابت K_{eq} صغيرة.

$K_{eq} > 1$ ، تراكيز المواد الناتجة أكبر من تراكيز المواد المتفاعلة عند الاتزان.

$K_{eq} < 1$ ، تراكيز المواد المتفاعلة أكبر من تراكيز المواد الناتجة عند الاتزان.

تعبير الاتزان المتجانس ينتج غاز يوديد الهيدروجين من تفاعل الاتزان لغاز الهيدروجين مع اليود. لليود ومركباته استعمالات مهمة في الطب، كما هو موضح في الشكل 5-7. كيف يمكنك كتابة تعبير ثابت الاتزان لهذا التفاعل؟



هذا تفاعل اتزان متجانس، وهذا يعني أن المتفاعلات والنواتج موجودة في الحالة الفيزيائية نفسها؛ فكل المواد المشاركة في الحالة الغازية. أولاً ضع تراكيز النواتج في البسط وتراكيز المتفاعلات في المقام.

$$\frac{[\text{HI}]}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

يصبح هذا التعبير مساوياً لثابت الاتزان k_{eq} ، عندما نضيف المعاملات بوصفها قوى من المعادلة الكيميائية الموزونة

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

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



الشكل 5-7 بسبب خواص اليود المضادة للجراثيم، يستعمل محلول اليود ومركباته كمطهرات خارجية. كما تدخل بعض مركبات يوديد البوتاسيوم KI في الأدوية التي تعالج تضخم الغدة الدرقية.

تعبير ثابت الاتزان للتفاعلات المتجانسة تُنتج ملايين الأطنان من الأمونيا NH_3 لاستعمالها في صناعة المتفجرات والأسمدة والألياف الصناعية. ويمكن أن تستعمل الأمونيا منظفًا منزليًا؛ فهي مفيدة جدًا في تنظيف الزجاج. تصنع الأمونيا من عناصرها الهيدروجين والنتروجين باستعمال عملية 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

معامل $[A] = [N_2]$ ، $1 = N_2$
 معامل $[B] = [H_2]$ ، $3 = H_2$
 معامل $[C] = [NH_3]$ ، $2 = NH_3$

المطلوب

$Keq = ?$

2 حساب المطلوب

عوض $A = N_2$ ، $B = H_2$ ، $C = NH_3$

عوض $a = 1$ ، $b = 3$ ، $c = 2$

$$Keq = \frac{[NH_3]^c}{[N_2]^a[H_2]^b}$$

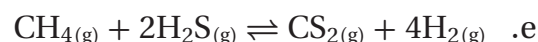
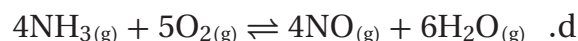
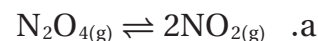
$$Keq = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

3 تقويم الإجابة

تراكيز النواتج في البسط وتراكيز المتفاعلات في المقام. ترفع التراكيز إلى أس مساوي لمعاملاتها.

مسائل تدريبية

1. اكتب تعابير ثابت الاتزان للمعادلات الآتية:

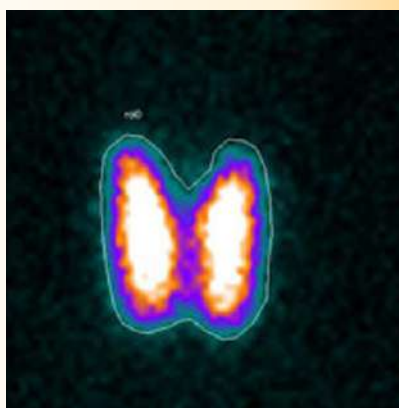


2. تحدّد اكتب المعادلة الكيميائية التي تمثل تعبير ثابت الاتزان الآتي:

$$Keq = \frac{[CO]^2[O_2]}{[CO_2]^2}$$

الكيمياء في واقع الحياة

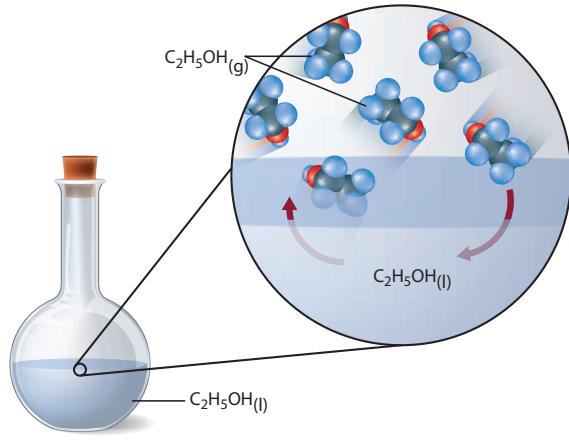
صحة الغدة الدرقية



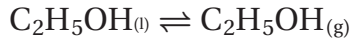
الطب النووي تمتص الغدة الدرقية نظير اليود المشع I-131، الذي يستعمل في الطب لتشخيص وعلاج أمراض الغدة الدرقية. فعندما يتناوله المريض تعمل إشعاعات اليود على إعطاء صورة للغدة تكشف عن أي قصور.

تُظهر الصورة في الأعلى الغدة الدرقية لمريض يعاني من مرض تضخم الغدة، وهو مرض يمكن علاجه، وسببه فرط نشاط الغدة الدرقية.

الشكل 5-8 عند الاتزان، تكون سرعة تبخر الإيثانول C_2H_5OH مساوية لسرعة التكثف. يسمى هذا الاتزان المتجانس بين حالتين فيزيائيتين للمادة بالاتزان غير المتجانس. تعتمد قيمة K_{eq} على $[C_2H_5OH(g)]$ فقط.



تعبير الاتزان غير المتجانس لقد تعلمت كتابة تعابير ثابت الاتزان K_{eq} للاتزان المتجانس؛ إذ تكون المتفاعلات والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها. أما عندما توجد المتفاعلات والنواتج في أكثر من حالة فيزيائية واحدة يسمى **الاتزان غير المتجانس**. فمثلاً إذا وضعت كمية من الإيثانول في دورق مغلق، فإنه بعد فترة من الزمن يحصل اتزان غاز - سائل كما هو موضح في الشكل 5-8



لكتابة تعبير ثابت الاتزان لهذه العملية، يجب أن تكتب نسبة بين تركيز الناتج إلى تركيز المتفاعل. في درجة حرارة معينة، تكون قيمة النسبة ثابتة K .

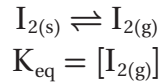
$$K = \frac{[C_2H_5OH(g)]}{[C_2H_5OH(l)]}$$

لاحظ أن مقام المعادلة يمثل الإيثانول السائل؛ وهو مادة نقية، لذلك فإن تركيزه هو كثافته معبر عنها بوحدة mol/l . تذكر أن الكثافة ثابتة عند درجة حرارة ثابتة، لذلك مهما كانت كمية الإيثانول C_2H_5OH صغيرة أو كبيرة فإن تركيزه يبقى ثابتاً. لذلك فإن القيمة الموجودة في مقام المعادلة ثابتة، ويمكن دمجها مع K لتعطي K_{eq} .

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

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

المواد الصلبة مواد نقية بتركيز ثابتة، لذلك يمكن تبسيط الاتزان الذي يحتوي مواد صلبة بالطريقة نفسها. تذكر تجربة تسامي جزيئات اليود في الشكل 5-8.



يعتمد ثابت الاتزان K_{eq} على تركيز غاز اليود في النظام فقط.

مهنة في الكيمياء

كاتب علمي لنقل المعلومات العلمية للقارئ غير العلمي، يجب أن يكون عند الكاتب خلفية علمية واسعة وقدرة على الكتابة بشكل مفهوم وواضح ودقيق. يجعل الكاتب العلمي المواضيع المعقدة مثل الاتزان الكيميائي في متناول قراء بدون أي معلومات مسبقة عن الموضوع. للمزيد من المعلومات عن المهنة في مجال الكيمياء، قم ببحث على شبكة الأنترنت.

تعايير ثابت الاتزان غير المتجانس تستعمل صودا الخبز (كربونات الصوديوم الهيدروجينية) في الخبز، ومضاداً للحموضة، وفي التنظيف، وبالإضافة إلى ذلك توضع مادة في أوعية مفتوحة في الثلاجات لإبقاء الجو منعشاً، كما هو موضح في الشكل 9-5. اكتب تعبير ثابت الاتزان لتحلل صودا الخبز.



1 تحليل المسألة

هذا الاتزان غير المتجانس يحتوي على غازات ومواد صلبة، يتم إزالة المواد الصلبة من تعبير ثابت الاتزان.

المعطيات

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

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

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

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

المطلوب

تعبير ثابت الاتزان = ؟

2 حساب المطلوب

كون نسبة تراكيز النواتج إلى تراكيز المتفاعلات.

ضع التعبير العام لثابت الاتزان

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

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

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

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

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

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

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

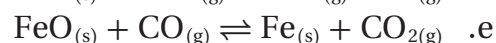
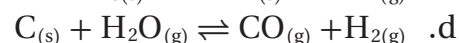
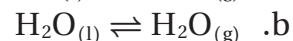
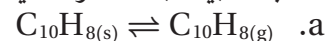
قم بإزالة المواد الصلبة

3 تقويم الإجابة

يطبق تعبير ثابت الاتزان قوانين الاتزان الكيميائي بصورة صحيحة على المعادلة.

مسائل تدريبية

3. اكتب تعابير ثابت الاتزان غير المتجانسة لكل مما يلي:



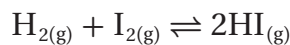
4. **تحذّر** يتفاعل الحديد الصلب مع غاز الكلور لتكوين كلوريد الحديد III FeCl_3 . اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل.



الشكل 9-5 تمتص كربونات الصوديوم الهيدروجينية (صودا الخبز)، الروائح وتنعش الهواء داخل الثلاجة. وهي أيضاً من المكونات الرئيسية في بعض معاجين الأسنان

ثوابت الاتزان Equilibrium Constants

تبقى قيمة K_{eq} ثابتة لتفاعل معين عند درجة حرارة معينة، بغض النظر عن التراكيز الابتدائية للنواتج والمتفاعلات. لفحص هذه النظرية، تم تنفيذ ثلاث تجارب للتفاعل:



ملخص النتائج موضح في الجدول 1-5. في المحاولة الأولى، وضع 1.00 mol من H_2 و 2.00 mol من I_2 في وعاء حجمه 1.0000 L ولا يوجد أي كمية من HI في بداية المحاولة 1. في بداية المحاولة 2 فقط HI كان موجوداً. أما في المحاولة 3 فكان لكل مادة من المواد الثلاث التركيز الابتدائي نفسه. تمت التفاعلات جميعها في درجة حرارة 731 K.

تراكيز الاتزان تم تحديد تركيز كل مادة تجريبياً عند الاتزان. لاحظ أن تراكيز الاتزان في التجارب الثلاث ليست متساوية. لكن عند التعويض بدل تراكيز الاتزان في معادلة ثابت الاتزان تم الحصول على قيمة K_{eq} نفسها في المحاولات الثلاث.

قيمة K_{eq} رغم أن نظام الاتزان له قيمة K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة، إلا أن له عددًا غير محدود من مواقع الاتزان، والتي تعتمد على التراكيز الابتدائية للمتفاعلات والنواتج.

تعني قيمة K_{eq} العالية في التفاعل $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftharpoons 2HI_{(g)}$ أن النواتج موجودة بكميات أكبر من المتفاعلات عند الاتزان. لكن في كثير من التفاعلات تكون قيمة K_{eq} صغيرة.

في التفاعل $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$ مثلاً K_{eq} تساوي 4.6×10^{-31} عند درجة حرارة 298 K. تعني القيمة الصغيرة لـ K_{eq} أن كمية أكسيد النيتروجين NO الناتجة عملياً تكون شبه معدومة عند الاتزان.

بيانات تجريبية لتفاعل يوديد الهيدروجين عند الاتزان

الجدول 5-1

K_{eq}	تراكيز الاتزان			التراكيز الابتدائية			تجربة
	[HI]	[I ₂]	[H ₂]	[HI]	[I ₂]	[H ₂]	
$K_{eq} = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$							
$49.70 = \frac{[1.8682]^2}{[0.06587][1.0659]}$	1.8682	1.0659	0.06587	0	2.0000	1.0000	1
$49.70 = \frac{[3.8950]^2}{[0.5525][0.5525]}$	3.8950	0.5525	0.5525	5.0000	0	0	2
$49.70 = \frac{[1.7515]^2}{[0.2485][0.2485]}$	1.7515	0.2485	0.2485	1.0000	0.6242	0.6242	3
$49.70 = \frac{[2.336]^2}{[0.3315][0.3315]}$	2.336	0.3315	0.3315	1.0000	1.0000	1.0000	4

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

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

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

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

مثال 3-5

قيمة ثابت الاتزان احسب قيمة K_{eq} لتعبير ثابت الاتزان $K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$ إذا علمت أن تراكيز المواد في أحد مواضع الاتزان $[NH_3] = 0.933 \text{ mol/l}$, $[N_2] = 0.533 \text{ mol/l}$, $[H_2] = 1.600 \text{ mol/l}$

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت تعبير ثابت الاتزان وتراكيز المتفاعلات والنواتج، يجب حساب ثابت الاتزان.

المطلوب

المعطيات

$$K_{eq} = ?$$

$$[N_2] = 0.533 \text{ mol/l}$$

$$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

$$[H_2] = 1.600 \text{ mol/l}$$

$$[NH_3] = 0.933 \text{ mol/l}$$

2 حساب المطلوب

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

$$[NH_3] = 0.933 \text{ mol/l}$$

$$[N_2] = 0.533 \text{ mol/l}, [H_2] = 1.6 \text{ mol/l}$$

3 تقويم الإجابة

توجد القيمة الكبرى للتركيز في مقام المعادلة، وهي مرفوعة للأس (3)، لذا قيمة K_{eq} الناتجة أقل من 1 معقولة.

مسائل تدريبية

5. احسب قيمة K_{eq} للاتزان $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ إذا علمت أن:

$$[N_2O_4] = 0.0185 \text{ mol/l}, [NO_2] = 0.0627 \text{ mol/l}$$

6. احسب قيمة K_{eq} للاتزان $CO(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + H_2O(g)$ إذا علمت أن:

$$[CO] = 0.0613 \text{ mol/l}, [H_2] = 0.1839 \text{ mol/l}, [CH_4] = 0.0387 \text{ mol/l}, [H_2O] = 0.0387 \text{ mol/l}$$

7. تحدد 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 يساوي 0.150 M عند الاتزان، فما تركيز $COCl_2$ ؟ علماً بأن قيمة ثابت الاتزان K_{eq} عند درجة الحرارة نفسها تساوي 8.2×10^{-2}

تقويم الدرس 5-1

الخلاصة

- يكون التفاعل في حالة اتزان إذا كانت سرعة التفاعل الطردي مساوية لسرعة التفاعل العكسي.
- تعبير ثابت الاتزان هو نسبة التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة، حيث ترفع هذه التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها في المعادلة الكيميائية الموزونة.
- تكون قيمة تعبير ثابت الاتزان K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة .

8. **الفكرة الرئيسية** فسر كيف ترتبط قيمة ثابت الاتزان مع كمية النواتج K_{eq} ؟
9. **قارن** بين الاتزان المتجانس والاتزان غير المتجانس.
10. **عدّد** ثلاثة خواص يجب أن توجد في مزيج تفاعل ليصل إلى حالة اتزان.
11. **احسب** قيمة K_{eq} عند درجة حرارة 400 K للتفاعل الآتي:



إذا علمت أن:

$$[PCl_5] = 0.135 \text{ mol/L}$$

$$[PCl_3] = 0.550 \text{ mol/L}$$

$$[Cl_2] = 0.550 \text{ mol/L}$$

12. **فسر البيانات** يوضح الجدول الآتي قيم ثابت الاتزان عند ثلاث درجات حرارة مختلفة. في أي منها نجد تركيز النواتج أكبر؟ فسر إجابتك.

ثابت الاتزان ودرجات الحرارة		
373 K	273 K	263 K
4.500	0.500	0.0250

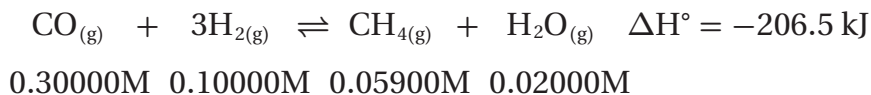
العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي Factors Affecting Chemical Equilibrium

الفكرة الرئيسية عندما تطرأ تغييرات على نظام متزن يزاح إلى موضع اتزان جديد.

