

## تجميعية صفحات الكتاب وفق الهيكل الوزاري منهج بريدج



### تم تحميل هذا الملف من موقع المناهج الإماراتية

موقع المناهج ← المناهج الإماراتية ← الصف العاشر المتقدم ← كيمياء ← الفصل الثالث ← ملفات متنوعة ← الملف

تاريخ إضافة الملف على موقع المناهج: 2025-05-24 22:44:21

ملفات اكتب للمعلم اكتب للطالب | اختبارات الكترونية | اختبارات | حلول | عروض بوربوينت | أوراق عمل  
منهج انجليزي | ملخصات وتقارير | مذكرات وبنوك | الامتحان النهائي | للمدرس

المزيد من مادة  
كيمياء:

إعداد: كوثر هنداي

### التواصل الاجتماعي بحسب الصف العاشر المتقدم



صفحة المناهج  
الإماراتية على  
فيسبوك

الرياضيات

اللغة الانجليزية

اللغة العربية

التربية الاسلامية

المواد على تلغرام

### المزيد من الملفات بحسب الصف العاشر المتقدم والمادة كيمياء في الفصل الثالث

تجميعية تدريبات صفحات الكتاب وفق الهيكل الوزاري منهج بريدج

1

تجميعية أسئلة شاملة وفق الهيكل الوزاري باللغتين العربية والانجليزية

2

مراجعة امتحانية شاملة وفق الهيكل الوزاري

3

الهيكل الوزاري الجديد 2025 منهج انسباير

4

الهيكل الوزاري الجديد 2025 منهج بريدج

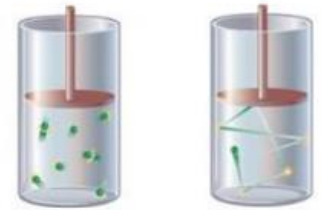
5

## نظرية الحركة الجزيئية

لقد تعلّمت أن تركيب المادة (أنواع الذرات الموجودة) وبنيتها (ترتيب الذرات) يحددان خصائصها الكيميائية. ويؤثران أيضًا على الخصائص الفيزيائية للمادة. انطلاقًا من المظهر الخارجي بإمكانك التمييز بين الصلب والسائل كما يبينه الشكل 1. في المقابل، عادة ما تظهر المواد الغازية في درجة حرارة الغرفة خصائص فيزيائية متشابهة على الرغم من تركيباتها المختلفة. لماذا يكون التنوع في السلوك بين الغازات محدودًا؟ لها تختلف الخصائص الفيزيائية للغاز عن السائل والصلب؟

بحلول القرن الثامن عشر، تعرف العلماء على طريقة لجمع النواتج الغازية بإحلالها محل الماء. وأصبح الآن بإمكانهم ملاحظة وقياس خصائص الغازات المنفردة. حوالي سنة 1860 اقترح كل من الكيميائيين لودفيغ بولتزمان وجيمس ماكسويل اللذين كانا يعملان في بلدين مختلفين نموذجًا لتفسير خصائص الغازات. ذلك النموذج هو نظرية الحركة الجزيئية. لأن كل الغازات التي يعرفها بولتزمان وماكسويل تحتوي على جزيئات فإن تسمية النموذج تعود على الجزيئات. للأجسام المتحركة طاقة تسمى طاقة حركية. نصف **نظرية الحركة الجزيئية** سلوك المادة اعتمادًا على حركة جسيماتها. ذلك النموذج يقدم عدة افتراضات حول حجم وحركة وطاقة جسيمات الغاز.

أي العبارات التالية ليست افتراضاً لنظرية الحركة الجزيئية؟



لكل الغازات في درجة حرارة معينة نفس متوسط الطاقة الحركية.

لكل جسيمات الغاز في عينة ما نفس السرعة.

لا تتجاذب أو تتنافر جسيمات الغاز مع بعض.

يكون التصادم بين جسيمات الغاز مرناً.

**حجم الجسيمات** تتمثل الغازات في جسيمات صغيرة يفصل بينها فضاء فارغ. حجم الجسيمات صغير مقارنة بحجم الفضاء الفارغ. ولأن جسيمات الغاز متباعدة فإنها لا تخضع لأية قوى جذب أو تنافر.

**حركة الجسيم** حركة جسيمات الغاز دائمة وعشوائية. تتحرك الجسيمات في خط مستقيم حتى تصطدم بجسيمات أخرى أو بجدار الوعاء كما يبين الشكل 2. تكون الاصطدامات بين جسيمات الغاز مرنة. **التصادم المرن** هو تصادم لا تتضيع خلاله أي طاقة حركية. ولكن تنتقل الطاقة الحركية بين الجسيمات المتصادمة، ولكن الطاقة الحركية الإجمالية للجسيمين لا تتغير.

**طاقة الجسيم** هناك عاملان محددان للطاقة الحركية للجسيم: الكتلة والسرعة. يمكن التعبير عن الطاقة الحركية للجسيم كما في المعادلة التالية.

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

$KE$  الطاقة الحركية،  $m$  كتلة الجسيم، و  $v$  السرعة. في عينة من غاز واحد، كل الجسيمات لها نفس الكتلة، ولكن ليس لكل الجسيمات نفس السرعة، وبالتالي لا يكون لكل الجسيمات نفس الطاقة الحركية. **درجة الحرارة** هي مقياس لمتوسط لطاقة الحركة الحركية لجسيمات المادة.

## تفسير سلوك الغازات

نظرية الحركة الجزيئية تساعد على تفسير سلوك الغازات. تسمح الحركة المستمرة للجسيمات للغاز بالتمدد حتى يملأ الوعاء الحامل له مثل ما يحدث عندما نقوم بنفخ كرة الشاطئ. عندما تنفخ الهواء داخل الكرة، تنتشر جزيئات الهواء لملأ الجزء الداخلي للوعاء، أي كرة الشاطئ.

**الكثافة المنخفضة** تذكر أن الكثافة هي الكتلة لكل وحدة حجم. كثافة غاز الكلور هي  $2.898 \times 10^{-3} \text{ g/mL}$  في درجة حرارة  $20^\circ\text{C}$  كثافة الذهب الصلب هي  $19.3 \text{ g/mL}$  فيكون الذهب أكثر كثافة من الكلور بـ 6700 مرة ولا يمكن أن يكون هذا الفرق الكبير ناتجاً عن الفرق في الكتلة بين ذرات الذهب وجزيئات الكلور (حوالي 1:3). كما تفر نظرية الحركة الجزيئية، فإن قدرًا كبيرًا من الفضاء يوجد بين جسيمات الغاز. لذلك يوجد في نفس الحجم جزيئات كلور أقل من ذرات الذهب.

**الانضغاط والتمدد** إذا ضغطت على وسادة مصنوعة من الإسفنج القروي، يمكنك ضغطها، وهو ما يعني أن بإمكانك تقليص حجمها. الهواء، بوصفه خليط من الغازات، هو أيضًا قابل للانضغاط. تسمح الكمية الكبيرة من الفراغ بين جسيمات الهواء بالانضغاط إلى حجم أصغر. عندما يصبح الوعاء الحامل للغاز أكبر حجمًا، فإن الحركة العشوائية للجسيمات تملأ الفراغ المتاح. **الشكل 3** يوضح ما يحدث لكثافة الغاز في وعاء في حالة انضغاط وفي حالة السماح له بالتمدد.