الربط مع الحياة عندما يتساوى الطلب على منتج ما مع المعروض من هذا المنتج يبقى السعر ثابتاً. إذا زاد الطلب على المنتج فإن سعر المنتج سوف يزيد. ويصبح السعر ثابتاً مرة أخرى عندما يصل العرض والطلب إلى حالة اتزان. وهذا يشبه تصرف الأنظمة في حالة الاتزان.

مبدأ لوتشاتيليه 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 ($\Delta H = -206.5\text{ kJ}$) إلى حالة الاتزان الاصلي



$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3} = \frac{(0.05900)(0.02000)}{(0.30000)(0.10000)^3} = 3.933$$

ولأن تركيز الميثان 0.0590 mol/l قليل جداً؛ لا يمكن استعماله عملياً. فهل يمكن لعلماء الكيمياء التحكم في موضع الاتزان للحصول على كمية أكبر من الميثان؟ يشبه ذلك عداء يركض على آلة المشي، كما في الشكل 10-5، فإذا زاد العداء سرعة الآلة فإن عليه زيادة سرعته للعودة إلى حالة الاتزان.



الشكل 10-5 يزيد العداء من سرعة آلة المشي تدريجياً. لذا، عليه عند كل تغيير زيادة سرعة ركضه ليحقق اتزانه على الآلة مرة أخرى. بشكل مماثل يمكن لعالم الكيمياء تغيير ظروف التفاعل عند الاتزان لزيادة كمية النواتج.

تساؤلات جوهرية

- ما هي العوامل المختلفة التي تؤثر في الاتزان الكيميائي؟
- كيف يطبق مبدأ لوتشاتيليه على أنظمة في حالة اتزان كيميائي؟

مراجعة المفردات

سرعة التفاعل: التغير في تركيز متفاعل أو ناتج في وحدة الزمن. ويحسب عادةً بوحدة مول لكل لتر في الثانية.

المفردات الجديدة

مبدأ لوتشاتيليه

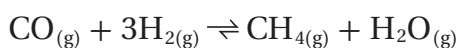
في عام 1888م اكتشف العالم الفرنسي هنري لويس لوتشاتيليه Le chatelier أن هناك طرائق للتحكم في الاتزان لجعل التفاعل أكثر إنتاجاً. وقد طرح ما يسمى الآن بمبدأ لوتشاتيليه: إذا تم بذل جهد على نظام في حالة اتزان، فإن ذلك يؤدي إلى إزاحة النظام في اتجاهٍ يخفف أثر هذا الجهد. الجهد هو أي تغيير يؤثر في اتزان نظام معين.

تطبيق مبدأ لوتشاتيليه Applying Le Châtelier's Principle

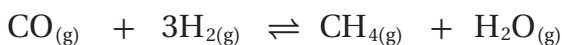
كيف يمكن للكيميائي الصناعي تطبيق مبدأ لوتشاتيليه لزيادة إنتاج الميثان؟ إنه يحتاج إلى تعديل أي من العوامل التي من شأنها أن تؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو النواتج في التفاعل.

التغيير في التركيز يؤثر تغيير تراكيز النواتج أو المتفاعلات في الاتزان؛ إذ تنص نظرية التصادم على أن الجسيمات يجب أن تتصادم حتى تتفاعل، وأن عدد التصادمات بين جسيمات المواد المتفاعلة يعتمد على تركيزها. إذاً من الممكن أن يغير الكيميائي الاتزان بتغيير التراكيز.

إضافة مواد متفاعلة إذا أُضيفت كمية من أول أكسيد الكربون إلى وعاء التفاعل فسيزيد تركيزه من 0.300M إلى 1.00M، مما يزيد عدد التصادمات الفعالة بين جزيئات غاز أول أكسيد الكربون CO وجزيئات غاز الهيدروجين H₂، فيؤثر ذلك في اتزان التفاعل؛ إذ تزيد سرعة التفاعل الطردي، كما هو موضح من السهم الأطول الذي يشير نحو اليمين في معادلة التفاعل.



مع الوقت، يبطئ التفاعل الطردي مع انخفاض تركيز كل من CO و H₂، وفي الوقت نفسه، تزداد سرعة التفاعل العكسي، مع إنتاج المزيد من CH₄ و H₂O وفي النهاية، يتحقق موضع اتزان جديد (موضع 2).



0.99254M 0.07762M 0.06648M 0.02746M

$$K_{eq} = \frac{[\text{CH}_4][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}][\text{H}_2]^3} = \frac{(0.06648)(0.02746)}{(0.99254)(0.07762)^3} = 3.933$$

لاحظ أن قيمة K_{eq} لا تتغير، وأن موضع الاتزان الجديد حقق النتائج المرجوة حيث زاد تركيز الميثان. تلخص نتائج هذه التجربة في الجدول 2-5.

هل كان بإمكانك توقع هذه النتيجة باستعمال مبدأ لوتشاتيليه؟ نعم، يعتبر مبدأ لوتشاتيليه زيادة تركيز CO جهداً مبذولاً على الاتزان، فيستجيب نظام الاتزان لهذا الجهد باستهلاك CO بسرعة أكبر. وتسمى هذه الاستجابة، إزاحة نحو اليمين، وإنتاج المزيد من CH₄ و H₂O. لذا تؤدي أي زيادة في تركيز أي من المتفاعلات إلى الإزاحة نحو اليمين وزيادة النواتج.

عند الاتزان للتفاعل $\text{CO}_{(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_{4(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}$					الجدول 2-5
K _{eq}	[H ₂ O] _{eq} (M)	[CH ₄] _{eq} (M)	[H ₂] _{eq} (M)	[CO] _{eq} (M)	موضع الاتزان
3.933	0.02000	0.05900	0.10000	0.30000	1
3.933	0.02746	0.06648	0.07762	0.99254	2



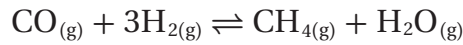
الشكل 5-11 يعرف التاجر المواد الموجودة في متجره في كل وقت، ولذلك عندما يقل المخزون يجب تعويضه. **فسر** هذا التشبيه في ظل مبدأ لوتشاتليه.

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. ماذا يتوقع مبدأ لوتشاتليه أن يحدث للاتزان استجابة لتقصان تركيز الماء؟ سوف تتم إزاحة الاتزان نحو الاتجاه الذي يزيد من تركيز الماء مرة أخرى. هذا يعني إزاحة الاتزان نحو اليمين وتكوين المزيد من النواتج. فكر كيف تبقى رفوف المتاجر مملوءة بالمنتجات، كما هو موضح في الشكل 11-5. عندما يشتري الزبائن المواد فإن على أحد الموظفين تعويض تناقص المنتجات على الرفوف. وبشكل مشابه يعيد تفاعل الاتزان الماء الناقص؛ حيث يزيد إنتاج الماء. في أي نظام متزن تؤدي إزالة أي كمية من أي من النواتج إلى إزاحة الاتزان نحو الجهة اليمنى، وإنتاج المزيد من النواتج.

إضافة النواتج يمكن أيضاً إزاحة موضع الاتزان نحو اليسار في اتجاه المتفاعلات؛ إذ يتوقع مبدأ لوتشاتليه بأنه 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 مشابه نحو الجهة اليسرى. لتتوقع أثر جهد ما على الاتزان باستعمال مبدأ لوتشاتليه، قم بإبقاء معادلة التفاعل أمامك، والشكل 12-5 يلخص تأثير تغيير التراكيز في الاتزان.

ماذا قرأت؟ صف اتجاه الاتزان عند إزالة مادة متفاعلة.

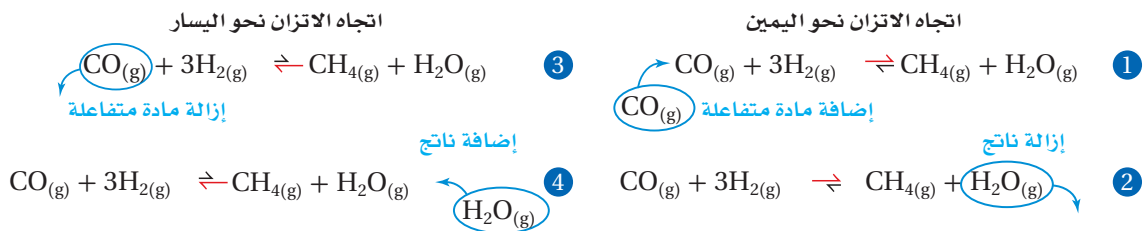
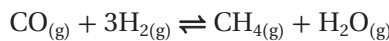
التغيير في الحجم والضغط انظر إلى تفاعل تكوين الميثان الموضح بالمعادلة الكيميائية:



هل يمكن دفع التفاعل لتكوين المزيد من الميثان عن طريق تغيير حجم وعاء التفاعل؟ افترض أن حجم الوعاء يمكن تغييره عن طريق مكبس، كما هو موضح في الشكل 13-5، إذا تم تحريك المكبس إلى أسفل يقل حجم الوعاء. حيث أن تقليل الحجم عند درجة حرارة ثابتة يزيد الضغط. إذن يمثل هذا الضغط الزائد جهداً مبدولاً على التفاعل المتزن. كيف يستجيب الاتزان لهذا التغيير في الضغط؟ وكيف يخفف من هذا التغيير؟

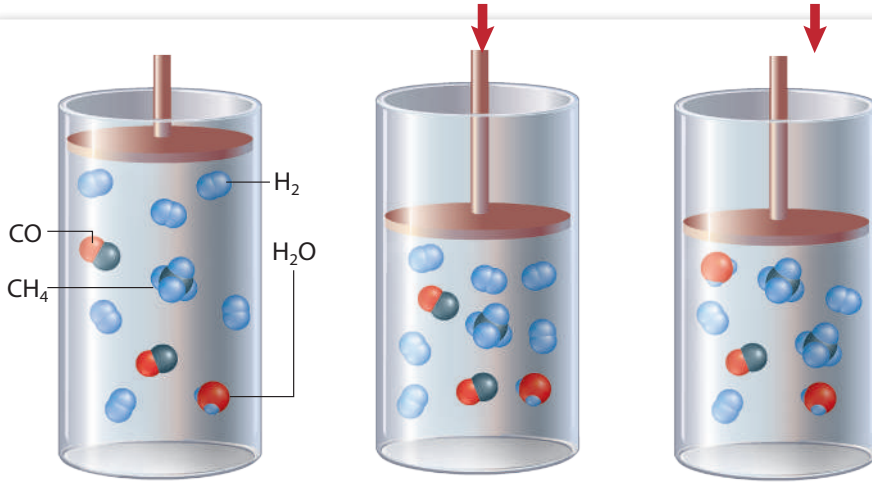
الشكل 5-12 تعمل إضافة أو إزالة إحدى النواتج أو إحدى المتفاعلات على إزاحة الاتزان نحو الاتجاه الذي يخفف الجهد. لاحظ الأسهم غير المتساوية التي تدل على اتجاه الإزاحة.

صف كيف يتم إزاحة الاتزان إذا تمت إضافة كمية من H_2 أو تمت إزالة كمية من CH_4 .



الشكل 5-13 في التفاعل ما بين H_2 و CO عند درجة حرارة ثابتة. فإن تغيير حجم الوعاء يغير تراكيز الغازات المتفاعلة والناجمة. كما تؤدي زيادة الضغط إلى إزاحة الاتزان نحو اليمين، ومن ثم زيادة كمية النواتج.

قارن بين جزئيات الناتج في الصورة اليمنى وعددها في الجهة اليسرى.



تتكون المزيد من جزئيات النواتج نتيجة لاختلاف حجم الوعاء والضغط. مما يخفف من الجهد على النظام.

(1)

(2)

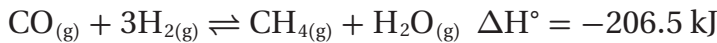
(3)

يعتمد الضغط المبذول بواسطة الغاز المثالي على عدد جسيمات الغاز التي تتصادم مع جدران الوعاء. كلما زاد عدد جسيمات الغاز في الوعاء ازداد الضغط. كما أنه إذا زاد عدد جسيمات الغاز في درجة حرارة ثابتة، زاد ضغط الغاز، وإذا قل عدد جسيمات الغاز قل الضغط. كيف تطبق العلاقة بين عدد جسيمات الغاز والضغط على تفاعل تكوين غاز الميثان؟

عدد مولات المتفاعلات مقابل عدد مولات النواتج قارن بين عدد مولات المتفاعلات الغازية في المعادلة بعدد مولات النواتج الغازية. يتم استهلاك أربع مولات من المتفاعلات الغازية لتكوين مولين من النواتج الغازية؛ حيث يقل العدد الكلي بمولين. إذا طبقت مبدأ لوتشاتيليه أمكنك ملاحظة أن الاتزان يخفف الجهد الواقع عليه من زيادة الضغط في الاتجاه نحو اليمين. يوضح الشكل 5-13 أن هذه الإزاحة تقلل عدد المولات الكلي للغاز، لذا يقل الضغط داخل وعاء التفاعل. رغم أن الإزاحة نحو اليمين لا تقلل الضغط إلى قيمته الأصلية، إلا أنها تعطي التأثير المطلوب، وهو تكون المزيد من الميثان.

يؤدي تغيير حجم (وضغط) نظام في حالة اتزان إلى إزاحة الاتزان فقط في حالة كان عدد مولات المتفاعلات الغازية تختلف عن عدد مولات النواتج الغازية. أما إذا تساوت أعداد مولات الغازات على طرفي المعادلة فإن تغيير الحجم والضغط لا يؤثران في الاتزان.

تغيير درجة الحرارة أي تغيير في درجات الحرارة يغير موضع وثابت الاتزان. تذكر أن معظم التفاعلات الكيميائية إما أنها ماصة للحرارة أو طاردة لها. فمثلاً يحظى تفاعل تكوين الميثان بـ ΔH° سالبة، وهذا يعني أن التفاعل الطردى طارد للحرارة والتفاعل العكسي ماص للحرارة.

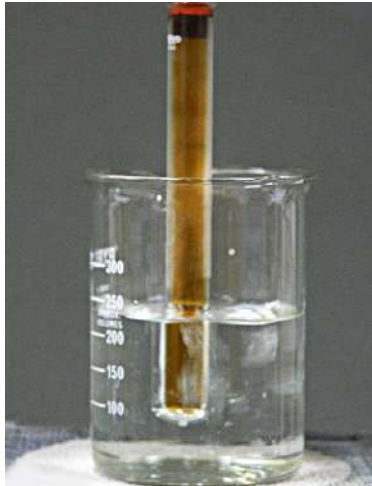


في هذه الحالة، يمكن اعتبار الحرارة ناتجاً للتفاعل الطردى ومتفاعلاً للتفاعل العكسي.



المختبر الافتراضي

قم باستقصاء افتراضي لوصف كيف يضغط التفاعل الكيميائي على نظام ما.

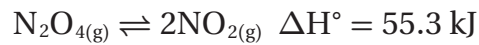


الشكل 5-14 يزاح الاتزان في اتجاه التفاعل الماص للحرارة نحو اليمين، والذي من شأنه أن يزيد من إنتاج NO_2 (بني غامق اللون)، بينما يصبح لون مزيج التفاعل أخف عند وضعه في حمام الماء البارد؛ لأن الاتزان يزاح في اتجاه التفاعل الطارد للحرارة نحو اليسار؛ إذ يزداد تحول NO_2 إلى N_2O_4 الذي لا لون له.

الحرارة وموضع الاتزان إذا أضيفت كمية من الحرارة إلى نظام متزن فإن الاتزان وفقاً لمبدأ لوتشاتيليه - يتجه نحو الاتجاه الذي تستهلك فيه الحرارة. لذا يزاح الاتزان نحو اليسار، ويقلل من تركيز الميثان CH_4 . أما خفض درجة الحرارة فيؤدي إلى إزاحة الاتزان نحو اليمين لأن التفاعل الطردى ينتج طاقة ويقلل من الجهد، لذا تنتج كمية أكبر من الميثان.