**الانتشار والتدفق** وفقًا لنظرية الحركة الجزيئية، لا توجد قوى تجاذب كبيرة بين جسيمات الغاز. وهكذا، يمكن لجسيمات الغاز الانتشار بسهولة عند مرورها ببعضها البعض. في كثير من الأحيان، يكون الفضاء الذي ينتشر إليه الغاز مشغولًا بغاز آخر. تتسبب الحركة العشوائية لجسيمات الغاز في خلط الغازات إلى أن يتم توزيعها بالتساوي. **الانتشار** هو المصطلح المستخدم لوصف تنقل مادة عبر مادة أخرى. قد تكون العملية جديدة، ولكن العملية على الأرجح مألوفة لديك. إذا كان الطعام قيد التحضير في المطبخ، فإنه بإمكانك شم رائحته في جميع أرجاء المنزل لأن جسيمات الغاز تنتشر. تنتشر الجسيمات من منطقة التركيز العالي (المطبخ) إلى أخرى ذات تركيز منخفض (الغرف الأخرى في المنزل).

**التدفق عملية مرتبطة بالانتشار.** خلال التدفق، ينفذ الغاز عبر فتحة صغيرة. ماذا يحدث عند ثقب وعاء، مثل بالون أو إطار؟ في سنة 1846، أجرى توماس جراهام تجارب لقياس معدلات تدفق غازات مختلفة في نفس درجة الحرارة. صمم جراهام تجاربه بحيث تتدفق الغازات في فضاء فارغ لا يحتوي على أي مادة. فاكشف وجود علاقة عكسية بين معدلات التدفق والكتلة المولية. وينص **جراهام** أن معدل تدفق غاز ما يتناسب عكسيًا مع الجذر التربيعي لكتلته المولية.

## قانون جراهام

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

معدل انتشار أو تدفق غاز ما يتناسب عكسيًا مع الجذر التربيعي لكتلته المولية.

طبقًا لنظرية الحركة الجزيئية، أي الخصائص التالية لا تميز جسيمات الغاز؟

😊 تتحرك بشكل عشوائي ودائم

😊 حجمها صغير مقارنة بحجم الفضاء الفارغ

😊 تخضع لقوى جذب

😊 الاصطدامات بين جسيمات الغاز مرنة

39. قارن بين الانتشار والتدفق، ثم فسّر العلاقة بين سرعة هذه العمليات والكتلة المولية للغاز.

كلاهما يتضمن حركة جسيمات الغاز؛ فالانتشار هو حركة إحدى المواد من خلال الأخرى، أما التدفق فهو تسرب المادة خلال الثقوب الصغيرة نتيجة للضغط. ويتناسب معدل سرعة كل من الانتشار والتدفق عكسياً مع الجذر التربيعي للكتلة المولية للغاز.

40. في الشكل 31-6، ماذا يحدث لحثافه جسيمات الغاز في الأسطوانة عندما يتحرك المكبس من الموقع a إلى الموقع b؟



الشكل 31-6

تقل الكثافة، لأن جسيمات الغاز تحتل حجماً أكبر في وحدة المساحة.

أي مما يأتي **صحيح** فيما يتعلق بالغازات؟

وزاري

حجم الجسيمات كبير مقارنة بحجم الفضاء الفارغ

تخضع جسيمات الغاز لقوى تجاذب وتنافر

ثناء تصادم جسيمات الغاز يحدث فقد في الطاقة الحركية

حركة جسيمات الغاز دائمة وعشوائية

34. ما التصادم المرن؟

نوع من التصادم لا يوجد فيه فقدان للطاقة الحركية.

35. كيف تتغير الطاقة الحركية للجسيمات تبعاً لدرجات الحرارة؟

تناسب طاقة حركة الجسيمات طردياً مع درجة حرارتها.

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

يمكن أن تنضغط الغازات بسهولة في حجم صغير عندما يقع الضغط عليها؛ وذلك بسبب الفراغات بين جسيماتها. وتساعد حركتها العشوائية على العودة للتمدد عند إزالة الضغط عنها.

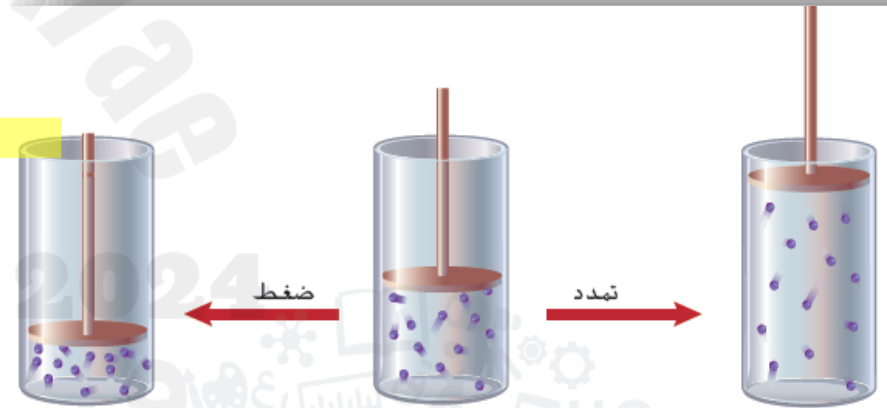
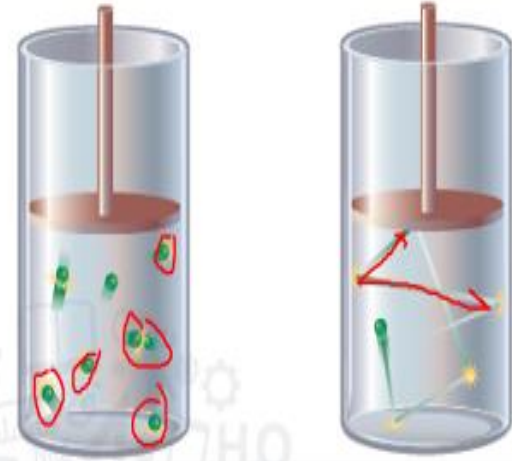
37. اذكر افتراضات نظرية الحركة الجزيئية.

- (1) تتكون المادة من جسيمات صغيرة.
- (2) تتحرك الجسيمات باستمرار، ويتصادم بعضها ببعض تصادماً مرناً.
- (3) للجسيمات طاقة حركية، ويمثل متوسط هذه الطاقة درجة الحرارة.

38. صف الصفات العامة للغازات.

للغازات كثافة قليلة، ويمكن ضغطها. كما أنها تتمدد لتملأ الحيز المتاح لها، وتنتشر، وتندفق.

الشكل 2 يمكن للطاقة الحركية للنقل بين جسيمات الغاز خلال التصادم المرن. تنتقل الجسيمات في خط مستقيم بين الاصطدامات. **وضّح** تأثير جسيمات الغاز على بعضها البعض فيما يتعلق بالاصطدامات وما يحدث للجسيمات بين الاصطدامات.



الشكل 3 في وعاء مغلق يغير الانضغاط والتمدد الحجم الذي تحتله الكتلة الثابتة للجسيمات. **اربط** تغير الحجم بكثافة جسيمات الغاز في كلا الإسطوانتين.

T.KAWTHAR HENDAWI



ما الترتيب التصاعدي الصحيح للغازات الواردة في الجدول أدناه حسب سرعة انتشارها؟

رمز الغاز	A	B	C
الكثلة المولية	32 g/mol	4 g/mol	58 g/mol

A &gt; B &gt; C ☺

B &gt; A &gt; C ☹

C &gt; B &gt; A ☺

B &gt; C &gt; A ☺

تعتمد نسبة الانتشار بشكل أساسي على كثلة الجسيمات المعنية. الجسيمات الأخف وزناً تنتشر أسرع من الجسيمات الأثقل. نذكر أن الغازات المختلفة في نفس درجة الحرارة لها نفس متوسط الطاقة الحركية كما تعطى بالمعادلة  $KE = \frac{1}{2} mv^2$  غير أن كثلة جسيمات الغاز تختلف من غاز إلى آخر، وحتى يكون للجسيمات الأخف نفس متوسط الطاقة الحركية للجسيمات الأثقل فإنه يجب أن تكون لها عموماً سرعة أكبر.

ينطبق قانون جراهام كذلك على معدلات الانتشار وهو أمر منطقي لأن الجسيمات الأثقل وزناً تنتشر بصفة أبطأ من الجسيمات الأخف وزناً في نفس درجة الحرارة. باستخدام قانون جراهام يمكنك كتابة نسبة لاختارة معدلات انتشار غازين.

$$\frac{\text{المعدل}}{\text{المعدل}} = \frac{\sqrt{\text{الكثلة المولية}}}{\sqrt{\text{الكثلة المولية}}}$$

التأكد من فهم النص فسر لماذا تعتمد نسبة الانتشار على كثلة الجسيمات.

## تطبيقات

1. احسب نسبة معدل التدفق لكل من النيتروجين  $N_2$  والنيون  $Ne$ .

$$\frac{\text{معدل انتشار } Ne}{\text{معدل انتشار } N_2} = \sqrt{\frac{\text{الكثلة المولية لـ } N_2}{\text{الكثلة المولية لـ } Ne}} = \sqrt{\frac{28.02}{20.18}} = 0.849$$

2. احسب نسبة معدل الانتشار لكل من أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون.

$$\frac{\text{معدل انتشار } CO}{\text{معدل انتشار } CO_2} = \sqrt{\frac{\text{الكثلة المولية لـ } CO_2}{\text{الكثلة المولية لـ } CO}} = \sqrt{\frac{44.01}{28.02}} = 1.25$$

3. تحفيز ما معدل تدفق غاز كتلته المولية ضعف الكتلة المولية لغاز يتدفق بمعدل 3.6 mol/min؟

$$\frac{\text{معدل تدفق X}}{3.6 \text{ mol/min}} = \sqrt{\frac{1}{2}}$$

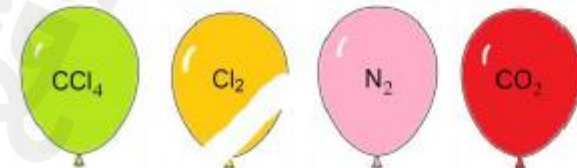
X معدل تدفق = 2.5 mol/min

50. يُمثّل الشكل 6-32 تجربة إذ يُملأ الدورق الأيسر فيها بغاز الكلور، ويُملأ الدورق الأيمن بغاز النيتروجين. صف ما يحدث عند فتح الصمام بينهما. افترض أن درجة النظام ثابتة خلال التجربة؟



الشكل 6-32

سوف تنتشر الغازات حتى تمتلئ الحجرتان بخليط الغاز نفسه.



الكثلة المولية	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	CCl <sub>4</sub>
Molar Mass (g/mol)	44	28	71	154

CO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>CCl<sub>4</sub>N<sub>2</sub>

**الانضغاط والتمدد** إذا ضغطت على وسادة مصنوعة من الإسفنج الغروي، يمكنك ضغطها، وهو ما يعني أن بإمكانك تقليص حجمها. الهواء، بوضعه خليط من الغازات، هو أيضاً قابل للانضغاط. تسمح الكمية الكبيرة من الفراغ بين جسيمات الهواء بالتقليص إلى حجم أصغر. عندما يصبح الوعاء الحامل للغاز أكبر حجماً، فإن الحركة العشوائية للجسيمات تملأ الفراغ المتاح. الشكل 3 يوضح ما يحدث لكثافة الغاز في وعاء في حالة انضغاط وفي حالة السماح له بالتمدد.

**الانتشار والتدفق** وفقاً لنظرية الحركة الجزيئية، لا توجد قوى تجاذب كبيرة بين جسيمات الغاز، وهكذا، يمكن لجسيمات الغاز الانتشار بسهولة عند مرورها ببعضها البعض. في كثير من الأحيان، يكون الفضاء الذي ينتشر إليه الغاز مشغولاً بغاز آخر. تتسبب الحركة العشوائية لجسيمات الغاز في خلط الغازات إلى أن يتم توزيعها بالتساوي. الانتشار هو المصطلح المستخدم لوصف تنقل مادة غير مادة أخرى. قد تكون العملية جديدة، ولكن العملية على الأرجح مأثوفة لذلك. إذا كان الطعام قيد التحضير في المطبخ، فإنه بإمكانك شم رائحته في جميع أرجاء المنزل لأن جسيمات الغاز تنتشر. تنتشر الجسيمات من منطقة التركيز العالي (المطبخ) إلى أخرى ذات تركيز منخفض (الغرف الأخرى في المنزل).

**التدفق عملية مرتبطة بالانتشار.** خلال التدفق، يتدفق الغاز عبر فتحة صغيرة ماذا يحدث عند ثقب وعاء، مثل بالون أو إطار؟ في سنة 1846، أجرى توماس جراهام تجارب لقياس معدلات تدفق غازات مختلفة في نفس درجة الحرارة. صمم جراهام تجاربه بحيث تتدفق الغازات في فضاء فارغ لا يحتوي على أي مادة. فاكشف وجود علاقة عكسية بين معدلات التدفق والكثلة المولية. وينص جراهام أن معدل تدفق غاز ما يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لكثلته المولية.

قانون جراهام

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

معدل انتشار أو تدفق غاز ما يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لكثلته المولية.

with different gases to the same volume.

the fastest from it?

أربع بالونات متطابقة تم ملؤها بنفس الحجم من غازات مختلفة.

أي البالونات سينتشر الغاز منه بشكل أسرع؟

ما نسبة معدلات انتشار ثالث أكسيد الكبريت ( $SO_3$ ) وثاني أكسيد الكبريت ( $SO_2$ )؟

الكثلة المولية لثالث أكسيد الكبريت - 80 g/mol

الكثلة المولية لثاني أكسيد الكبريت - 64 g/mol

0.894



**الباروميتر** الجهاز الذي اخترعته تورشيللي يُدعى باروميتر. **الباروميتر** هو جهاز يستعمل لقياس ضغط الغلاف الجوي. كما أثبت تورشيللي فإن ارتفاع الزئبق في الباروميتر عند مستوى سطح البحر هو عادة حوالي 760mm. هناك قوتان تحدّدان بدقة ارتفاع مستوى الزئبق. الجاذبية تمارس قوة ثابتة إلى أسفل ثابتة على الزئبق. وتتنصّد لهذه القوة قوة أخرى إلى أعلى يسببها ضغط الهواء للأسفل على سطح الزئبق. تنسب التغيرات في درجة حرارة الهواء أو الرطوبة في تغير ضغط الهواء.

**المانوميتر** الباروميتر هو جهاز يستخدم لقياس ضغط الغاز في وعاء مغلق. يوجد في المانوميتر دورق متصل بأنبوب على شكل U يحتوي على الزئبق كما يظهر في الشكل 6. عند فتح الصمام الموجود بين الدورق والأنبوب تنتشر جسيمات الغاز خارج الدورق إلى الأنبوب. جسيمات الغاز المنبعثة تدفع الزئبق إلى الأسفل داخل الأنبوب. يستخدم الفرق في ارتفاع الزئبق في طرفي الأنبوب لحساب ضغط الغاز في الدورق.