درجة الحرارة و K_{eq} ينتج عن أي تغيير في درجة الحرارة تغيير في K_{eq} ، وكلما زادت قيمة K_{eq} كلما كان الناتج في خليط الاتزان أكبر. ولذلك في تفاعل إنتاج الميثان فإن K_{eq} تزداد عندما تنخفض درجة الحرارة، وتنخفض قيمة K_{eq} عند ارتفاع درجة الحرارة.

التحول بين رابع أكسيد ثنائي النيتروجين N_2O_4 وثنائي أكسيد النيتروجين NO_2 ، يستجيب للتغيرات في درجة الحرارة بشكل ملحوظ. ويمكن وصف هذا الاتزان الماص للحرارة في المعادلة الآتية:



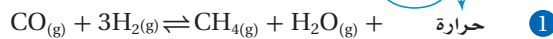
N_2O_4 غاز لا لون له، و NO_2 غاز لونه بني. يوضح الشكل 14-5 لون مزيج الاتزان، عندما يبرد في حمام ماء بارد يصبح لونه أخف مقارنة بلونه عندما يسخن المزيج في حمام ماء ساخن. عند إزالة الحرارة بالتبريد يزاح الاتزان نحو اليسار، وينتج المزيد من غاز لا لون له N_2O_4 . أما عند إضافة الحرارة فيزاح الاتزان نحو اليمين وينتج المزيد من غاز NO_2 ذي اللون البني. يوضح الشكل 15-5 تأثير التسخين والتبريد في التفاعلات التي درستها.

العوامل الحفازة و الاتزان تختلف كمية النواتج المتكونة في التفاعل عند تغيير التركيز أو الحجم أو الحرارة. هل يمكن للعامل الحفاز أن يؤثر هو الآخر في تركيز النواتج؟ يعمل العامل الحفاز على زيادة سرعة التفاعل بالتساوي لكلا الاتجاهين، ولهذا يصل التفاعل مع وجود العامل الحفاز أسرع إلى حالة الاتزان، دون تغيير كمية النواتج المتكونة.

الشكل 5-15 عند رفع درجة حرارة التفاعل الطارد للحرارة بين CO و H_2 ، يزاح الاتزان نحو اليسار (معادلة 1)، وتخفيض درجة الحرارة ينتج إزاحة الاتزان نحو اليمين (معادلة 2)، والعكس صحيح للتفاعل الماص للحرارة بين NO و N_2O_4 (المعادلتين 3 و4).

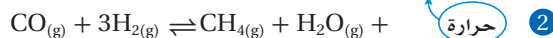
تفاعل طارد للحرارة

يزاح الاتزان نحو اليسار



رفع درجة الحرارة
حرارة

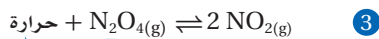
يزاح الاتزان نحو اليمين



خفض درجة الحرارة
حرارة

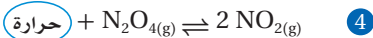
تفاعل ماص للحرارة

يزاح الاتزان نحو اليمين



رفع درجة الحرارة

يزاح الاتزان نحو اليسار



خفض درجة الحرارة

التغير في موضع الاتزان

كيف يعمل الاتزان على تعديل وضعه عند حدوث تغير في حالة الاتزان؟

الخطوات



1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.

2. ضع حوالي 2 ml من محلول كلوريد الكوبلت $\text{CoCl}_2 \cdot \text{II}$ 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. سجل اللون الناتج.

5. أضف قرابة 2 ml من محلول كلوريد الكوبلت II 0.1M لأنبوب اختبار آخر. وأضف HCl المركز تدريجيًا (نقطة واحدة كل مرة) بحذر، إلى أن يتحول لون المحلول إلى البنفسجي. إذا أصبح لون المحلول أزرق فقم بإضافة

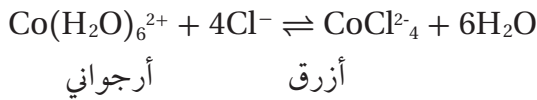
الماء حتى يتحول إلى اللون الأرجواني.

6. ضع أنبوب الاختبار في حمام ماء ثلج رُش عليه بعض ملح المائدة، وسجل لون المحلول في أنبوب الاختبار.

7. ضع أنبوب الاختبار في حمام ماء الساخن، واستعمل الثرمومتر غير زئبقي 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 خطوات من 2 إلى 4.



2. **صف** كيف يزاح الاتزان عند إضافة طاقة أو إزالتها؟

3. **استنتج** من ملاحظاتك حول اللون في الخطوات (6 و 7) ما إذا كان التفاعل ماصًا للحرارة أم طاردًا للحرارة؟

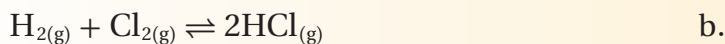
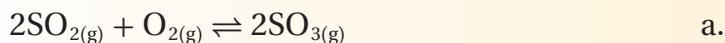
تقويم الدرس 5-2

الخلاصة

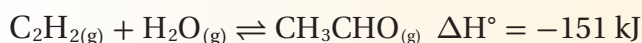
- مبدأ لوتشاتلييه يصف كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغيير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة إلى تغيير في التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان ولكن K_{eq} يبقى ثابتاً. والتغير في درجة الحرارة يغير الاثنين معاً: موضع الاتزان وقيمة K_{eq} .

13. الفكرة الرئيسية **فسر** كيف يستجيب النظام في حالة الاتزان إلى الجهد؟ واذكر العوامل التي تؤثر في نظام متزن.

14. **فسر** كيف يؤثر تقليل حجم وعاء التفاعل في كل نظام اتزان مما يأتي:



15. **قرر** ما إذا كان رفع درجة الحرارة أو خفضها ينتج المزيد من CH_3CHO في معادلة الاتزان الآتية:



16. **عرض** يظهر الجدول تراكيز مادتين A و B في خليطي تفاعل. يتفاعلان حسب المعادلة $2A \rightleftharpoons B$ و $K_{eq} = 200$. هل الميزان عند مواضع اتزان مختلفة؟

التركيز mol/l		
تفاعل	[A]	[B]
1	0.0100	0.0200
2	0.0500	0.500

17. **صمم** خريطة مفاهيمية توضح طرائق تطبيق مبدأ لوتشاتلييه لزيادة النواتج في نظام اتزان وزيادة المتفاعلات في النظام نفسه.

تساؤلات جوهرية

كيف يتم تحديد تراكيز الاتزان الكيميائي للمواد المتفاعلة والمواد الناتجة؟

كيف يتم حساب ذوبانية مركب من حاصل الذوبانية للناتج؟

ماذا يؤثر الأيون المشترك على ذوبانية المادة؟

مراجعة المفردات

الذوبانية: الكمية القصوى من المذاب التي تذوب في كمية من المذيب عند درجة حرارة وضغط محددتين.

المفردات الجديدة

ثابت حاصل الذوبانية الأيون المشترك تأثير الأيون المشترك

استعمال ثوابت الاتزان

Using Equilibrium Constants

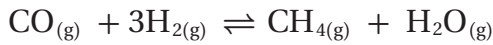
الفكرة الرئيسية يمكن استعمال تعابير ثوابت الاتزان في حساب تراكيز المواد

وذوبانيتها.

الربط مع الحياة هل جربت يوماً أن تجلس في المقعد الخلفي للسيارة الممتلئ مع عدد من زملائك؟ أنت تدرك أن هناك حدًا لعدد الأشخاص الذي يستطيعون الجلوس في المقعد. تواجه المركبات الأيونية الحالة نفسها عند ذوبانها في المحلول.

حساب التراكيز عند الاتزان Calculating Equilibrium Concentrations

كيف يمكن استعمال تعبير ثابت الاتزان في حساب تركيز ناتج ما؟ إذا كانت قيمة ثابت الاتزان K_{eq} لتفاعل تكون غاز الميثان CH_4 من تفاعل غاز الهيدروجين H_2 مع غاز أول أكسيد الكربون CO تساوي 3.933 عند درجة حرارة 1200 K. يمكنك حساب تركيز الميثان CH_4 إذا كانت تراكيز H_2O و CO و H_2 معروفة.



$$0.850 \text{ M} \quad 1.333 \text{ M} \quad ? \text{ M} \quad 0.286 \text{ M}$$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3}$$

للحصول على $[CH_4]$ اضرب طرفي المعادلة في $[CO][H_2]^3$ واقسم الطرفين على $[H_2O]$

$$[CH_4] = K_{eq} \times \frac{[CO][H_2]^3}{[H_2O]}$$

عوض التراكيز المعروفة وقيمة 3.933 K_{eq}

$$[CH_4] = 3.933 \times \frac{(0.850)(1.333)^3}{(0.286)} = 27.7 \text{ mol/l}$$

هل هذه الكمية الناتجة 27.7 mol/l عملية بحيث يمكن تحويل المتبقي من CO و H_2 إلى ميثان؟ هذا يعتمد على تكلفة الميثان. يوضح الشكل 5-16 عبارة تنقل الغاز الطبيعي إلى الموانئ حول العالم.

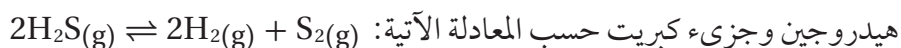
الشكل 5-16 تحمل ناقلات النفط كميات كبيرة من الغاز الطبيعي حول العالم لسد الاحتياجات الصناعية والمنزلية. الغاز الطبيعي (الميثان) يستعمل للتدفئة والطبخ.



الميثان

CH₄

حساب تراكيز الاتزان يتفكك كبريتيد الهيدروجين الذي يتميز برائحة كريهة تشبه رائحة البيض الفاسد عند 1405 K إلى



هيدروجين وجزء كبريت حسب المعادلة الآتية: 2.27×10^{-3} و تراكيز كل من $[\text{H}_2\text{S}] = 0.184 \text{ mol/l}$ و $[\text{S}_2] = 0.0540 \text{ mol/l}$ ؟

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت قيمة ثابت الاتزان K_{eq} وتراكيز مادتين من ثلاثة، لذا تستطيع حل معادلة الاتزان وحساب $[\text{H}_2]$. ولأن قيمة K_{eq} أقل من واحد؛ فإنه يوجد متفاعلات أكثر من النواتج في خليط الاتزان. ولذا تستطيع أن تتوقع أن يكون $[\text{H}_2]$ أقل من 0.184 mol/l ، وهو تركيز المتفاعل H_2S .

المعطيات

$$K_{\text{eq}} = 2.27 \times 10^{-3}$$

$$[\text{S}_2] = 0.0540 \text{ mol/l}$$

$$[\text{H}_2\text{S}] = 0.184 \text{ mol/l}$$

المطلوب

$$[\text{H}_2] = ? \text{ mol/l}$$

2 حساب المطلوب

ضع تعبير ثابت الاتزان

حل المسألة لإيجاد $[\text{H}_2]$

اضرب الطرفين بـ $[\text{H}_2\text{S}]^2$ من ثم اقسهما على $[\text{S}_2]$

$$\frac{[\text{H}_2]^2[\text{S}_2]}{[\text{H}_2\text{S}]^2} = K_{\text{eq}}$$

$$[\text{H}_2]^2 = K_{\text{eq}} \times \frac{[\text{H}_2\text{S}]^2}{[\text{S}_2]}$$

$$[\text{H}_2] = \sqrt{K_{\text{eq}} \times \frac{[\text{H}_2\text{S}]^2}{[\text{S}_2]}}$$

$$[\text{H}_2] = \sqrt{(2.27 \times 10^{-3}) \times \frac{(0.184)^2}{(0.0540)}}$$

$$[\text{H}_2] = 0.0377 \text{ mol/l}$$

أوجد الجذر التربيعي

عوض $K_{\text{eq}} = 2.27 \times 10^{-3}$ و $[\text{H}_2\text{S}] = 0.184 \text{ mol/l}$

$[\text{S}_2] = 0.0540 \text{ mol/l}$

اضرب واقسم

تركيز الاتزان لـ H_2 هو 0.0377 mol/l

3 تقويم الإجابة

الإجابة صحيحة، وكما هو متوقع تركيز H_2 عند الاتزان أقل من 0.184 mol/l

مسائل تدريبية

18. ينتج الميثانول عن تفاعل أول أكسيد الكربون مع الهيدروجين: $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ فإذا كان $K_{\text{eq}} = 10.5$ عند درجة حرارة محددة، احسب التراكيز الآتية:

a. $[\text{CO}]$ في خليط اتزان يحتوي على 0.933 mol/l H_2 و 1.32 mol/l CH_3OH

b. $[\text{H}_2]$ في خليط اتزان يحتوي على 1.09 mol/l CO و 0.325 mol/l CH_3OH

c. $[\text{CH}_3\text{OH}]$ في خليط اتزان يحتوي 0.0661 mol/l H_2 و 3.85 mol/l CO

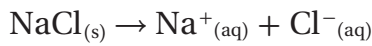
19. تحدد في التفاعل العام $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$ إذا سُمح لـ 1.0 mol/l من A بالتفاعل مع 1.0 mol/l من B في دورق حجمه 1 L إلى أن يصل إلى حالة اتزان. فإذا كان تركيز الاتزان لـ A هو 0.450 mol/l ، فما تركيز الاتزان لكل من المواد الأخرى؟ وما قيمة K_{eq} ؟



الشكل 5-17 المياه في البحيرات الكبيرة المالحة أكثر ملوحة من مياه البحر. ويزيد التركيز العالي للملح من كثافة الماء بشكل كافٍ يسمح للناس أن يطفوا على سطحها.

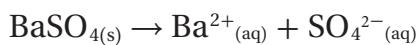
ثابت حاصل الذوبانية The Solubility Product Constant

بعض المركبات الأيونية - ومنها كلوريد الصوديوم - يذوب بسرعة في الماء وبعضها الآخر - ومنها كبريتات الباريوم $BaSO_4$ - يذوب قليلاً في الماء. عند الذوبان تتفكك جميع المركبات الأيونية إلى أيونات.

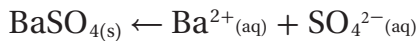


الربط مع علم الأرض بسبب الذوبانية العالية لكلوريد الصوديوم $NaCl$ ، تحتوي المحيطات وبعض البحيرات على كميات كبيرة من الملح. يوضح الشكل 5-17 كمية كبيرة من ملح الطعام نتجت عن جفاف مياه إحدى البحيرات. في بعض الأحيان تكون الذوبانية المنخفضة مهمة أيضاً؛ فرغم أن أيونات الباريوم مادة سامة للإنسان إلا أنه يجب أن يشرب المرضى كبريتات الباريوم قبل التعرض للأشعة السينية لأخذ صور للجهاز الهضمي. هل يمكن أن يشرب المريض $BaSO_4$ بشكل آمن؟

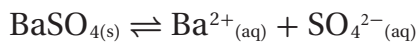
تتفكك كبريتات الباريوم في الماء وفقاً للمعادلة الآتية:



وحيث تتكون الأيونات الناتجة يبدأ التفاعل العكسي يحدث.



ومع الوقت يصل التفاعل إلى حالة الاتزان



تكون سرعة الذوبان للمركبات القليلة الذوبان - ومنها $BaSO_4$ - متساوية عندما تكون تراكيز الأيونات صغيرة إلى أقصى حد. ومع ذلك يكون المحلول عند الاتزان محلولاً مشبعاً.

كتابة تعبير ثابت حاصل الذوبانية يسمى تعبير ثابت الاتزان للمركبات القليلة الذوبان "ثابت حاصل الذوبانية"، وهو ناتج ضرب تراكيز الأيونات الذائبة كل منها مرفوع لأس يساوي معاملها في المعادلة الكيميائية. أن تركيز المادة النقية يعبر عن



الشكل 5-18 هناك احتمال أفضل للتشخيص عند التعرض للأشعة السينية في منطقة المعدة عند شرب المريض خليطاً كثيفاً يحتوي على كبريتات الباريوم، وهي مادة سامة. ولكن لأن ذوبانيتها قليلة فكمية قليلة منه يمكن أن تذوب في جسم المريض دون أي ضرر.