**وحدات الضغط** النظام الدولي لوحدات الضغط هو الباسكال (Pa). سمي نسبة إلى اسم عالم الرياضيات والفيلسوف بلير باسكال (1623-1662). الباسكال يشتق من النظام الدولي لوحدات القوة، النيوتن (N). الباسكال الواحد يساوي قوة النيوتن الواحد في المتر المربع.  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ . العديد من المجالات العلمية لا تزال تستخدم المزيد من الوحدات التقليدية للضغط. على سبيل المثال، في كثير من الأحيان يعبر المهندسون عن الضغط بالرطل في البوصة المربعة (psi). الضغوط المقاسة بأجهزة الباروميتر والمانوميتر يمكن التعبير عنها بمليمترات الزئبق (mmHg). وهناك أيضا وحدة تسمى التور (torr) ووحدة أخرى تسمى البار (bar). عند مستوى سطح البحر، يبلغ متوسط الضغط الجوي 101.3kPa. عندما تكون درجة الحرارة  $0^\circ\text{C}$ . وغالبا ما يعبر عن ضغط الهواء بوحدة تسمى ضغط جوي (atm).  $1 \text{ atm}$  يساوي 760mmHg أو 760torr أو 101.3 كيلوباسكال (kPa). الجدول 1 يقارن وحدات الضغط المختلفة. لأن الوحدات  $1 \text{ atm}$ ، 760mmHg و 760torr هي وحدات مُعرّفة، ينبغي أن يكون لديها عند استخدامها في العمليات الحسابية أرقام معنوية بقدر الحاجة.

**ضغط الغاز** هل شاهدت شخصا يحاول السير عبر الثلوج أو الوحل، أو الأسفلت الساخن بحذاء ذي كعب عالي؟ ربما لاحظت حينئذ أن الكعب العالي يفوق في السطح اللين. الشكل 4 يبين لماذا يفوق شخص عند ارتداء الكعب العالي ولكن لا يفوق عندما يرتدي حذاء عادي. في كلتا الحالتين، ترتبط القوة الضاغطة للأسفل على السطح اللين بكتلة الشخص. مع الأحذية العادية، تنتشر القوة على مساحة أكبر. يعرف **الضغط** بأنه القوة المؤثرة على وحدة المساحة. مساحة الجزء السفلي للحذاء العادي أكبر بكثير من مساحة الجزء السفلي للأحذية ذات الكعب العالي. لذا، فإن الضغط على سطح لثين بالحذاء العادي أقل مما هو عليه بالكعب العالي. جسيمات الغاز أيضا تمارس الضغط عندما تصادم مع جدران الإناء الحاوي لها. لأن جسيمات الغاز كتلتها صغيرة، بإمكانها أن تمارس ضغطا قليلا. ومع ذلك، فإن حاوية بحجم لتر بإمكانها استيعاب  $10^{22}$  من جسيمات الغاز. بهذا العدد من الجسيمات المتصادمة، يمكن أن يكون الضغط عاليا.

**ضغط الهواء** يحيط بالأرض غلاف جوي يمتد في الفضاء لنباتات الكيلومترات. لأن الجسيمات تتحرك في الهواء في كل اتجاه، فإنها تمارس الضغط في كل الاتجاهات، ويسمى هذا الضغط بالضغط الجوي. أو ضغط الهواء. يختلف ضغط الهواء من موقع إلى آخر على سطح الأرض. بما أن الجاذبية أكبر على سطح الأرض، فإن عدد الجسيمات يكون أكثر مما هو عليه في ارتفاعات أعلى حيث تكون قوة الجاذبية أقل. الجسيمات القليلة في الأماكن المرتفعة تمارس قوة أقل مقارنة بالجسيمات ذات التركيز الأعلى في الأماكن المنخفضة. لذلك يكون ضغط الهواء في الأماكن الأعلى مما هو عليه في مستوى سطح البحر. عند مستوى سطح البحر، تبلغ المساحة الجزيئية بحوالي كيلوغرام واحد لكل سنتيمتر مربع.

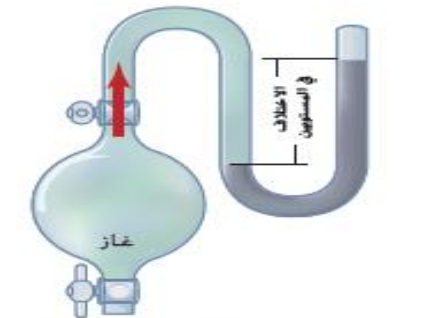
**حساب ضغط الهواء** الفيزيائي الإيطالي إيفانجيلستا تورشيللي (1608-1647) كان أول من أثبت أن الهواء يمارس الضغط. فقد لاحظ أن مضخات المياه كانت غير قادرة على دفع المياه أعلى من نحو 10 m. فافترض أن ارتفاع عمود من السائل قد يختلف باختلاف كثافة السائل. لاختبار هذه الفكرة، صمم تورشيللي المعدات المبينة في الشكل 5. ملأ أنبوبا زجاجيا رقيقا مغلقا من طرف واحد بالزئبق. في حين غطى الطرف المفتوح من الأنبوب، وقام بقلب الأنبوب ووضع (بحيث يكون الطرف المفتوح متجهًا إلى أعلى) في وعاء فيه زئبق. فانخفض ارتفاع عمود الزئبق إلى نحو واحد على أربع عشر مرة بعد ماء مماثل. مما يؤكد فرضية تورشيللي بأن الزئبق هو أكثر كثافة بما يقارب أربع عشرة مرة من الماء.



**الشكل 4** الأحذية ذات الكعب العالي تزيد الضغط على سطح ما يسبب صغر المساحة الملامسة للأرض... في الأحذية العادية المسطحة، يتم تطبيق القوة على مساحة أكبر. **استنتج** أين تقع نقطة الضغط الأعلى بين الأرض والحذاء ذي الكعب العالي.



قبل أن يتم إطلاق الغاز في الأنبوب على شكل U، يكون الزئبق في نفس الارتفاع في كلا الطرفين.



بعد إطلاق الغاز في الأنبوب على شكل U، لم تبقى الارتفاعات متساوية في طرفي الأنبوب. **الشكل 6** يقيس المانوميتر ضغط الغاز في وعاء مغلق.

### الجدول 1 مقارنة وحدات الضغط

الوحدة	العدد مساوي 1 atm	العدد مساوي 1 kPa
كيلوباسكال (kPa)	101.3 kPa	—
ضغط جوي (atm)	—	0.009869 atm
ميليمتر زئبق (mmHg)	760 mmHg	7.501 mmHg
تور (torr)	760 torr	7.501 torr
رطل لكل بوصة مربعة (psi or lb/in <sup>2</sup> )	14.7 psi	0.145 psi
بار (bar)	1.01 bar	0.01 bar

47. تبلغ قيمة الضغط عند قمة أعلى جبل في العالم، قمة إفرست، 33.6kPa تقريبًا، حوّل قيمة الضغط إلى وحدة ضغط جوي atm، ثمّ قارن هذا الضغط والضغط عند سطح البحر.

$$33.6 \text{ kPa} \times \left( \frac{1 \text{ atm}}{101.325 \text{ kPa}} \right) = 0.332 \text{ atm}$$

حيث إن 0.332 atm هو ثلث الضغط عند سطح البحر.