كثافتها بوحدة mol/l، ويكون ثابتاً عند درجة حرارة محددة. ولذلك يتم حذف المواد الصلبة والسوائل النقية في الاتزان غير المتجانس من تعابير ثوابت الاتزان. والآن تستطيع كتابة تعبير ثابت حاصل الذوبانية لكبريتات الباريوم الذائبة في الماء، إذا كان K_{sp} لهذه العملية 1.1×10^{-10} عند درجة حرارة 298 K.

$$K_{sp} = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}] = 1.1 \times 10^{-10}$$

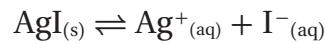
يدل مقدار قيمة K_{sp} الصغير لـ $BaSO_4$ على أن النواتج لا تزداد تراكيزها عند الاتزان؛ إذ تركز أيونات الباريوم عند الاتزان $1.0 \times 10^{-5} M$ ، مما يمكن المريض كما هو موضح في الشكل 5-18 من تناول محلول كبريتات الباريوم بأمان. وعلى سبيل المثال أيضاً، ثابت حاصل الذوبانية لمضاد الحموضة هيدروكسيد الماغنيسيوم $Mg(OH)_2$:



$$K_{sp} = [Mg^{2+}][OH^{-}]^2$$

تعتمد قيمة K_{sp} فقط على تراكيز الأيونات في المحلول المشبع. إلا أن بعض المواد الصلبة غير الذائبة مهما بلغ صغر كميتها، يجب أن تكون موجودة في خليط الاتزان. يعرض الجدول 5-3 ثوابت حاصل الذوبانية لنواتج بعض المركبات الأيونية. لاحظ أن جميعها أرقام صغيرة. لذا تقاس ثوابت حاصل الذوبانية للنواتج وتسجل فقط للمركبات القليلة الذوبان. **استعمال ثابت حاصل الذوبانية** تم تحديد ثابت حاصل الذوبانية للنواتج الموجودة في الجدول 5-3 من خلال إجراء تجارب. وتعد قيم K_{sp} مهمة؛ لأنه يمكن استعمالها في تحديد ذوبانية المركبات القليلة الذوبان. تذكر أن ذوبانية مركب ما في الماء تعني كمية المادة التي تتفكك في حجم معين من الماء عند درجة حرارة معينة.

افتراض أنك تريد حساب ذوبانية يوديد الفضة AgI بوحدة mol/l عند 298 K، إذا عرفت أن معادلة الاتزان وصيغة ثابت حاصل الذوبانية.



$$K_{sp} = [Ag^{+}][I^{-}] = 8.5 \times 10^{-17} \quad 298 K$$

يمكن الإشارة إلى ذوبانية يوديد الفضة AgI بـ s ، وهي عدد مولات AgI التي تذوب في 1L من المحلول. وبالنظر إلى معادلة الاتزان نجد أن لكل مول من AgI يذوب عدد مساو من المولات من أيونات Ag^{+} التي تتكون في المحلول. لذا $[Ag^{+}]$ يساوي s . وكل أيون Ag^{+} له أيون مصاحب I^{-} ، لذا $[I^{-}]$ يساوي s .

عند التعويض بـ s بدلاً من $[Ag^{+}]$ و $[I^{-}]$ ، تصبح صيغة K_{sp} كالآتي:

$$[Ag^{+}][I^{-}] = (s)(s) = s^2 = 8.5 \times 10^{-17}$$

$$s = \sqrt{8.5 \times 10^{-17}} = 9.2 \times 10^{-9} \text{ mol/l}$$

ذوبانية AgI هي $9.2 \times 10^{-9} \text{ mol/l}$ عند 298 K.

K _{sp}	المركب	K _{sp}	المركب	K _{sp}	المركب
الهيدروكسيدات		الهاليدات		الكربونات	
4.6×10^{-33}	Al(OH) ₃	3.5×10^{-11}	CaF ₂	2.6×10^{-9}	BaCO ₃
5.0×10^{-6}	Ca(OH) ₂	6.6×10^{-6}	PbBr ₂	3.4×10^{-9}	CaCO ₃
2.2×10^{-20}	Cu(OH) ₂	1.7×10^{-5}	PbCl ₂	2.5×10^{-10}	CuCO ₃
4.9×10^{-17}	Fe(OH) ₂	3.3×10^{-8}	PbF ₂	7.4×10^{-14}	PbCO ₃
2.8×10^{-39}	Fe(OH) ₃	9.8×10^{-9}	PbI ₂	6.8×10^{-6}	MgCO ₃
5.6×10^{-12}	Mg(OH) ₂	1.8×10^{-10}	AgCl	8.5×10^{-12}	Ag ₂ CO ₃
3×10^{-17}	Zn(OH) ₂	5.4×10^{-13}	AgBr	1.5×10^{-10}	ZnCO ₃
الكبريتات		8.5×10^{-17}	AgI	3.6×10^{-17}	Hg ₂ CO ₃
1.1×10^{-10}	BaSO ₄	الفوسفات		الكرومات	
4.9×10^{-5}	CaSO ₄	9.8×10^{-21}	AlPO ₄	1.2×10^{-10}	BaCrO ₄
2.5×10^{-8}	PbSO ₄	2.1×10^{-33}	Ca ₃ (PO ₄) ₂	2.3×10^{-13}	PbCrO ₄
1.2×10^{-5}	Ag ₂ SO ₄	1.0×10^{-24}	Mg ₃ (PO ₄) ₂	1.1×10^{-12}	Ag ₂ CrO ₄

مثال 5-5

حساب الذوبانية المولارية استعمال قيمة K_{sp} في الجدول 5-3 لحساب ذوبانية mol/l كربونات النحاس CuCO₃ II عند 298 K.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت ثابت حاصل الذوبانية لـ CuCO₃. تمثل تراكيز أيون النحاس وأيون الكربونات علاقة واحد - إلى واحد مع الذوبانية المولارية لـ CuCO₃. استعمال s لتمثيل الذوبانية لـ CuCO₃، ثم استعمال صيغة ثابت حاصل الذوبانية لإيجاد الذوبانية. ولأن K_{sp} في صورة 10⁻¹⁰، لذا يمكنك توقع أن تكون الذوبانية المولارية الجذر التربيعي لـ K_{sp} أو حوالي 10⁻⁵.

المعطيات

$$K_{sp} = \text{CuCO}_3 = 2.5 \times 10^{-10}$$

المطلوب

$$s = ? \text{ mol/l}$$

2 حساب المطلوب

ضع معادلة كيميائية لاتزان الذوبانية.

ضع صيغة ثابت حاصل الذوبانية.

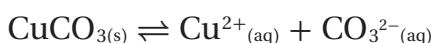
اربط [Cu²⁺] و [CO₃²⁻] بـ ذوبانية CuCO₃

عوض s بدلاً من [Cu²⁺] و [CO₃²⁻]

حل لإيجاد s واحسب الإجابة

3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع، الذوبانية المولارية لـ CuCO₃ حوالي 10⁻⁵ mol/l



$$K_{sp} = [\text{Cu}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = 2.5 \times 10^{-10}$$

$$s = [\text{Cu}^{2+}] = [\text{CO}_3^{2-}]$$

$$(s)(s) = s^2 = 2.5 \times 10^{-10}$$

$$s = \sqrt{2.5 \times 10^{-10}} = 1.6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$

20. استعمل البيانات في الجدول 3-5 لحساب الذوبانية المولارية mol/l للمركبات الأيونية الآتية عند درجة حرارة 298 K
 a. $PbCrO_4$. b. $AgCl$. c. $CaCO_3$

21. تحدّد إذا علمت أن K_{sp} لكاربونات الرصاص $PbCO_3$ يساوي 7.40×10^{-14} عند 298 K، فما ذوبانية كربونات الرصاص g/l؟

مثال 5-6

حساب تركيز الأيون هيدروكسيد الماغنيسيوم مادة صلبة بيضاء يمكن الحصول عليها من مياه البحر واستعمالها في صنع الكثير من الأدوية الطبية. وخصوصاً في الأدوية التي تعمل على معادلة حموضة المعدة الزائدة. احسب تركيز أيون الهيدروكسيد في محلول هيدروكسيد الماغنيسيوم المشبع $Mg(OH)_2$ عند 298 K إذا علمت أن $K_{sp} = 5.6 \times 10^{-12}$.

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت K_{sp} لـ $Mg(OH)_2$ ، عدد مولات أيونات Mg^{2+} في المحلول تساوي عدد مولات $Mg(OH)_2$ الذائبة. ولكن عدد مولات أيونات OH^- في المحلول تساوي ضعف عدد مولات $Mg(OH)_2$ الذائبة. يمكنك استعمال هذه العلاقات لكتابة صيغة ثابت حاصل الذوبانية في صورة متغير واحد. ولأن صيغة ثابت حاصل الذوبانية معادلة تكعيبية، يمكنك توقع أن $[OH^-]$ تساوي تقريباً الجذر التكعيبي لـ 10^{-12} أو حوالي 10^{-4} .

المعطيات

$$K_{sp} = 5.6 \times 10^{-12}$$

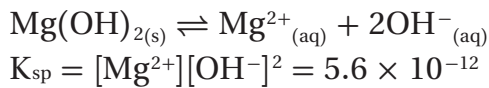
المطلوب

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

2 حساب المطلوب

اكتب معادلة كيميائية موزونة للاتزان

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 $[OH^-] = 2x$

عوض عن $[OH^-] = 2x$ عن $[Mg^{2+}] = x$

$$(x)(2x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

$$(x)(4)(x)^2 = 5.6 \times 10^{-12}$$

$$4x^3 = 5.6 \times 10^{-12}$$

$$x^3 = \frac{5.6 \times 10^{-12}}{4} = 1.4 \times 10^{-12}$$

$$x = [Mg^{2+}] = \sqrt[3]{1.4 \times 10^{-12}} = 1.1 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$$

استعمل الآلة الحاسبة لإيجاد الجذر التكعيبي

اضرب $[Mg^{2+}]$ في 2 للحصول على $[OH^-]$

$$[OH^-] = 2[Mg^{2+}] = 2(1.1 \times 10^{-4} \text{ mol/l}) = 2.2 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$$

3 تقويم الإجابة

كما هو متوقع $[OH^-]$ حوالي 10^{-4} mol/l

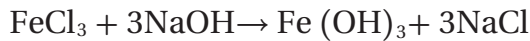
22. استعمل قيم K_{sp} الموجودة في الجدول 3-5 لحساب:

a. $[Ag^+]$ في محلول $AgBr$ عند الاتزان. b. $[F^-]$ في محلول مشبع من CaF_2 . c. $[Ag^+]$ من Ag_2CrO_4 عند الاتزان.

23. احسب ذوبانية Ag_3PO_4 إذا علمت أن قيمة K_{sp} له تساوي 8.9×10^{-17} .

24. تحدّد ذوبانية كلوريد الفضة تساوي $1.86 \times 10^{-4} \text{ g/100 g}$ في الماء عند درجة حرارة 298 K. احسب K_{sp} لـ $AgCl$ ، علماً بأن كثافة الماء تساوي 1 g/ml .

توقع الرواسب إذا تم خلط أحجام متساوية من محاليل مائية تركيز كل منها 0.10M من كلوريد الحديد III $FeCl_3$ مثلاً، وهيدروكسيد الصوديوم NaOH يتكون راسب بني محمر، كما هو مبين في الشكل 19-5. فيحدث تفاعل الإحلال المزدوج الآتي:



يمكنك أن تستعمل K_{sp} لتتوقع ما إذا يتكون راسب عند خلط أي محلولين أيونيين. في التفاعل السابق، يمكن أن يتكون راسب في حال أن الناتج NaCl أو $Fe(OH)_3$ له ذوبانية قليلة. تعرف أن NaCl مركب ذائب، لذا لا يمكنه أن يترسب. ولكن K_{sp} لـ $Fe(OH)_3$ يكون رقماً صغيراً جداً وهو 2.8×10^{-39} ، وهو ما قد يجعل $Fe(OH)_3$ يترسب إذا كانت تراكيز أيوناته كبيرة بشكل كافٍ. ماذا نعني بكبيرة بشكل كافٍ؟

من الممكن أن يحدث اتزان ما بين الراسب الصلب $Fe(OH)_3$ وأيوناته في المحلول، كما هو مبين في المعادلة:



فعند خلط محاليل $FeCl_3$ و NaOH، وإذا كانت تراكيز أيونات Fe^{3+} و OH^{-} أكبر من تراكيزها الناتجة في المحلول المشبع لـ $Fe(OH)_3$ فسيزاح في هذه الحالة الاتزان نحو اليسار، وسوف يترسب $Fe(OH)_3$. ولتوقع تكوّن راسب عند خلط محلولين عليك أولاً أن تحسب تراكيز الأيونات.

👉 **ماذا قرأت؟** وضح الظروف التي تتمكنك من توقع تكون راسب.

حساب تراكيز الأيون يوضح الجدول 4-5 تراكيز أيونات المتفاعلات والنواتج في المحاليل الأصلية 0.10M NaOH و 0.10M $FeCl_3$ ، وأيضاً في الخليط فور خلط المحلولين بحجوم متساوية. لاحظ أن $[Cl^{-}]$ أكبر ثلاث مرات من $[Fe^{3+}]$ ؛ لأن نسبة Cl^{-} إلى Fe^{3+} في $FeCl_3$ هي 3:1. ولاحظ أيضاً أن $[Na^{+}]$ يساوي $[OH^{-}]$ ؛ لأن نسبة Na^{+} إلى OH^{-} تساوي 1:1. إضافة إلى ذلك، لاحظ أن تركيز كل أيون في الخليط هو نصف تركيزه الأصلي؛ وذلك لأنه عند خلط حجمين متساويين من محلولين، فإن نفس عدد الأيونات سوف يذوب في ضعف الحجم الأصلي. ولذلك يقل التركيز بمقدار النصف.

والآن بإمكانك استعمال البيانات الموجودة في الجدول لتحاول معرفة ما إذا كانت تراكيز Fe^{3+} و OH^{-} في محلول خليط من كليهما تفوق قيمة K_{sp} عند تعويضهما في تعبير ثابت ذوبانية الناتج. $K_{sp} = [Fe^{3+}][OH^{-}]^3$

الجدول 4-5	تراكيز الأيونات
المحلول الأصلي mol/l	الخليط mol/l
$[Fe^{3+}] = 0.10$	$[Fe^{3+}] = 0.050$
$[Cl^{-}] = 0.30$	$[Cl^{-}] = 0.15$
$[Na^{+}] = 0.10$	$[Na^{+}] = 0.05$
$[OH^{-}] = 0.10$	$[OH^{-}] = 0.050$

الشكل 19-5 ولأن ثابت الأيون الناتج Q_{sp} أكبر من K_{sp} يمكنك أن تتوقع أن $Fe(OH)_3$ سيكون راسباً.



تذكر أنك لم تحدد ما إذا كان المحلول مشبعاً أم لا، ولذا فإن ناتج عملية التعويض لا يكون بالضرورة ثابت حاصل الذوبانية الناتج، ولكنه يسمى الحاصل الأيوني Q_{sp} ، وهو قيمة مجرّبة نستطيع مقارنتها بـ K_{sp}

$$Q_{sp} = [Fe^{3+}] [OH^{-}]^3 = (0.050)(0.050)^3 = 6.25 \times 10^{-8}$$

يمكنك الآن مقارنة Q_{sp} بـ K_{sp} ، ومن هذه المقارنة يمكن أن نستنتج إحدى ثلاثة أمور: Q_{sp} أقل من K_{sp} ، أو مساوٍ لـ K_{sp} ، أو أكبر من K_{sp} .

1. إذا كان $Q_{sp} < K_{sp}$ فإن المحلول غير مشبع، ولا يتكون راسب.

2. إذا كان $Q_{sp} = K_{sp}$ فإن المحلول مشبع، ولا يحدث تغير.

3. إذا كان $Q_{sp} > K_{sp}$ ، فسوف يتكون راسب، وتقل تراكيز الأيونات في المحلول حتى يصبح ناتج ضرب تراكيز الأيونات في تعبير K_{sp} يساوي القيمة العددية لـ K_{sp} . ويكون النظام في حالة اتزان، والمحلول مشبعاً. في حالة الاتزان لـ $Fe(OH)_3$ ، يكون $Q_{sp} = 6.25 \times 10^{-6}$ أكبر من K_{sp} الذي يساوي 2.8×10^{-39} ، فيتكون راسب بني محمر اللون، هو $Fe(OH)_3$ ، كما هو موضح في الشكل 19-5.

مثال 5-7

توقع تكون راسب توقع ما إذا كان سيتكون راسب $PbCl_2$ عند إضافة 100 ml من 0.0100 M NaCl إلى 100 ml من $Pb(NO_3)_2$ 0.0200 M علماً بأن K_{sp} للمركب يساوي 1.7×10^{-5}

1 تحليل المسألة

لقد أعطيت حجمين متساويين من محلولين تركيزهما معلومين. التراكيز الأولية للمحاليل تسمح لك بحساب تراكيز أيونات Pb^{2+} و Cl^{-} في المحلول الناتج عن خلطهما.