48. ارتفاعات عالية يساوي الضغط الجوي عند قمة أحد جبال المملكة 84.0kPa تقريبًا، ما قيمة الضغط بوحدة atm و torr؟

$$84.0 \text{ kPa} \times \left( \frac{1 \text{ atm}}{101.325 \text{ kPa}} \right) = 0.829 \text{ atm}$$

$$84.0 \text{ kPa} \times \left( \frac{760 \text{ torr}}{101.325 \text{ kPa}} \right) = 6.30 \times 10^2 \text{ torr}$$

$$84.0 \text{ kPa} = 0.829 \text{ atm} = 6.30 \times 10^2 \text{ torr}$$



it contains three  
81 kPa, and 5.22 kPa?  
ما الضغط الكلي لخليط يحتوي على ثلاث غازات ضغوطها  
الجزئية كالتالي 1.35 kPa ، 3.81 kPa ، 5.22 kPa ؟



12.76 kPa

10.38 kPa

7.68 kPa

7. تحفيز الهواء خليط من الغازات يحتوي على غاز النيتروجين بنسبة 78% وغاز الأكسجين 21% وغاز الأرجون 1% (وهناك كميات ضئيلة من الغازات الأخرى). فإذا علمت أن الضغط الجوي يساوي 760 mm Hg، فما الضغوط الجزئية لكل من النيتروجين والأكسجين والأرجون في الهواء؟

$$760 \text{ mm Hg} \times 0.78 = N_2 = 593 \text{ mm Hg}$$

$$760 \text{ mm Hg} \times 0.21 = O_2 = 160 \text{ mm Hg}$$

$$760 \text{ mm Hg} \times 0.01 = Ar = 8 \text{ mm Hg}$$

ما الضغط الجزئي لبخار الماء في عينة من الهواء عندما يكون

الضغط الكلي 1.00 atm والضغط الجزئي لثنائي نيتروجين 0.79 atm

والضغط الجزئي للأكسجين 0.20 atm والضغط الجزئي لجميع

الغازات الأخرى 0.0044 atm ؟

0.0056 atm

يكون الضغط على قمة جبل جيس في دولة الإمارات العربية المتحدة هو عادة حوالي 80.5 kPa  
ما قيمة هذا الضغط بوحدة torr ؟  
(1 atm = 101.3 kPa ، 1 atm = 760 torr)  
A) 0.794 B) 604 C) 8146 D) 1.26

4. احسب الضغط الجزئي لغاز الهيدروجين في خليط من غاز الهيليوم وغاز الهيدروجين، علماً بأن الضغط الكلي 600 mm Hg والضغط الجزئي للهيليوم يساوي 439 mm Hg

$$600 \text{ mm Hg} - 439 \text{ mm Hg} = 161 \text{ mm Hg}$$

5. اوجد الضغط الكلي لخليط غاز مكوّن من أربعة غازات بضغوط جزئية على النحو الآتي: 5.00 kPa و 4.56 kPa و 3.02 kPa و 1.20 kPa

$$1.20 \text{ kPa} + 3.02 \text{ kPa} + 4.56 \text{ kPa} + 5.00 \text{ kPa}$$

اوجد الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون في خليط من الغازات، علماً بأن ضغط الغازات الكلي يساوي 30.4 kPa والضغوط الجزئية للغازين الآخرين هما 16.5 kPa و 3.7 kPa

$$30.4 \text{ kPa} - 16.5 \text{ kPa} - 3.7 \text{ kPa} = 10.2 \text{ kPa}$$

**قانون دالتون للضغوط الجزئية** عندما درس دالتون خصائص الغازات وجد أن كل غاز موجود في خليط ما يمارس الضغط بشكل مستقل عن الغازات الأخرى الموجودة. كما هو مبين في الشكل 7. ينشأ قانون دالتون للضغوط الجزئية على أن الضغط الكلي لخليط من الغازات يساوي مجموع ضغوط جميع الغازات الموجودة في الخليط. ويطلق على نسبة ضغط كل غاز من الضغط الكلي الضغط الجزئي. الضغط الجزئي لغاز ما يعتمد على عدد مولات هذا الغاز وحجم الوعاء ودرجة حرارة الخليط. وهو لا يعتمد على هوية الغاز. عند درجة حرارة وخليط محددتين، يكون الضغط الجزئي لـ 1 mol من أي غاز هو نفسه. ويمكن تلخيص قانون دالتون للضغوط الجزئية بالمعادلة الموجودة في الجزء العلوي من الصفحة الثالثة

قانون دالتون للضغوط الجزئية

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

مثال 2

الضغط الجزئي لغاز ما خليط من الأكسجين ( $O_2$ )، ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ )، والنيتروجين ( $N_2$ ) مجموع ضغوطها 0.97 atm. ما هو الضغط الجزئي لـ  $O_2$  إذا كان الضغط الجزئي لـ  $CO_2$  هو 0.70 atm والضغط الجزئي لـ  $N_2$  هو 0.12 atm ؟

1 تحليل المسألة

أعطيت الضغط الكلي والضغط الجزئي لغازين اثنين في الخليط. لإيجاد الضغط الجزئي للغاز الثالث استخدم المعادلة التي تربط الضغوط الجزئية والضغط الكلي.

<b>المعروف</b>	<b>المجهول</b>
$P_{N_2} = 0.12 \text{ atm}$	$P_{O_2} = ? \text{ atm}$
$P_{CO_2} = 0.70 \text{ atm}$	
$P_T = 0.97 \text{ atm}$	

2 حساب المجهول

$$P_T = P_{N_2} + P_{CO_2} + P_{O_2}$$

$$P_{O_2} = P_T - P_{CO_2} - P_{N_2}$$

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

اكتب قانون دالتون للضغوط الجزئية

حل لحساب  $P_{O_2}$

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

$$P_{O_2} = 0.12 \text{ atm} \quad P_{CO_2} = 0.70 \text{ atm} \quad P_T = 0.97 \text{ atm}$$

تطبيقات

4. ما الضغط الجزئي لغاز الهيدروجين في خليط من الهيدروجين والهيليوم إذا كان الضغط الكلي هو 600 mmHg والضغط الجزئي لغاز الهيليوم هو 1439 mmHg

5. ما الضغط الكلي لخليط يحتوي على أربع غازات ضغوطها الجزئية كالتالي 5.00 kPa و 4.56 kPa و 3.02 kPa و 1.20 kPa

6. احسب الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون في خليط من الغازات ذو ضغط كلي يساوي 30.4 kPa إذا كان الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون في الخليط هما 16.5 kPa و 3.7 kPa

7. تحدي الهواء هو خليط من الغازات، يتكوّن من نحو 78% من النيتروجين و 21% أكسجين و 1% أرجون. (هناك كميات ضئيلة من غازات عديدة أخرى في الهواء) إذا كان الضغط الجوي هو 760 mmHg، ما الضغوط الجزئية للنيتروجين والأكسجين والأرجون في الغلاف الجوي؟

9. صف كيف تؤثر كتلة جسيم الغاز في معدل انتشاره وتدفقه.

يقل معدل سرعة الانتشار والتدفق بزيادة الكتلة.