المعطيات

100 ml من 0.0100 M NaCl

100 ml من 0.0200 M $Pb(NO_3)_2$

$$K_{sp} = 1.7 \times 10^{-5}$$

المطلوب

$$Q_{sp} > K_{sp}?$$

2 حساب المطلوب

ضع معادلة ذوبان $PbCl_2$

ضع صيغة Q_{sp}

مزج المحاليل يخفف تركيزها إلى النصف.

اقسم $[Pb^{2+}]$ على 2

اقسم $[Cl^{-}]$ على 2

عوض عن $[Pb^{2+}] = 0.0100M$ ، $[Cl^{-}] = 0.00500M$

قارن Q_{sp} بـ K_{sp}

لذا لا يتكون الراسب

3 تقويم الإجابة

Q_{sp} أقل من K_{sp} . الأيونات Pb^{2+} و Cl^{-} لا توجد بتراكيز عالية بقدر كافٍ في المحلول لتكون راسب.

25. استعمل قيم K_{sp} من الجدول 3-5 لتتوقع ما إذا كان سيتكون راسب عند خلط كميات متساوية من المحاليل الآتية:

a. $0.10M Pb(NO_3)_2$ و $0.030M NaF$

b. $0.25M K_2SO_4$ و $0.010M AgNO_3$

26. تحدّد هل يتكون راسب عند إضافة $250 ml$ من $0.20 M MgCl_2$ إلى $750 ml$ من $0.0025 M NaOH$

تأثير الأيون المشترك The Common Ion Effect

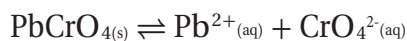
ذوبانية كرومات الرصاص $PbCrO_4$ في الماء تساوي $4.8 \times 10^{-7} mol/l$ عند درجة الحرارة $298 k$. وهذا يعني أنك تستطيع تفكيك وإذابة $4.8 \times 10^{-7} mol$ من $PbCrO_4$ في $1.00 L$ من الماء النقي.

ولكنك لا تستطيع إذابة $4.8 \times 10^{-7} mol$ من $PbCrO_4$ عند درجة الحرارة نفسها في $1.00L$

من محلول كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 الذي تركيزه $0.10M$

لماذا يعد $PbCrO_4$. أقل ذوبانية في المحلول المائي لـ K_2CrO_4 من الماء النقي؟

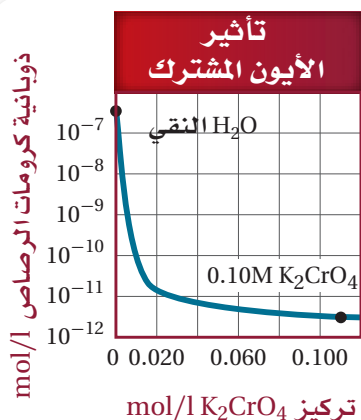
معادلة اتزان الذوبانية لـ $PbCrO_4$ ، وتعبير ثابت حاصل الذوبانية:



$$K_{sp} = [Pb^{2+}][CrO_4^{2-}] = 2.3 \times 10^{-13}$$

تذكر أن K_{sp} ثابت عند أي درجة حرارة معطاة، لذا إذا ازداد تركيز Pb^{+2} أو تركيز CrO_4^{2-} في نظام متزن فإن تركيز الأيون الآخر سوف يقل؛ لأن ناتج ضرب تراكيز الأيونين يساوي دائماً K_{sp} . فمحلول K_2CrO_4 يحتوي على أيونات CrO_4^{2-} قبل أن تتم إذابة $PbCrO_4$. وفي هذا المثال، أيون CrO_4^{2-} يسمى أيوناً مشتركاً، لأنه جزء من المركبين K_2CrO_4 و $PbCrO_4$.

يوضح الشكل 20-5 أثر الأيون المشترك CrO_4^{2-} في ذوبانية $PbCrO_4$. الأيون المشترك هو أيون مشترك بين اثنين أو أكثر من المركبات الأيونية. ويسمى انخفاض ذوبانية المادة بسبب وجود أيون مشترك تأثير الأيون المشترك.



$$H_2O \text{ النقي} : [Pb^{2+}] = 4.8 \times 10^{-7} mol/l$$

$$[CrO_4^{2-}] = 4.8 \times 10^{-7} mol/l$$

$$0.10M K_2CrO_4: [Pb^{2+}] = 2.3 \times 10^{-12} mol/l$$

$$[CrO_4^{2-}] = 1.00 \times 10^{-1} mol/l$$

الشكل 20-5 تقل ذوبانية كرومات الرصاص كلما زاد تركيز محلول كرومات البوتاسيوم الذائبة فيه. التغير ناتج عن وجود أيون CrO_4^{2-} في كل من كرومات الرصاص وكرومات البوتاسيوم.

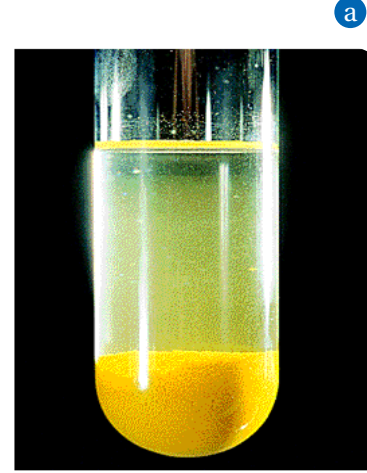
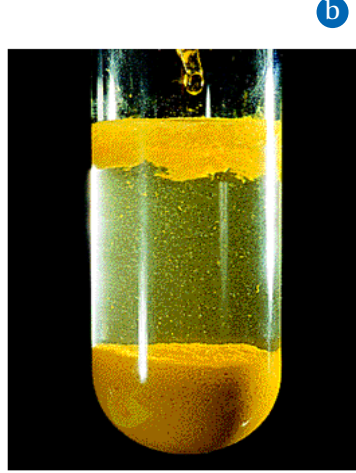
اختبار الرسم البياني؟ تحقق أنّ K_{sp} لا يتغير مع زيادة تركيز كرومات البوتاسيوم. ✓

الشكل 5-21 لرؤية أثر إضافة أيونات الكرومات

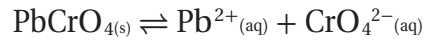
على ذوبانية كرومات الرصاص. إضافة أيونات Pb^{2+} في صورة نترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$ تؤثر أيضًا في ذوبانية كرومات الرصاص. في الصورة

a. $PbCrO_4(s)$ في حالة اتزان مع أيوناته في المحلول. في الصورة

b. يتأثر الاتزان عند إضافة $Pb(NO_3)_2$ ، مما يؤدي إلى تكون المزيد من راسب $PbCrO_4$.



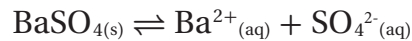
تطبيق مبدأ لوشاتيليه يوضح الشكل a 5-21 المحلول المشبع لكرومات الرصاص $PbCrO_4$. لاحظ المادة الصلبة الصفراء $PbCrO_4$ في قاع الكأس؛ فهي في حالة اتزان مع المحلول، كما هو موضح في المعادلة الآتية:



عندما يضاف محلول من $Pb(NO_3)_2$ إلى محلول مشبع من $PbCrO_4$ ، يترسب المزيد من $PbCrO_4$ الصلب، كما هو موضح في الشكل b 5-21؛ وذلك لأن أيونات Pb^{+2} المشتركة بين المادتين $Pb(NO_3)_2$ و $PbCrO_4$ ، تقلل من الذوبانية لـ $PbCrO_4$.. هل يمكن تفسير ترسيب $PbCrO_4$ وفقًا لمبدأ لوشاتيليه؟

إن إضافة أيون Pb^{+2} إلى اتزان الذوبانية يزيد من جهد الاتزان. ولإزالة الجهد، يزاح الاتزان نحو اليسار لتكوين المزيد من الراسب الصلب $PbCrO_4$.

يلعب تأثير الأيون المشترك أيضًا دورًا عند تناول $BaSO_4$ من أجل أخذ أشعة سينية للجهاز الهضمي. إن الذوبانية المنخفضة لـ $BaSO_4$ تساعد على التأكد من أن كمية أيون الباريوم السام الممتص من قبل الجهاز الهضمي للمريض قليلة لدرجة غير مؤذية. ولزيادة من الوقاية يتم إضافة كبريتات الصوديوم Na_2SO_4 ، وهو مركب أيوني ذائب يوفر الأيون المشترك SO_4^{2-}



حسب مبدأ لوشاتيليه فإن أيون SO_4^{2-} الذي مصدره Na_2SO_4 يعمل على إزاحة الاتزان نحو اليسار، لإنتاج المزيد من $BaSO_4$ الصلب، ويقلل عدد أيونات Ba^{2+} الضارة في المحلول.

مختبر تحليل البيانات

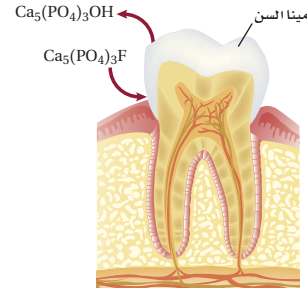
تطبيق التفسيرات العلمية

فهي عملية عكسية تحدث عندما يوجد هيدروكسي الأباتيت في محلول مع أيونات الفلوريد؛ إذ يحدث تفاعل إحلال مزدوج يستبدل أيون الفلوريد بأيون الهيدروكسيد لتكوين فلوروأباتيت $K_{sp} = 1 \times 10^{-60} \text{ Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$. يعيد الفلوروأباتيت بناء مينا الأسنان، ولذلك فإنه محل جزئياً محل هيدروكسي الأباتيت، حيث الفلوروأباتيت أقل ذوبانية من هيدروكسيد الأباتيت فتقل عملية هدم المينا وإتلافها.

التفكير الناقد

1. اكتب معادلة ذوبان هيدروكسي الأباتيت وتعبير ثابت الاتزان له. كيف تختلف الظروف في الفم عن الظروف في الاتزان الفعلي؟
2. اكتب معادلة تصف تفاعل الإحلال المزدوج الذي يحدث بين هيدروكسي الأباتيت وفلوريد الصوديوم.
3. احسب ذوبانية هيدروكسي الأباتيت والفلوروأباتيت في الماء، ثم قارن ذوبانيتها.

كيف يمنع أيون الفلوريد تسوس الأسنان؟ إن أغلب الناس يستعملون معجون أسنان يحتوي على فلوريد الصوديوم، أو فلوريد القصدير II. استعمل معرفتك بذوبانية المركبات الأيونية والتفاعلات العكسية لكشف ومعرفة دور أيون الفلوريد في حفظ الأسنان من التسوس.



التحليل

تتكون مينا الأسنان من 98% من هيدروكسي الأباتيت $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$. على الرغم من أنه مادة غير ذائبة في الماء $K_{sp} = 6.8 \times 10^{-37}$ إلا أن تحلل المينا ينتج عن ذوبان هيدروكسي الأباتيت، وخصوصاً عندما يحتوي اللعاب على أحماض. أما عملية بناء مينا الأسنان

تقويم الدرس 3-5

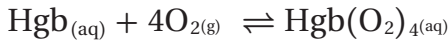
الخلاصة

27. الفكرة الرئيسية: اكتب المعلومات التي تحتاج إليها لحساب تركيز ناتج في خليط التفاعل عند الاتزان.
 28. فسر كيف تستخدم ثابت حاصل الذوبانية في حساب ذوبانية مركب أيوني قليل الذوبان.
 29. صف كيف يقلل وجود الأيون المشترك ذوبانية المركب الأيوني.
 30. وضح الفرق بين K_{sp} و Q_{sp} . وهل يعد Q_{sp} ثابت اتزان؟
 31. احسب ذوبانية كربونات المغنيسيوم MgCO_3 في الماء النقي إذا كان K_{sp} يساوي 2.6×10^{-9} .
 32. صمم تجربة اعتماداً على الذوبانية لتوضح أي الأيونين Mg^{2+} أو Pb^{2+} يوجد في محلول مائي؟
- تراكيز الاتزان والذوبانية يمكن حسابها باستعمال تعبير ثابت الاتزان.
 - يصف K_{sp} الاتزان بين مركب أيوني قليل الذوبانية وأيوناته في محلول.
 - إذا كان الحاصل الأيوني Q_{sp} أكبر من K_{sp} عند خلط محلولين فسوف يتكون راسب.
 - وجود الأيون المشترك في محلول يقلل ذوبانية المادة المذابة.



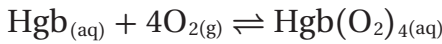
الشكل 2 على قمة إفرست، يمكن للمتسلق الصعود إلى مخيم II، ثم ينزل إلى المخيم الأرضي، ثم يصعد إلى المخيم (III)؛ استعداداً للوصول إلى أعلى القمة.

في الجبال In the mountains يستجيب الاتزان لجهد هواء الجبال بإنتاج الأكسجين بسرعة عالية. ويتم إزاحة الاتزان إلى اليسار محزراً جزيئات الأكسجين في الرئة، تاركاً القليل من الهيموجلوبين المتأكسد في الدم



تركيز الهيموجلوبين المؤكسج المنخفض في الدم يعني أن جزيئات الأكسجين تحررت في أجزاء أخرى من الجسم. ولأن مقدار الطاقة الناتج قليل لذا تشعر بالإعياء.

تكيفات الجسم The body adjusts يستجيب جسمك لتركيز الأكسجين المنخفض عن طريق إنتاج المزيد من الهيموجلوبين. يُعرف جزء من هذه العملية بالتأقلم؛ إذ يعمل المزيد من الهيموجلوبين على إزاحة الاتزان نحو اليمين



يعني التركيز المتزايد لـ $\text{Hgb}(\text{O}_2)_{4(aq)}$ أن المزيد من جزيئات الأكسجين تنطلق في أنسجة الجسم. يوضح الشكل 2 أين يمكن للمتسلقين أن يؤقلموا أجسامهم على الارتفاعات العالية قبل البدء في صعود القمة.

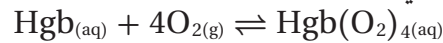
الكتابة في الكيمياء ابحث عن أزمة الاختناق عند النوم، كيف يمكن لحدوث الاختناق أن يؤثر في اتزان هيموجلوبين الجسم؟.

ارتفاع الهيموجلوبين إلى مستوى التحدي

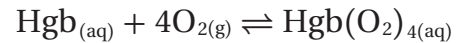
عندما يسافر الناس إلى الجبال يشعرون عادة بالتعب، ويصابون بدوار. والسبب في ذلك هو أن هواء الجبل يحتوي على القليل من جزيئات الأكسجين، كما هو موضح في الشكل 1. ومع مرور الوقت يقل الإعياء؛ لأن الجسم يتكيف مع هذا النقص في الأكسجين بإنتاج المزيد من البروتين الذي يسمى الهيموجلوبين.

اتزان الهيموجلوبين-أكسجين Hemoglobin-oxygen equilibrium

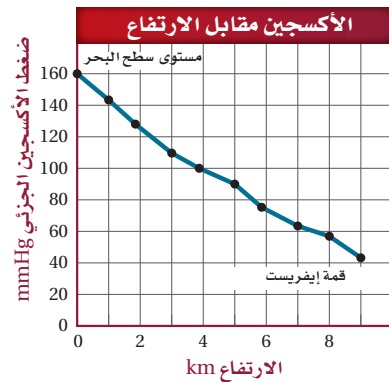
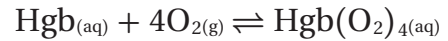
يرتبط الهيموجلوبين Hgb بجزيئات الأكسجين التي تدخل دورة الدم في جسمك. منتجاً الهيموجلوبين المؤكسج $\text{Hgb}(\text{O}_2)_4$ ، ويمكن تمثيل اتزان Hgb و O_2 في المعادلة الآتية:



في المرتين عندما تنفَس تتحرك جزيئات الأكسجين إلى دمك، ويستجيب الاتزان للجهد باستهلاك جزيئات الأكسجين بسرعة عالية. ويتم إزاحة الاتزان نحو اليمين، ويزداد تركيز $\text{Hgb}(\text{O}_2)_4$ في الدم.