11. فسّر لماذا يُنكس وعاء الماء عند جمع الغاز بإحلاله محلّ الماء؟

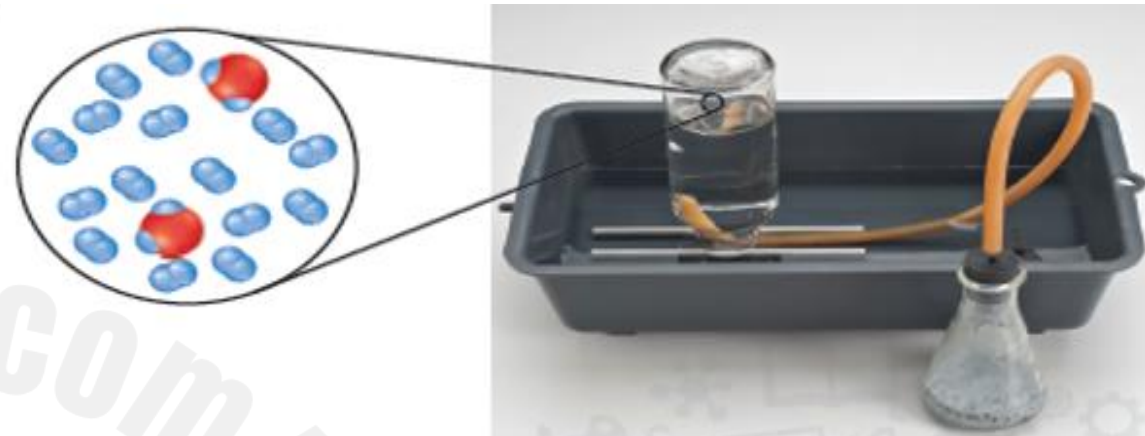
إذا لم يُقلب (يُنكس) الوعاء فسيمرّ الغاز، الذي هو أقلّ كثافة من الماء، من خلال الماء ويتسرّب من فتحة الوعاء.

13. استنتج ما إذا كان لدرجة الحرارة تأثير في معدل انتشار الغاز، فسّر إجابتك.

يزداد معدل سرعة الجسيمات بزيادة درجة الحرارة. لذا، ستنتشر الجسيمات بسرعة.

العوامل التي تؤثر بالضغط الجزئي للغاز هي:  
الضغط الكلي، عدد المولات (أو التركيز) للغاز في الخليط، ودرجة الحرارة.

أما العوامل التي لا تؤثر بالضغط الجزئي للغاز، فهي:  
الحجم، وخصائص الغاز ذاته (مثل الكتلة الجزيئية أو نوع الغاز)



الشكل 8 يتفاعل حمض الكبريتيك ( $H_2SO_4$ ) في الدورق المخروطي مع الخارصين لإنتاج غاز الهيدروجين، الذي جمع عند درجة حرارة  $20^\circ C$ . احسب الضغط الجزئي للهيدروجين عند درجة حرارة  $20^\circ C$  إذا كان الضغط الكلي لخليط من الهيدروجين وبخار الماء يساوي  $100.0 kPa$ .

استخدام قانون دالتون يمكن استخدام الضغوط الجزئية لتحديد كمية الغاز التي أنتجها التفاعل. حيث يمرر الغاز الناتج إلى وعاء منكس في الماء في شكل فقاعات كما هو مبين في الشكل 8. خلال تجعته، يُزيح الغازُ الماءَ، سيصبح الغاز المجمع في الوعاء خليطاً من الهيدروجين وبخار الماء. لذلك، فإن الضغط الكلي داخل الوعاء يصبح مجموع الضغوط الجزئية للهيدروجين وبخار الماء. تُرسل الضغوط الجزئية للغازات عند نفس درجة الحرارة بتركيزها. الضغط الجزئي لبخار الماء له قيمة ثابتة عند درجة حرارة معينة. يمكنك البحث عن القيمة في الجدول المرجعي. الضغط الجزئي لبخار الماء عند  $20^\circ C$  هو  $2.3 kPa$ . يمكنك حساب الضغط الجزئي للهيدروجين بطرح الضغط الجزئي لبخار الماء من الضغط الكلي.

كما ستقرأ لاحقاً، فإن معرفة الضغط والحجم ودرجة حرارة غاز ما يسمح لك بحساب عدد مولات الغاز. يمكن قياس درجة الحرارة والحجم أثناء التجربة، ويتم توظيف الضغط الجزئي لبخار الماء لحساب ضغط الغاز عندما تُعرف درجة الحرارة. يتم توظيف القيم المعروفة عن الحجم ودرجة الحرارة والضغط لإيجاد عدد المولات.



Boyle's law to calculate volume-pressure changes at constant temperature

## مثال 1

**قانون بويل** غواص يُطلق فقاعة هواء حجمها 0.75 L على مسافة 10 m تحت الماء. وعندما ارتفعت نحو السطح، ينخفض الضغط من 2.25 atm إلى 1.03 atm. ما حجم الهواء في الفقاعة عند السطح؟

## 1 تحليل المسألة

وفقاً لقانون بويل، فإن الانخفاض في الضغط على الفقاعة سينتج عنه زيادة في الحجم وبالتالي فإنه يجب ضرب الحجم الأولي في نسبة ضغط أكبر من 1.

المجهول

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

المعلوم

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

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

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

## 2 حساب المجهول

استخدام قانون بويل. أعد ترتيب القانون لإيجاد قيمة  $V_2$  واحسب الحجم الجديد.

اكتب قانون بويل.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

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

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

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

$$5 \text{ L } P_1 = 2.25 \text{ atm و } P_2 = 1.03 \text{ atm}$$

ضرب وقسمة الأعداد والوحدات

## 3 تقييم الإجابة

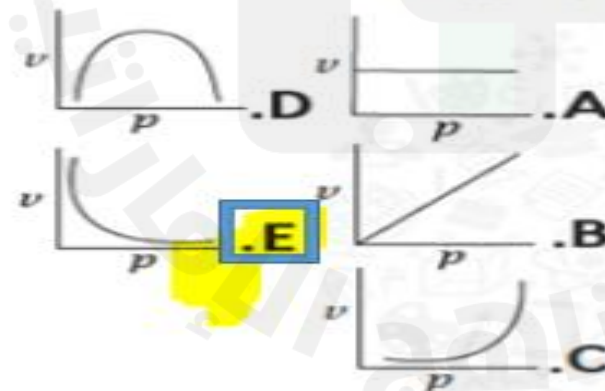
يبدو أن الضغط بمقدار النصف تقريباً ولذلك يجب أن يتضاعف مقدار الحجم. يتم التعبير عن الإجابة بالوحدات الصحيحة وتحتوي الإجابة بشكل صحيح على رقمين معنويين.

## تطبيقات

افترض أن درجة الحرارة وثابت الغاز يتان في المسائل التالية:

1. حجم الغاز عند 99.0 kPa هو 300.0 mL. إذا كان الضغط 188 kPa فماذا سيكون حجمه الجديد؟
2. ضغط عينة من الهيليوم في حاوية سعة 1.00 L هو 0.988 atm. ما الضغط الجديد إذا تم وضع العينة في حاوية سعة 2.00 L؟
3. تحدي هواء محصور في أسطوانة مغلقة بركب يسفل 145.7 mL عند ضغط 1.08 atm.

12. ما المخطط الذي يوضح العلاقة بين حجم وضغط الغاز عند درجة حرارة ثابتة؟



1. إذا كان حجم غاز عند ضغط 99.0 kPa هو 300.0 mL، وأصبح الضغط 188 kPa فما الحجم الجديد؟

$$V_1 P_1 = V_2 P_2 \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 P_1}{P_2}$$

$$V_2 = \frac{(300.0 \text{ mL})(99.0 \text{ kPa})}{188 \text{ kPa}} = 158 \text{ mL}$$

2. إذا كان ضغط عينة من غاز الهيليوم في إناء حجمه 1.00 L هو 0.988 atm، فما مقدار ضغط هذه العينة إذا نُقِلَتْ إلى وعاء حجمه 2.00 L؟

$$V_1 P_1 = V_2 P_2 \Rightarrow P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2}$$

$$P_2 = \frac{(0.988 \text{ atm})(1.00 \text{ L})}{2.00 \text{ L}} = 0.494 \text{ atm}$$

3. تحفيز إذا كان مقدار حجم غاز محصور تحت مكبس أسطوانة 145.7 mL، وضغطه 1.08 atm، فما حجمه الجديد عندما يزداد الضغط بمقدار 25%؟

$$P_2 = (1.08 \text{ atm}) + (25\% \times 1.08 \text{ atm}) = 1.35 \text{ atm}$$

$$V_1 P_1 = V_2 P_2 \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 P_1}{P_2}$$

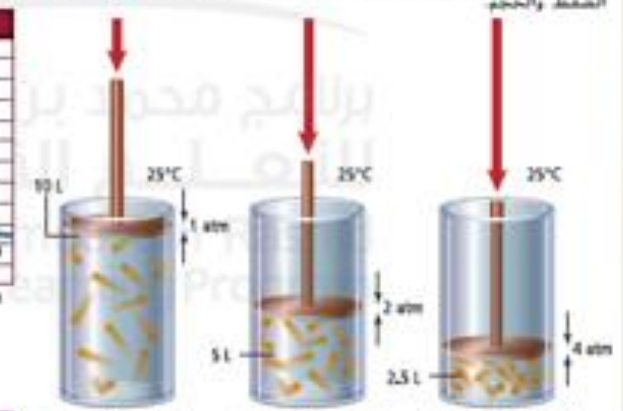
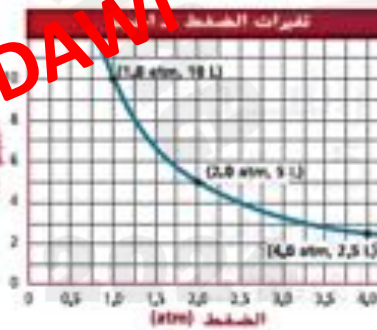
$$V_2 = \frac{(145.7 \text{ mL})(1.08 \text{ atm})}{1.35 \text{ atm}} = 117 \text{ mL}$$

## قانون بويل

**ما هي العلاقة بين الضغط والحجم؟** صمم بويل تجارب مثل التجربة الموضحة في الشكل 1. وأوضح بويل أنه في حالة ثبات درجة حرارة الغاز وكميته، فإن مضاعفة الضغط الواقع على الغاز يقلل من حجمه إلى النصف، من ناحية أخرى، خفض الضغط الواقع على الغاز إلى النصف يضاعف من حجم الغاز. العلاقة التي يزداد فيها متغير واحد نسبياً في الوقت الذي ينخفض فيها المتغير الآخر تعرف باسم علاقة التناسب العكسي.

**قانون بويل ينص على أن حجم مقدار محدد من الغاز في درجة حرارة ثابتة يتناسب عكسياً مع الضغط.** انظر إلى الرسم البياني في الشكل 1 حيث مخطط العلاقة العكسية بين حجم الغاز والضغط. ينتج عن تخطيط علاقة التناسب العكسي رسم منحني يتجه إلى أسفل.

الشكل 1 حيث أن الضغط الخارجي على مكبس الأسطوانة يزداد، فإن الحجم داخل الأسطوانة ينخفض. الرسم البياني يوضح العلاقة العكسية بين الضغط والحجم.



التأكد من فهم الرسم البياني  
تطبيق استخدم الرسم البياني لتحديد الحجم إذا كان الضغط 2.5 atm.

$$P_1 V_1 = (1 \text{ atm})(10 \text{ L}) = 10 \text{ atm} \cdot \text{L}$$

$$P_2 V_2 = (2 \text{ atm})(5 \text{ L}) = 10 \text{ atm} \cdot \text{L}$$

$$P_3 V_3 = (4 \text{ atm})(2.5 \text{ L}) = 10 \text{ atm} \cdot \text{L}$$

لاحظ أن ناتج حاصل ضرب الضغط في الحجم عند كل نقطة في الشكل 1 هو 10 atm·L. يمكن التعبير عن قانون بويل رياضياً كما يلي:

## قانون بويل

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

بالنسبة لمقدار معلوم من الغاز محفوظ في درجة حرارة ثابتة، فإن الناتج من حاصل ضرب الضغط في الحجم يساوي مقدار ثابت.

$P_1$  و  $V_1$  يمثلان الظروف الأولية و  $P_2$  و  $V_2$  يمثلان الظروف النهائية. إذا علمت أي ثلاث قيم من هذه القيم، يمكنك معرفة الرابعة وإعادة تنظيم المعادلة.



## قانون شارل

في التجربة الاستهلالية، لاحظت أن محيط البالون انخفض بعد أن غُمر في الماء المتجمد. لماذا حدث ذلك؟ بعد أمسية باردة، تلاحظ أن طوف حزام السباحة المطاطي انتفخ جزئياً خلال ظهيرة مشمسة. يمكن أن يبدو نفس الطوف منتفخاً تماماً. لماذا تغير مظهر الطوف؟ يمكن الإجابة عن هذه الأسئلة بتطبيق قانون الغاز الثاني—قانون شارل.

**ما العلاقة بين درجة الحرارة والحجم؟** جاك شارل (1746-1823)، فيزيائي فرنسي، درس العلاقة بين الحجم ودرجة الحرارة، ولاحظ أنه بزيادة درجة الحرارة، يزيد حجم عينة الغاز في حالة ثبات كمية الغاز والضغط. ويفسر هذه الخاصية نظرية الحركة الجزيئية، كلما زادت درجة الحرارة، تحركت جسيمات الغاز أسرع وتستخدم بجدان الحاوية بشكل أكثر وبثوة أكبر. ولأن الضغط يعتمد على عدد الاصطدامات والقوة التي تصطدم بهما جسيمات الغاز بجدان الحاوية، فإن ذلك سيزيد من الضغط. ولكي يظل الضغط ثابتاً، فإن الحجم يجب أن يزداد ولذلك تتحرك الجسيمات بشكل أسرع قبل الاصطدام بالجدان. والاضطرار إلى الحركة بشكل أسرع يخفض من عدد اصطدامات الجسيمات مع جدران الحاوية.

الأسطوانات في الشكل 2 توضح كيف يتغير حجم الغاز الثالث من الغاز عند تسخينه. وعلى النقيض في الشكل 1، حيث وقع الضغط بالإضافة إلى الضغط الجوي على التكبير فإن التكبير في الشكل 2 حر الحركة. وذلك يعني أن التكبير سوف يكون مدعوماً بالغاز داخل الأسطوانة عند مستوى يتطابق فيه ضغط الغاز ثباتاً مع الضغط الجوي. وكما ترى، فإن الحجم الذي يشغله الغاز عند ضغط 1 atm يزداد بزيادة درجة الحرارة في الأسطوانة. وتعتبر المسافة التي يتحركها المكبس متباينة للزيادة في حجم الغاز عند تسخينه.

**الرسم البياني للعلاقة بين درجة الحرارة والحجم** الشكل 2 يوضح أيضاً الرسوم البيانية للعلاقة بين درجة حرارة وحجم مقدار ثابت من الغاز عند ضغط ثابت. الرسم التخطيطي للحجم مقابل درجة الحرارة عبارة عن خط مستقيم. لاحظ أنه يمكنك التنبؤ بدرجة الحرارة التي سيصل عندها الحجم إلى 0 L وذلك بيد رسم الخط إلى درجات حرارة أقل من القيم التي تم قياسها.