في الأنسجة عندما يصل $\text{Hgb}(\text{O}_2)_4$ إلى أنسجة الجسم التي يكون فيها تركيز الأكسجين منخفضاً يزاح الاتزان نحو اليسار، ويتحرر الأكسجين ليسمح لحدوث عملية الأيض التي من شأنها توليد الطاقة.



الشكل 1 يكون الضغط الجزئي لـ O_2 في القمة أكثر انخفاضاً. وكل نفس يستنشقه الإنسان يحتوي على جزيئات O_2 قليلة.

* للاطلاع فقط

مختبر الكيمياء

ثابت حاصل الذوبانية

الخلفية من خلال ملاحظة تكون راسبين في نفس النظام، يمكن استنتاج العلاقة بين ذوبانية مركبين أيونيين والقيم العددية لثوابت حاصل الذوبانية لهما K_{sp} .

السؤال كيف تستطيع استعمال مبدأ لوشاتيليه لتقويم الذوبانية النسبية لراسبين؟

المواد والأدوات اللازمة

محلول $AgNO_3$ محلول $NaCl$

محلول Na_2S طبق تفاعلات بلاستيكي ذو 24 فجوة

3 قطرات نحيفة الساق

إجراءات السلامة

تحذير: نترات الفضة عالي السمية، ويخلف بقعاً على الجلد والملابس. كبريتيد الصوديوم مهيج للجلد و يجب إبقاؤه بعيداً عن الأحماض.

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. ضع 10 قطرات من محلول $AgNO_3$ في الفجوة A1 من طبق التفاعلات. وضع 10 قطرات من نفس المحلول في الفجوة A2.
3. أضف 10 قطرات من محلول $NaCl$ إلى الفجوة A1 و 10 قطرات في فجوة A2.
4. دع الرواسب تتكون. لاحظ الفجوات من أعلى ومن الجانب، وسجل ملاحظاتك.
5. أضف 10 قطرات من محلول Na_2S إلى الفجوة A2.
6. دع الراسب يتكون، سجل ملاحظاتك عن الراسب.
7. قارن محتوى الفجوتين A1، و A2 وسجل ملاحظاتك.
8. التخلص من النفايات استعمال قارورة الغسل لنقل محتوى طبق التفاعلات البلاستيكي إلى وعاء النفايات.

حلل واستنتج

1. حلل اكتب المعادلة الكاملة للتفاعل الذي حدث عند مزج $NaCl$ و $AgNO_3$ في الخطوة 3، و اكتب المعادلة الأيونية النهائية.



2. حلل اكتب تعبير ثابت حاصل الذوبانية للاتزان الذي نشأ في الفجوتين A1 و A2 في خطوة 3.
3. حلل اكتب معادلة للاتزان الذي نشأ في الفجوة A2 عندما أضفت Na_2S .
4. تعرّف الراسبين من خلال اللون.
5. قارن قيم K_{sp} للراسبين، أي المركبين الأيونيين أكثر ذوبانية؟
6. أدرك النتيجة والسبب استعمال مبدأ لوشاتيليه لتفسير تأثير إضافة Na_2S في الخطوة 5 في الاتزان في الفجوة A2.
7. احسب الذوبانية المولارية للراسبين باستعمال قيم K_{sp} . أي الراسبين أكثر ذوباناً؟
8. حدد الدليل الذي يدعم إجابتك للسؤال 7؟ فسر إجابتك.
9. تحليل الخطأ قارن ملاحظاتك عند النظر إلى طبق التفاعلات من أعلى بملاحظاتك عند النظر من جنب. ماذا تلاحظ؟
10. ابحث كيف أن الصناعات تستعمل الترسيب لإزالة الكيمياءات الخطرة من مياه الصرف الصحي؟

الإستقصاء

المركبات الذائبة مقابل المركبات غير الذائبة المواد المتفاعلة التي استعملتها في مختبر الكيمياء جميعها مركبات أيونية ذائبة والرواسب غير ذائبة. كيف يختلف Na_2S الذائب عن Ag_2S غير الذائب؟ كيف يختلف $NaCl$ الذائب عن $AgCl$ غير الذائب؟ استعمل معلومات K_{sp} في الجدول 3-5. وارجع إلى مصادر أخرى للكشف وتعرف القوانين العامة للذوبانية.

الفكرة العامة تصل الكثير من التفاعلات والعمليات إلى حالة من الاتزان الكيميائي، حيث تتكون كل من المواد المتفاعلة والناجمة بسرعات متساوية.

5-1 حالة الاتزان الديناميكي

الفكرة الرئيسية

- يوصف الاتزان الكيميائي بتعبير ثابت الاتزان والذي يربط تراكيز المتفاعلات والنواتج.
- يكون التفاعل في حالة اتزان إذا كانت سرعة التفاعل الطردي مساوية سرعة التفاعل العكسي.
- تعبير ثابت الاتزان هو نسبة التراكيز المولارية للنواتج إلى التراكيز المولارية للمتفاعلات، حيث ترفع هذه التراكيز إلى أسس مساوية لمعاملاتها في المعادلة الكيميائية الموزونة.

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

- تكون قيمة تعبير ثابت الاتزان K_{eq} ثابتة عند درجة حرارة معينة.

المفردات

- التفاعل الانعكاسي
- الاتزان الكيميائي
- قانون الاتزان الكيميائي
- ثابت الاتزان
- اتزان متجانس
- اتزان غير متجانس

5-2 العوامل المؤثرة في الاتزان الكيميائي

الفكرة الرئيسية

- عندما تطرأ تغيرات في نظام متزن فسوف يزاح إلى موضع اتزان جديد.
- مبدأ لوتشاتليه يصف كيفية إزاحة الاتزان عند الاستجابة لجهد أو تغيير.
- عند إزاحة الاتزان استجابة إلى تغير في التركيز أو الحجم يتغير موضع الاتزان، ولكن K_{eq} يبقى ثابتاً. والتغير في درجة الحرارة يغير الاتنين معاً موضع الاتزان وقيمة K_{eq} .

المفردات

- مبدأ لوتشاتليه

5-3 استعمال ثوابت الاتزان

الفكرة الرئيسية

- يمكن استعمال ثوابت الاتزان في حساب تراكيز المواد وذوبانيتها.
- تراكيز الاتزان وذوبانية المواد يمكن حسابها باستعمال تعابير ثابت الاتزان.
- K_{sp} يصف الاتزان بين مركب أيوني قليل الذوبانية وأيوناته في محلول.
- إذا كان الحاصل الأيوني Q_{sp} أكبر من K_{sp} عند خلط محلولين فسوف يتكون راسب.
- وجود الأيون المشترك في محلول يقلل ذوبانية المادة المذابة.

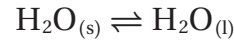
المفردات

- ثابت حاصل الذوبانية
- الأيون المشترك
- تأثير الأيون المشترك

5-1

إتقان المفاهيم

33. صف حالة اتزان تحدث في الحياة اليومية بين عمليتين متناقضتين.
34. إذا قيل لك إن تراكيز المتفاعلات والنواتج لا تتغير فلماذا تستعمل كلمة ديناميكي لوصف الاتزان الكيميائي؟
35. هل المعادلة الآتية تمثل اتزاناً متجانساً أم غير متجانس؟ فسر إجابتك.

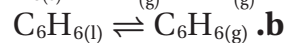


36. ما المقصود بموضع الاتزان؟
37. وضح كيفية كتابة تعبير ثابت الاتزان.
38. لماذا يجب عليك أن تعير انتباهاً للحالات الفيزيائية للنواتج والمتفاعلات عند كتابة تعابير ثابت الاتزان؟
39. لماذا تعني قيمة K_{eq} الكبيرة عددياً أن النواتج مفضلة في نظام الاتزان؟

40. ماذا يحدث لـ K_{eq} لنظام متزن، إذا تم إعادة كتابة معادلة التفاعل بطريقة عكسية؟
41. كيف لنظام الاتزان أن يحتوي على كميات صغيرة وغير متغيرة من النواتج، وفي الوقت نفسه يحتوي على كميات كبيرة من المتفاعلات؟ كيف يمكن أن تبرر K_{eq} لمثل هذا الاتزان؟
42. يحتوي نظام متزن على جزيئات في صورة نواتج ومتفاعلات. هو في حالة اتزان، صف ما يحدث لتراكيز النواتج والمتفاعلات، وما يحدث لكل جزيء ناتج ومتفاعل.

إتقان حل المسائل

43. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكل اتزان متجانس فيما يأتي:
- a. $2\text{N}_2\text{H}_4(g) + 2\text{NO}_2(g) \rightleftharpoons 3\text{N}_2(g) + 4\text{H}_2\text{O}(g)$
- b. $2\text{NbCl}_4(g) \rightleftharpoons \text{NbCl}_3(g) + \text{NbCl}_5(g)$
44. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكل اتزان غير متجانس فيما يلي:



45. ينتج عن تسخين الحجر الجيري $\text{CaCO}_3(s)$ الجير الحي $\text{CaO}(s)$ وغاز ثاني أكسيد الكربون. اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل العكسي.

46. افترض أن لديك مكعباً من فلز المنجنيز النقي طول ضلعه يساوي 5.25 cm، وكتلته تساوي 1076.6 g فما التركيز المولاري للمنجنيز في المكعب؟

47. قيمة K_{eq} للتفاعل $A + 2B \rightleftharpoons C$ تساوي 3.63، يوضح الجدول 5-5 لتراكيز المتفاعلات والنواتج في خليط تفاعلين مختلفين عند درجة الحرارة نفسها. حدد ما إذا كان التفاعلان في حالة اتزان.

الجدول 5-5 تراكيز A و B و C		
C (mol/l)	B (mol/l)	A (mol/l)
0.700	0.621	0.500
0.250	0.525	0.250

48. 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.

5-2

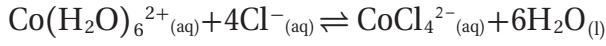
إتقان المفاهيم

49. ما المقصود بالشغل المبذول على تفاعل ما عند الاتزان؟
50. كيف يصف مبدأ لوتشاتيليه استجابة الاتزان للشغل؟
51. لماذا يسبب إزالة المتفاعل إزاحة الاتزان نحو اليسار؟
52. عند إزاحة الاتزان نحو اليمين، ماذا يحدث لكل من:

a. تراكيز المتفاعلات

b. تراكيز النواتج

58. يوضح الشكل 22-5 تفاعلاً متزنًا ماصًا للحرارة في درجة حرارة الغرفة.



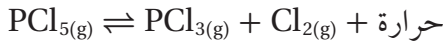
إذا علمت أن $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$ لونه أرجواني و CoCl_4^{2-} لونه أزرق فما هو التغير المرئي الذي يمكن مشاهدته في الدورق عند وضعه في حمام ثلجي؟ فسر إجابتك.



الشكل 22-5

59. للاتزان الموصوف في السؤال 58 ما التغير المرئي المتوقع الذي يمكن مشاهدته إذا تم إضافة وذوبان 10g من كلوريد البوتاسيوم الصلب؟ فسر إجابتك.

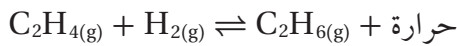
60. هل تتوقع أن تزداد أو تقل قيمة K_{eq} العددية عند زيادة درجة الحرارة في الاتزان الآتي: فسر إجابتك.



61. فسر كيف يمكن أن تنظم الضغط لتعزيز تكوين النواتج في نظام الاتزان الآتي:



62. يتفاعل الإيثيلين C_2H_4 مع الهيدروجين لإنتاج الإيثان C_2H_6 وفق المعادلة:



كيف يمكنك تنظيم درجة الحرارة لهذا الاتزان لكي:

a. تزيد كمية الإيثان الناتج.

b. تقلل تركيز الإيثيلين.

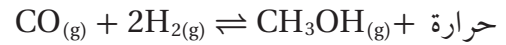
c. تزيد كمية الهيدروجين في وعاء التفاعل.

53. المشروبات الغازية تستعمل مبدأ لوتشاتيليه لشرح كيف أن ازاحة الاتزان الآتي:



يسبب فقدان الشراب طعمه عند ترك غطاء القارورة مفتوحًا؟

54. كيف يمكن للتغيرات الآتية التأثير في موضع الاتزان للتفاعل المستعمل لإنتاج الميثانول من أول أكسيد الكربون والهيدروجين؟



a. إضافة CO

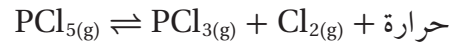
b. خفض درجة الحرارة

c. إضافة عامل محفز

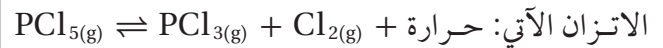
d. إزالة CH_3OH

e. تقليل حجم وعاء التفاعل

55. فسر كيف تؤثر زيادة درجة الحرارة في الاتزان الموضح بالمعادلة الآتية:

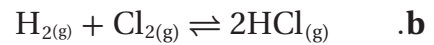
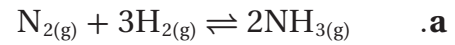


56. إذا أضيف مذيب سائل من الكلور إلى دورق يحتوي تفاعل



فكيف يتأثر الاتزان عند ذوبان كمية من غاز الكلور؟

57. إذا أعطيت التفاعلين الآتين عند الاتزان:



فسر لماذا يسبب تغير حجم وعاء التفاعلين تغير موضع الاتزان لـ a ولا يؤثر في b؟

5-3

إتقان المفاهيم

63. ماذا تعني بقولك إن لدى محلولين أيون مشترك؟ اذكر مثالاً يوضح ذلك.
64. لماذا لا تعطى بعض المركبات مثل كلوريد الصوديوم قيم K_{sp} ؟
65. الأشعة السينية لماذا يعد استعمال كبريتات الباريوم أفضل من كلوريد الباريوم عند التعرض للأشعة السينية؟ علماً أنه عند درجة حرارة 26°C فإن 37.5 g من BaCl_2 يمكن أن تذوب في 100 ml من الماء؟



الشكل 5-23

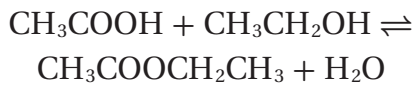
66. فسر ما يحدث في الشكل 5-23 اعتماداً على K_{sp} و Q_{sp} .
67. فسر لماذا ينخفض الأيون المشترك ذوبانية المركب الأيوني؟
68. صف المحلول الناتج عن خلط محلولين لهما $Q_{sp} = K_{sp}$ ، هل يتكون راسب؟

إتقان المسائل

69. اكتب تعبير K_{sp} لكرومات الرصاص PbCrO_4 ، واحسب ذوبانية بوحدة mol/l ، علماً أن $K_{sp} = 2.3 \times 10^{-13}$.
70. K_{sp} لفلوريد الاسكانديوم ScF_3 عند درجة حرارة 298 K يساوي 4.2×10^{-18} . اكتب معادلة الاتزان الكيميائية لذوبانية فلوريد الاسكانديوم في الماء. ما تركيز أيونات Sc^{3+} اللازمة لتكوين راسب إذا كان تركيز أيون الفلوريد 0.076 M ؟

71. 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 4-5. وضح إجابتك.

72. صناعة ايثانوات الإيثيل $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ مذيب يستعمل في صناعة الورنيش، ويمكن إنتاجه بتفاعل الإيثانول وحمض الايثانويك (الخليك)، يمكن وصف الاتزان بالمعادلة الآتية:



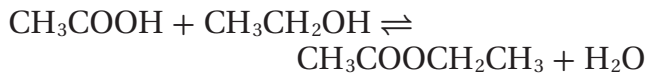
احسب K_{eq} باستعمال تراكيز الاتزان الآتية:

$$[\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3] = 2.90\text{ M}, [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.316\text{ M},$$

$$[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}] = 0.313\text{ M}, [\text{H}_2\text{O}] = 0.114\text{ M}$$

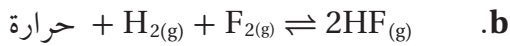
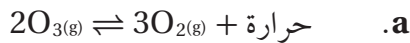
مراجعة عامة

73. تنتج ايثانوات الإيثيل $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ من الاتزان الموصوف في المعادلة الآتية:

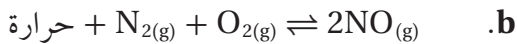
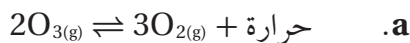


لماذا تسبب إزالة الماء إنتاج المزيد من ايثانوات الإيثيل؟

74. كيف يتأثر كل اتزان فيما يلي بانخفاض درجة الحرارة؟



75. كيف يتأثر كل اتزان فيما يلي بارتفاع كل من درجة الحرارة والحجم في الوقت نفسه؟



76. ثابت حاصل الذوبانية لزرنينخات الرصاص $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2$ يساوي 4.0×10^{-36} في درجة حرارة احسب الذوبانية بوحدة mol/l لهذا المركب عند درجة الحرارة نفسها.

77. صحح الجملة الآتية: القيمة المنخفضة لثابت الاتزان K_{eq} تعني أن كلا التفاعلين الطردوي والعكسي يحدثان ببطء.

84. **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 والمغنيسيوم؟ استعمل الجدول 5 - 6 واكتب معادلات اتران الذوبانية وتعابير ثابت حاصل الذوبانية لكلا المركبين . فسر إجابتك.

الجدول 5 - 6 بيانات المركبين		
الذوبانية عند 25°C	الكتلة المولية (MM)	المركب
g/l	g/mol	
1.1	175.33	BaF ₂
0.13	62.30	MgF ₂

85. **السبب والنتيجة**: افترض أن لديك 12.56 g من خليط مكون من كلوريد الصوديوم وكلوريد الباريوم. فسر كيف يمكن استعمال تفاعل الترسيب لتحديد مقدار كل مركب في الخليط.

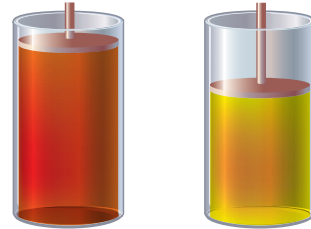
86. **قارن** أي المادتين الصلبتين: فوسفات الكالسيوم وفوسفات الحديد III لها ذوبانية مولارية أكبر؟ فإذا علمت أن $K_{sp} \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 1.2 \times 10^{-29}$ و $K_{sp} \text{FePO}_4 = 1.0 \times 10^{-22}$ فأيهما له ذوبانية g/l أعلى؟

مسألة تحدُّ

87. **تحضير الفوسجين** الفوسجين COCl_2 غاز سام يستعمل في تصنيع بعض الأصباغ والأدوية والمبيدات الحشرية. ويمكن تحضير غاز الفوسجين بتفاعل أول أكسيد الكربون مع غاز الكلور وفق المعادلة: $\text{CO}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(g)}$ بداية يوضع 1.0000 mol من كلا الغازين في وعاء حجمه 10.00 L وعند وصولها حالة الاتزان وجد أن تركيز كل منهما 0.0086 mol/l ما تركيز الفوسجين عند الاتزان؟ وما صنف K_{eq} للنظام؟

78. **توابل الطعام** البنزaldehid، يعرف بزيت اللوز الصناعي، ويستعمل في تبيل الطعام. ما تركيز البنزaldehid $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$ بوحدة mol/l في درجة حرارة 298 K، إذا كانت كثافته تساوي 1.043 g/ml؟

79. في نظام الاتزان $\text{N}_2\text{O}_4(g) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(g)$ ، إن لون NO_2 البنّي الغامق، فسر اختلاف اللون للاتزان كما هو موضح في الشكل 5-24.



الشكل 5-24

80. إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم إلى محلول هيدروكسيد الألومنيوم المشبع يُقلل من تركيز أيونات الألومنيوم. اكتب معادلة اتران الذوبانية وتعبر ثابت حاصل الذوبانية لمحلول مائي مشبع هيدروكسيد الألومنيوم.

81. إذا علمت أن K_{sp} ليوديدات الكاديوم $\text{Cd}(\text{IO}_3)_2$ يساوي 2.3×10^{-8} عند درجة حرارة 298 K، فما تركيز mol/l كل من أيونات الكاديوم وأيونات اليوديدات في محلول مشبع عند درجة حرارة 298 K؟

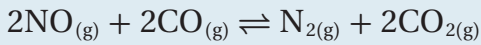
التفكير الناقد

82. **تحليل** افترض أن نظام اتران عند درجة حرارة معينة له K_{eq} تساوي 1.000، ما احتمال أن هذا النظام يتكون من 50% متفاعلات و50% نواتج؟ فسر إجابتك.

83. **تطبيق** يستعمل تنشق الأملاح أحياناً لإعادة إنعاش شخص فاقد للوعي؛ إذ تتكون هذه الأملاح من كربونات الأمونيوم. فإذا كانت معادلة تفكك كربونات الأمونيوم الماص للحرارة كما يأتي: $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3(s) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(g) + \text{CO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(g)$ فهل تتوقع أن استنشاق الأملاح يعطي مفعولاً في أيام الشتاء الباردة كما في أيام الصيف الحارة؟ فسر إجابتك.

أسئلة المستندات

1. **التلوث** تحتوي عوادم السيارات على الملوثات الخطرة: أول أكسيد النيتروجين NO وأول أكسيد الكربون CO. إن سبيكة محفزة واعدة يمكن أن تقلل كمية هذين الغازين في الهواء الجوي. عندما يمر غازا NO و CO فوق هذا المحفز ينشأ الاتزان الآتي:



ويتأثر ثابت الاتزان بدرجة الحرارة، كما هو موضح في الجدول 5-7.

جدول 5-7 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}

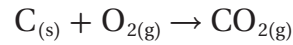
94. اكتب تعبير ثابت الاتزان لهذا الاتزان.

95. ادرس العلاقة بين K_{eq} ودرجة الحرارة. استعمل مبدأ لوتشاتيليه لاستنتاج ما إذا كان التفاعل الطردى ماصاً أم طارداً للطاقة.

96. فسر كيف أن المشعاع (مبرد السيارة) المطلي بالسبيكة يمكن أن يساعد على تقليل تركيز NO و CO في الغلاف الجوي؟

مراجعة تراكمية

88. ما كتلة الكربون التي يجب أن تحرق لإنتاج 4.56 L من غاز CO_2 عند درجة حرارة وضغط قياسين؟



89. صف الرابطة الهيدروجينية، وما الشروط الواجب توافرها لتكوينها؟

90. عندما تقوم بقلب معادلة كيميائية حرارية لماذا يجب قلب إشارة ΔH ؟

تقويم إضافي

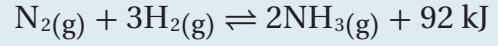
الكتابة في الكيمياء

91. **مركب جديد** تحيل أنك عالم قمت بتركيب سائل فريد وجديد وأسميته يولان ومختصره يو. يولان سائل غير سام، وتحضيره غير مكلف، وله القدرة على إذابة كمية كبير من غاز ثاني أكسيد الكربون في الاتزان $\text{CO}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(yo)}$, $K_{eq} = 3.4 \times 10^6$ اكتب مقالة لمجلة أو صحيفة تفسر فيها ميزة يولان في مكافحة الارتفاع في درجات الحرارة العالمي.

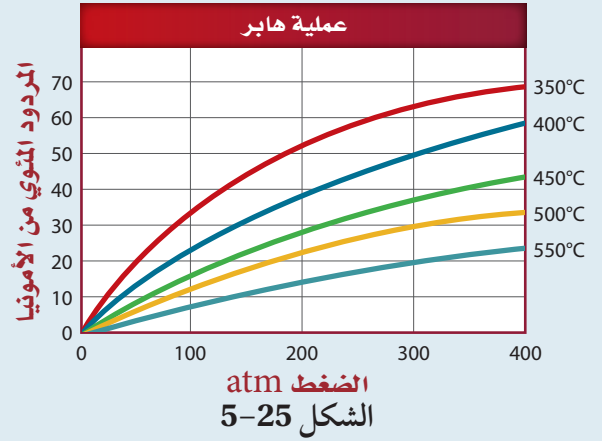
92. **حصى الكلى** ابحث في الدور الذي تقوم به الذوبانية في تكوين حصى الكلى، وما المركبات التي توجد في حصى الكلى؟ وما K_{sp} لهم؟ نظم المعلومات التي تحصل عليها في نشرة إعلانية للمعلومات الصحية.

93. **عسر الماء** وجود أيونات الماغنيسيوم والكالسيوم في الماء يسبب عسره. فسر بالاعتماد على الذوبانية لماذا يعد وجود هذين الأيونين غير مرغوب فيه. ثم جد الطرق التي يمكن اتخاذها للتخلص منها.

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



يوضح الشكل 5-25 أثر درجة الحرارة والضغط في مقدار الأمونيا الناتجة خلال عملية هابر.



97. فسر كيف يتأثر المردود المئوي للأمونيا بالضغط ودرجة الحرارة؟

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

a. ما أثر إجراء التفاعل عند ضغط أعلى من 200 atm، عند درجة حرارة الوعاء الذي يتم فيه التفاعل؟

b. في رأيك كيف يؤثر تقليل درجة حرارة التفاعل إلى أقل من 450°C على الزمن اللازم لإنتاج الأمونيا؟

99. حسب رأيك لماذا لا ينصح بإجراء عملية هابر عند درجة أكبر من 450°C؟

اختبار تراكمي مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن الاسئلة من 5 إلى 7 .

بيانات التركيز للاتزان الآتي $\text{MnCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$ (عند 298 K)				
المحاولة	$[\text{Mn}^{2+}]$ الابتدائي	$[\text{CO}_3^{2-}]$	عند الاتزان $[\text{Mn}^{2+}]$	عند الاتزان $[\text{CO}_3^{2-}]$
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} MnCO_3 عند درجة 298k؟

- a. 2.24×10^{-11} .c. 1.12×10^{-9}
b. 4.00×10^{-11} .d. 5.60×10^{-9}

6. ما ذوبانية MnCO_3 عند 298 K؟

- a. $4.73 \times 10^{-6}\text{M}$.c. $7.48 \times 10^{-5}\text{M}$
b. $6.32 \times 10^{-2}\text{M}$.d. $3.35 \times 10^{-5}\text{M}$

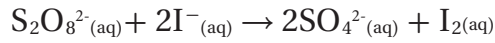
7. عند خلط 50ml من K_2CO_3 الذي تركيزه

$3.00 \times 10^{-6}\text{M}$ مع 50 ml من MnCl_2 سوف يتكون راسب من MnCO_3 فقط عندما يكون تركيز محلول MnCl_2 أكبر من :

- a. $7.47 \times 10^{-6}\text{M}$.c. $2.99 \times 10^{-5}\text{M}$
b. $1.49 \times 10^{-5}\text{M}$.d. $1.02 \times 10^{-5}\text{M}$

1. أي مما يأتي يصف نظامًا وصل إلى حالة الاتزان الكيميائي؟
a. لا يوجد ناتج جديد يتكون بفعل التفاعل الطردي.
b. لا يحدث التفاعل العكسي في النظام.
c. تركيز المتفاعلات في النظام يساوي تركيز النواتج.
d. سرعة حدوث التفاعل الطردي تساوي سرعة حدوث التفاعل العكسي.

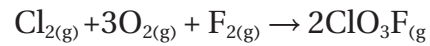
2. يستطيع الطلاب إجراء التفاعل بين أيونات $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ وأيونات اليوديد I^- لأنه يسير ببطء كافٍ لقياس معدل سرعته.



تم تحديد رتبة هذا التفاعل في المختبر لتكون الرتبة الأولى في $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ والرتبة الأولى في I^- . ما قانون السرعة الكلي لهذا التفاعل؟

- a. $R = K[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^2[\text{I}^-]$
b. $R = K[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}][\text{I}^-]$
c. $R = K[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}][\text{I}^-]^2$
d. $R = K[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^2[\text{I}^-]^2$

3. تفاعل تكوين فلوريد البيركلوريل (ClO_3F) له ثابت اتزان عند درجة حرارة 298°K



عند الاتزان:

$$[\text{Cl}_2]=0.563\text{M}, [\text{O}_2]=1.01\text{M}, [\text{ClO}_3\text{F}]=1.47 \times 10^{-5}\text{M}$$

ما تركيز $[\text{F}_2]$ ؟

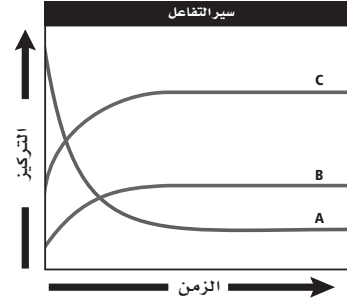
- a. $9.18 \times 10^{-2}\text{M}$.c. $1.09 \times 10^{-1}\text{M}$
b. $3.73 \times 10^{-10}\text{M}$.d. $6.32 \times 10^{-2}\text{M}$

4. أي نوع من القوى بين الجزيئية ينتج عن عدم توازن مؤقت في الكثافة الإلكترونية حول نواة الذرة؟

- a. الروابط الأيونية .c. قوى ثنائية القطب
b. قوى التشتت .d. الروابط الهيدروجينية

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمل المخطط الآتي للإجابة عن الأسئلة من 8 إلى 10.



1. صف شكل الرسم البياني عند حدوث الاتزان.
2. فسر لماذا لا يساوي تركيز المتفاعلات صفرًا عند نهاية هذا التفاعل؟
3. صنف نوع التفاعل الكيميائي الذي يظهر في هذا الرسم البياني، وكيف تدعم البيانات فيه استنتاجك؟

(أ)

الاتزان غير المتجانس Heterogeneous Equilibrium حالة اتزان تكون فيها المواد المتفاعلة والنواتج في حالات مختلفة.

الاتزان الكيميائي Chemical Equilibrium حالة التفاعل التي تكون عندها سرعتها التفاعل الطردي والعكسي متساويتان.

الاتزان المتجانس Homogeneous Equilibrium حالة اتزان تكون فيها المواد المتفاعلة والنواتج في الحالة نفسها.

الارتفاع في درجة الغليان Boiling Point Elevation الفرق بين درجة غليان المحلول ودرجة غليان المذيب النقي.

الانخفاض في درجة التجمد Freezing-Point Depression الفرق بين درجة تجمد المحلول ودرجة تجمد المذيب النقي.

الانخفاض في الضغط البخاري Vapor Pressure Lowering خاصية جامعة تعتمد على عدد جسيمات المذاب في المحلول.

الأيون أحادي الذرة Monoatomic Ion أيون يتكون من ذرة واحدة يحمل شحنة موجبة أو سالبة.

أيون متعدد الذرات Polyatomic Ion أيون يتكون من ذرتين أو أكثر لها شحنة.

الأيون المشترك Common Ion أيون مشترك بين مادتين أيونيتين أو أكثر.

(ب)

الباسكال Pascal الوحدة الدولية لقياس الضغط.

البخار Vapor الحالة الغازية للمادة عند درجة حرارة الغرفة.

(ت)

التآصل Allotrope أحد الأشكال التي يوجد فيها العنصر.

تأثير الأيون المشترك Common Ion Effect انخفاض الذوبانية بسبب وجود أيون مشترك.

التغير في المحتوى الحراري Enthalpy Variation كمية الحرارة التي تم امتصاصها أو تحريرها من قبل النظام أثناء التفاعل.

التبخير Vaporization التحول إلى بخار عند درجة حرارة الغرفة.

التبلور Crystallization طريقة فصل جزيئات المادة الصلبة النقية عن المحلول.

الترسيب Precipitation تكون مادة صلبة في أثناء تفاعل كيميائي.

التركيز Concentration قياس كمية المذاب في كمية محددة من المذيب.

التسامي Sublimation عملية تحول المادة الصلبة إلى غاز دون المرور بالحالة السائلة.

التصادم المرن Elastic Collision تصادمات لا تفقد خلالها الطاقة الحركية بل تنتقل من جزيء إلى آخر.

التفاعل الانعكاسي Reversible Reaction التفاعل الكيميائي الذي يحدث في كلا الاتجاهين الطردى والعكسي.

التكثف Condensation عملية تحول البخار إلى سائل.

(ث)

ثابت الاتزان Equilibrium Constant القيمة العددية لنسبة تراكيز المواد الناتجة الى تراكيز المواد المتفاعلة ويرفع كل تركيز الى أس مساوياً للمعامل الخاص به في المعادلة الكيميائية الموزونة.

ثابت حاصل الذوبانية Solubility Product Constant ثابت اتزان ذوبان مادة أيونية قليلة الذوبان في الماء.

ثابت السرعة Specific Rate Constant قيمة عددية تربط بين تركيز المتفاعلات بسرعة التفاعل عند درجة حرارة معينة.

ثابت الغاز المثالي Ideal Gas Constant (R) ثابت يحدد تجريبيًا وتعتمد قيمته على وحدات ضغط الغاز، ودرجة حرارته وحجمه.

(ج)

الجول Joule الوحدة الدولية لقياس الطاقة والحرارة.

(ح)

الحجم المولي Molar Volume حجم مول واحد من الغاز عند الظروف القياسية.

الحرارة Heat أحد أشكال الطاقة التي تنتقل من الأجسام الساخنة إلى الأجسام الأبرد.

حرارة الاحتراق Enthalpy of Combustion كمية الحرارة الناتجة عن احتراق مول واحد من المادة احتراقًا كليًا.

حرارة التكوين القياسية Standard Enthalpy of Formation التغير في المحتوى الحراري الذي يرافق تكوين مول واحد من مركب في الظروف القياسية من عناصره في حالته الطبيعية.

حرارة التفاعل Heat of Reaction الفرقُ بين مجموع المحتوى الحراريّ للنواتج ومجموع المحتوى الحراريّ للمتفاعلات.

حرارة المحلول Heat of Solution التغير الكلي في الطاقة في أثناء عملية تكوّن المحلول.

الحرارة المولية للانصهار Molar Enthalpy (Heat) of Fusion كمية الحرارة التي يتطلبها تحويل مول واحد من المادة الصلبة إلى سائل.

الحرارة المولية للتبخّر Molar Enthalpy (Heat) of Vaporization كمية الحرارة اللازمة لتحويل مول واحد من المادة السائلة إلى بخار.

(خ)

الخاصية الجامعة Colligative Property خاصية المحلول التي تعتمد على عدد جزيئات المذاب وليس على نوعها.

(د)

درجة الانصهار Melting Point الدرجة التي يتحول عندها الجسم الصلب إلى سائل.

درجة التجمد Freezing Point درجة الحرارة التي يتحول عندها السائل إلى صلب متبلور.

درجة الحرارة Temperature معدل الطاقة الحركية لجزيئات المادة.

درجة الحرارة والضغط القياسيان STP ضغط جوي ودرجة حرارة الصفر المئوي.

درجة الغليان Boiling Point درجة الحرارة التي يتساوى عندها ضغط تبخر السائل مع الضغط الجوي.

(ذ)

الذوبان Solvation عملية إحاطة جسيمات المذاب بجسيمات المذيب.

الذوبانية Solubility أكبر كمية من المذاب تذوب في مقدار معين من المذيب عند درجة حرارة معينة.

(ر)

الرابطة الكيميائية Chemical Bond القوة التي تربط ذرتين معاً.

الرابطة الهيدروجينية Hydrogen Bond رابطة قوية تنشأ بين الجزيئات التي تحتوي ذرات هيدروجين متحدة بذرات ذات كهروسالبية عالية كالنيتروجين والفلور والأكسجين.

رتبة التفاعل Reaction Order رقم يُبين كيف تتأثر سرعة التفاعل بمادة معينة.

(س)

سرعة التفاعل الكيميائي Reaction Rate التغير في تركيز المواد المتفاعلة أو الناتجة في وحدة الزمن.

(ش)

الشبكة البلورية Crystal Lattice مجسم ثلاثي الأبعاد بين أماكن الأيونات والذرات في البلورة.

(ض)

الضغط Pressure القوة الواقعة على وحدة المساحة.

الضغط البخاري Vapor Pressure الضغط الذي تحدثه جزيئات السائل في وعاء مغلق والتي تتطاير من سطح السائل متحولة إلى الحالة الغازية.

(ط)

الطاقة Energy القدرة على بذل شغل أو إنتاج حرارة.

طاقة التنشيط Activation Energy الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لبدء التفاعل.

طاقة الوضع الكيميائية Chemical Potential Energy الطاقة المخزونة في المادة والناتجة عن تركيبها

الطاقة الداخلية Internal Energy طاقة مخزنة داخل نظام ما.

(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.

القانون العام للغازات Combined Gas Law قانون جامع لقوانين الغازات ويجمع خواص الحجم والضغط ودرجة الحرارة.

قانون الغاز المثالي Ideal Gas Law قانون يصف السلوك الطبيعي للغاز المثالي اعتماداً على ضغط الغاز وحجمه ودرجة حرارته.

قانون هس Hess's Law تغير الطاقة في تفاعل كيميائي يساوي مجموع التغيرات في طاقة التفاعلات الفردية المكونة له.

قوى التشتت Dispersion Forces القوى الضعيفة الناتجة عن التغير في كثافة الإلكترونات في الغيمة الإلكترونية.

القوى ثنائية القطب Dipole-Dipole Forces قوة التجاذب بين مناطق مختلفة الشحنة في الجزيئات القطبية.

(ك)

الكسر المولي Mole Fraction نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول إلى عدد المولات الكلية للمذاب والمذيب.

الكلفن Kelvin الوحدة الدولية لقياس درجة الحرارة.

الكون Universe النظام مع محيطه الخارجي.

(م)

مبدأ أفوجادرو Avogadro's Principle تحتوي الحجوم المتساوية من الغازات تحت الظروف نفسها على العدد نفسه من الجسيمات.

مبدأ لوتشاتيليه Le Châtelier's Principle عند وقوع قوة خارجية على نظام يقوم ذلك النظام بالاتجاه نحو الطرف الذي يعمل على امتصاص تأثير القوة.

المتببط Inhibitor مادة تؤدي إلى إبطاء التفاعل.

المحتوى الحراري Enthalpy الطاقة الداخلية التي تخزنها مول واحد من المادة عند ضغط ثابت.

المحيط surrounding كل شيء في الكون لا ينتمي إلى النظام.

المحفز Catalyst مادة كيميائية تضاف إلى التفاعل الكيميائي فتزيد من سرعته دون أن تتأثر كيميائيًا.

المحلول غير المشبع Unsaturated Solution محلول يحتوي كمية من المذاب أقل مما يحتويه المحلول المشبع عند نفس الضغط ودرجة الحرارة.

المحلول المائي Aqueous Solution المحلول الذي يكون فيه الماء هو المادة المذيبة.

المحلول المشبع Saturated Solution محلول يحتوي أكبر مقدار من المذاب عند ضغط ودرجة حرارة معينين.

المعادلة الكيميائية الحرارية Thermochemical Equation معادلة كيميائية موزونة تشتمل على حالات المواد، والتغير في الطاقة.

المعامل Coefficient العدد المكتوب أمام الصيغ الجزيئية في المعادلة الكيميائية.

المعقد المنشط Activated Complex مجموعة من الذرات فترة بقائها معاً قصيرة جداً قد ينتج عنها النواتج أو قد تعود إلى صورة المتفاعلات.

المولارية Molarity عدد مولات المذاب في لتر واحد من المحلول.

المولالية Molality عدد مولات المذاب المذابة في كيلوجرام من المذيب.

(ن)

نظرية التصادم Collision Theory تنص على وجوب اصطدام الجزيئات، الأيونات أو الذرات لحدوث التفاعل.

نظرية الحركة الجزيئية Kinetic-Molecular Theory تصف سلوك الغازات اعتماداً على حركة جزيئاتها.

نظرية دالتون للضغوط الجزئية Dalton's Law Of Partial Pressures الضغط الكلي لمزيج من الغازات يساوي مجموع الضغوط الجزئية لكل منها.

نظرية دالتون الذرية Dalton's Atomic Theory نظرية تصف تركيب المادة وصفات ذراتها.

النظام system الشيء المادي الذي تتم دراسته خلال التغيرات الكيميائية والفيزيائية.

ثابت حاصل الذوبانية عند 298K

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 ₂ CO 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 ₂ CO 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 ₂ CrO ₄	1.1×10^{-12}	Mg ₃ (PO ₄) ₂	1.0×10^{-24}	Ag ₂ SO ₄	1.2×10^{-5}
اليودات		FePO ₄ · 2H ₂ O	9.91×10^{-16}	الزرنخات	
Cd(IO ₃) ₂	2.3×10^{-8}	Ni ₃ (PO ₄) ₂	4.7×10^{-32}	Pb ₃ (AsO ₄) ₂	4.0×10^{-36}

ثوابت فيزيائية

الكمية	الرمز	القيمة
وحدة الكتل الذرية	amu	1.6605×10^{-27}
عدد أفوجادرو	N _A	6.022×10^{23} particles/mole
ثابت الغاز المثالي	R	8.31 L·kPa/mol·K 0.0821 L·atm/mol·K 62.4 mm Hg·L/mol·K 62.4 torr·L/mol·K
كتلة الإلكترون	m _e	9.109×10^{-31} kg 5.485799×10^{-4} amu
كتلة النيوترون	m _n	1.67492×10^{-27} kg 1.008665 amu
كتلة البروتون	m _p	1.6726×10^{-27} kg 1.007276 amu
الحجم المولاري للغاز المثالي في الظروف المعيارية	V	22.414 L/mol
درجة غليان الماء	T _b	373.15 K 100.0°C
درجة تجمد الماء	T _f	273.15 K 0.00°C
ثابت بلانك	h	$6.6260693 \times 10^{-34}$ J·s
سرعة الضوء في الفراغ	c	2.997925×10^8 m/s

جداول مرجعية

ثوابت الانخفاض في درجة التجمد والارتفاع في درجة الغليان المولالية

المادة	K_{fp} (C°kg/mol)	درجة التجمد (°C)	K_{bp} (C°kg/mol)	درجة الغليان (°C)
حمض الإيثانويك	3.90	16.66	3.22	117.90
بنزين	5.12	5.533	2.53	80.100
كافور	37.7	178.75	5.611	207.42
هكسان حلقي	20.0	6.54	2.75	80.725
هكسانول حلقي	39.3	25.15	---	---
نيترو بنزين	6.852	5.76	5.24	210.8
فينول	7.40	40.90	3.60	181.839
ماء	1.86	0.000	0.512	100.000

قيم حرارة التكوين

(تركيز المحاليل المائية يساوي 1M) ΔH_f° (kJ/mol)

المادة	ΔH_f°	المادة	ΔH_f°	المادة	ΔH_f°	المادة	ΔH_f°
Ag(s)	0	CsCl(s)	-443.0	H ₃ PO ₄ (aq)	-1271.7	NaBr(s)	-361.1
AgCl(s)	-127.0	Cs ₂ SO ₄ (s)	-1443.0	H ₂ S(g)	-20.6	NaCl(s)	-411.2
AgCN(s)	146.0	CuI(s)	-67.8	H ₂ SO ₃ (aq)	-608.8	NaHCO ₃ (s)	-950.8
Al ₂ O ₃	-1675.7	CuS(s)	-53.1	H ₂ SO ₄ (aq)	-814.0	NaNO ₃ (s)	-467.9
BaCl ₂ (aq)	-855.0	Cu ₂ S(s)	-79.5	HgCl ₂ (s)	-224.3	NaOH(s)	-425.8
BaSO ₄	-1473.2	CuSO ₄ (s)	-771.4	Hg ₂ Cl ₂ (s)	-265.4	Na ₂ CO ₃ (s)	-1130.7
BeO(s)	-609.4	F ₂ (g)	0	Hg ₂ SO ₄ (s)	-743.1	Na ₂ S(s)	-364.8
BiCl ₃ (s)	-379.1	FeCl ₃ (s)	-399.49	I ₂ (s)	0	Na ₂ SO ₄ (s)	-1387.1
Bi ₂ S ₃ (s)	-143.1	FeO(s)	-272.0	K(s)	0	NH ₄ Cl(s)	-314.4
Br ₂	0	FeS(s)	-100.0	KBr(s)	-393.8	O ₂ (g)	0
CCl ₄ (l)	-128.2	Fe ₂ O ₃ (s)	-824.2	KMnO ₄ (s)	-837.2	P ₄ O ₆ (s)	-1640.1
CH ₄ (g)	-74.6	Fe ₃ O ₄ (s)	-1118.4	KOH	-424.6	P ₄ O ₁₀ (s)	-2984.0
C ₂ H ₂ (g)	227.4	H(g)	218.0	LiBr(s)	-351.2	PbBr ₂ (s)	-278.7
C ₂ H ₄ (g)	52.4	H ₂ (g)	0	LiOH(s)	-487.5	PbCl ₂ (s)	-359.4
C ₂ H 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 ₄ Br(s)	-270.8	UCl ₆ (s)	-1092.0
Cl ₂ (g)	0	H ₂ O(l)	-285.8	NO(g)	91.3	Zn(s)	0
Co ₃ O ₄ (s)	-891.0	H ₂ O(g)	-241.8	NO ₂ (g)	33.2	ZnCl ₂ (aq)	-415.1
CoO(s)	-237.9	H ₂ O ₂ (l)	-187.8	N ₂ O(g)	81.6	ZnO(s)	-350.5
Cr ₂ O ₃ (s)	-1139.7	H ₃ PO ₂ (l)	-595.4	Na(s)	0	ZnSO ₄ (s)	-982.8

الجدول الدوري للعناصر



يدل لون صندوق كل عنصر على ما إذا كان فلزاً أو شبه فلزاً أو لافلزاً.

			13	14	15	16	17	18	
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Helium 2 He 4.003	
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Neon 10 Ne 20.180	
10	11	12							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 (281)	Roentgenium 111 Rg (272)	Copernicium * 112 Cn (285)	Nihonium * 113 Nh (284)	Flerovium * 114 Fl (289)	Moscovium * 115 Mc (288)	Livermorium * 116 Lv (291)	Tennesine * 117 Ts (288)	Oganesson * 118 Og (294)	

* أسماء رموز العناصر 112، 113، 114، 115، 116، 118 تم اختيار الأسماء النهائية بعد التأكد من اكتشافها حديثاً.

Europium 63 Eu 151.964	Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Americium 95 Am (243)	Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)

جداول مرجعية

جداول مرجعية

العناصر في كل عمود تسمى مجموعة، ولها خواص كيميائية متشابهة.

غاز
سائل
صلب
مُصنَّع

العنصر
العدد الذري
الرمز
الكتلة الذرية المتوسطة

حالة المادة

الرموز الثلاثة العليا تدل على حالة العنصر في درجة حرارة الغرفة، بينما يدل الرمز الرابع على العناصر المصنَّعة.

1	Hydrogen 1 H 1.008	2							
2	Lithium 3 Li 6.941	Beryllium 4 Be 9.012							
3	Sodium 11 Na 22.990	Magnesium 12 Mg 24.305	3	4	5	6	7	8	9
4	Potassium 19 K 39.098	Calcium 20 Ca 40.078	Scandium 21 Sc 44.956	Titanium 22 Ti 47.867	Vanadium 23 V 50.942	Chromium 24 Cr 51.996	Manganese 25 Mn 54.938	Iron 26 Fe 55.845	Cobalt 27 Co 58.933
5	Rubidium 37 Rb 85.468	Strontium 38 Sr 87.62	Yttrium 39 Y 88.906	Zirconium 40 Zr 91.224	Niobium 41 Nb 92.906	Molybdenum 42 Mo 95.94	Technetium 43 Tc (98)	Ruthenium 44 Ru 101.07	Rhodium 45 Rh 102.906
6	Cesium 55 Cs 132.905	Barium 56 Ba 137.327	Lanthanum 57 La 138.906	Hafnium 72 Hf 178.49	Tantalum 73 Ta 180.948	Tungsten 74 W 183.84	Rhenium 75 Re 186.207	Osmium 76 Os 190.23	Iridium 77 Ir 192.217
7	Francium 87 Fr (223)	Radium 88 Ra (226)	Actinium 89 Ac (227)	Rutherfordium 104 Rf (261)	Dubnium 105 Db (262)	Seaborgium 106 Sg (266)	Bohrium 107 Bh (264)	Hassium 108 Hs (277)	Meitnerium 109 Mt (268)

صفوف العناصر الأفقية تسمى صفوفات. يزداد العدد الذري من اليسار إلى اليمين في كل دورة.

يدل السهم على المكان الذي يجب أن توضع فيه هذه العناصر في الجدول. لقد تم نقلها إلى أسفل الجدول توفيراً للمكان.

عناصر اللانثانيدات

عناصر الأكتينيدات

الرقم المحاط بقوسين هو العدد الكتلي للنظير الأطول عمراً للعنصر.

Cerium 58 Ce 140.116	Praseodymium 59 Pr 140.908	Neodymium 60 Nd 144.24	Promethium 61 Pm (145)	Samarium 62 Sm 150.36
Thorium 90 Th 232.038	Protactinium 91 Pa 231.036	Uranium 92 U 238.029	Neptunium 93 Np (237)	Plutonium 94 Pu (244)