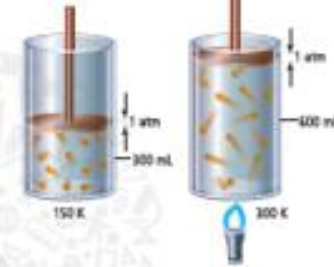
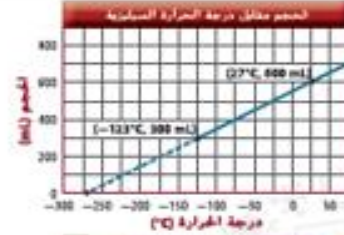
في الرسم البياني الأول، درجة الحرارة التي تتقابل حجماً قدره 0 L هي  $-273.15^\circ\text{C}$ . وهذه العلاقة خطية ولكنها ليست علاقة تناسب طردي. على سبيل المثال، يمكنك ملاحظة أن الرسم البياني للخط لا يمر عبر نقطة الأصل وأن ذلك يضاعف درجة الحرارة من  $25^\circ\text{C}$  إلى  $50^\circ\text{C}$  ولكنه لا يضاعف الحجم.

لنرى الرسم البياني ثم نلاحظ كيف يتغير الحجم مع التسخين.

شارل

- ما القانون الذي يملكه الرسم البياني؟
- ما هي آلة درجة حرارة تكون فيها الذرات جميعها في أقل حالة ممكنة من الطاقة؟
- هل يوضح الرسم البياني تناسلاً طردياً؟
- ما السبب؟

الشكل 2 عند تسخين الأسطوانة، فإن الطاقة الحركية لجسيمات الغاز تزداد وتدفقه نحو الخارج. وتوضح الرسوم البيانية العلاقة بين الحجم ودرجات الحرارة على مقياس سيلزي وكلفن.



$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{300 \text{ mL}}{150 \text{ K}} = 2 \text{ mL/K}$$

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{600 \text{ mL}}{300 \text{ K}} = 2 \text{ mL/K}$$

الرسم البياني الثاني في الشكل 2 والذي يرسم درجة حرارة كلن (K) مقابل الحجم، يعرض بالفعل علاقة تناسب طردي. درجة حرارة 0 K التي تمثل 0 mL وتضاعف درجة الحرارة تضاعف الحجم. الصفر على مقياس كلن يعرف أيضاً بالصفر المطلق. يمثل الصفر المطلق أقل درجة حرارة نظرية محتملة. وعند الصفر المطلق، تكون الذرات جميعها في أقل حالة ممكنة من الطاقة.

**النقطة من فهم الرسم البياني** فسر لماذا يوضع الرسم البياني في الشكل 2 شاملاً طردياً، بينما الرسم البياني الأول ليس كذلك.

**استخدام قانون شارل** ينص قانون شارل على أن حجم المتغير المعلوم من الغاز يتناسب طردياً مع درجة حرارته بالكلفن عند ضغط ثابت. يمكن التعبير عن قانون شارل كما يلي:

قانون شارل

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

بالنسبة لعدد معلوم من الغاز عند ضغط ثابت، فإن ناتج نسبة الحجم إلى درجة الحرارة بالكلفن يكون ثابتاً.

في المعادلة أعلاه  $V_1$  و  $T_1$  تمثل الظروف الأولية، بينما  $V_2$  و  $T_2$  تمثل ظروف جديدة، وكما هو الحال مع قانون بويل، إذا علمت ثلاث قيم من القيم، يمكنك حساب القيمة الرابعة. يجب التعبير عن درجة الحرارة بمقياس كلن عند استخدام المعادلة لقانون شارل لتحويل درجة الحرارة من درجات سيليزية إلى كلن. قم بإضافة 273 إلى درجة حرارة السيليزية.

$$T_K = 273 + T_C$$



نعم كلما زادت درجة الحرارة زاد الحجم

## مثال 2

**قانون شارل** بالون الهيليوم في السيارة المتقلبة يشغل حجماً قدره 232 L عند درجة حرارة  $40.0^\circ\text{C}$ . إذا تو ركن السيارة في يوم حار وكانت درجة الحرارة داخل السيارة  $75.0^\circ\text{C}$ ، فما هو الحجم الجديد للبالون. مع افتراض أن الضغط يظل ثابتاً؟

## تحليل المسألة

ينص قانون شارل على أن حجم كمية محددة من الغاز يزداد بزيادة درجة الحرارة عند ثبات الضغط. وبالتالي، فإن حجم البالون سيزداد. يجب ضرب الحجم الأولي في نسبة درجة حرارة أكبر من 1.

**المعروف**  
 $T_1 = 40.0^\circ\text{C}$   
 $V_1 = 232 \text{ L}$   
 $T_2 = 75.0^\circ\text{C}$

## حساب المجهول

تحويل الدرجات السيليزية إلى كلن:

$$T_K = 273 + T_C$$

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

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

استخدام قانون شارل: أعد ترتيب القانون لإيجاد قيمة  $V_2$  والتعويض بالقيم المعلوم في المعادلة التي تم إعادة ترتيبها.

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

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

$$V_2 = 232 \text{ L} \left( \frac{348.0 \text{ K}}{313.0 \text{ K}} \right)$$

$$V_2 = 232 \text{ L} \left( \frac{348.0}{313.0} \right) = 258 \text{ L}$$

## تطبيقات

افتراض أن الضغط وكمية الغاز ثابتان في كلتا المسائل.

1. ما حجم الغاز في البالون الظاهر على اليسار عند درجة حرارة  $273 \text{ K}$ ؟
2. يشغل غاز عند درجة حرارة  $89^\circ\text{C}$  حجماً مقداره 0.67 L. ما درجة الحرارة السيليزية التي سيزداد عندها الحجم إلى 1.12 L؟
3. درجة الحرارة السيليزية لعينة حجمها 3.00 L من الغاز تنخفض من  $80.0^\circ\text{C}$  إلى  $30.0^\circ\text{C}$ . فما الحجم النهائي لهذا الغاز؟
4. تحدد غاز يشغل حجماً مقداره 0.67 L عند درجة حرارة 350 K. فما درجة الحرارة المطلقة لخفض الحجم بنسبة 45%؟



أي من العبارات التالية صحيحة فيما يتعلق بالصفر المطلق؟

هو الصفر الموجود على مقياس درجة الحرارة السيليزية

هو الصفر على مقياس كلفن ويساوي  $-273^\circ\text{C}$

تكون الذرات جميعها في أعلى حالة ممكنة من الطاقة

توجد درجة أقل من الصفر المطلق بالسالب

## Charles's law to calculate volume-temperature

4. ما الحجم الذي يشغله الغاز في البالون الموجود أدناه عند درجة  $250 \text{ K}$ ؟



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

$$V_2 = \frac{(4.3 \text{ L}) (250 \text{ K})}{350 \text{ K}} = 3.1 \text{ L}$$

5. شغل غاز عند درجة حرارة  $89^\circ\text{C}$  حجماً مقداره (0.67 L). عند أي درجة سيليزية سيزيد الحجم ليصل 1.12 L؟

$$T_1 = 89^\circ\text{C} + 273 = 362 \text{ K}$$

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

$$T_2 = \frac{(362 \text{ K}) (1.12 \text{ L})}{0.67 \text{ L}} = 605 \text{ K}$$

$$605 \text{ K} - 273 \text{ K} = 332^\circ\text{C}$$

6. إذا انخفضت درجة الحرارة السيليزية لعينة من الغاز حجمها 3.0 L من  $80^\circ\text{C}$  إلى  $30^\circ\text{C}$ . فما الحجم الجديد للغاز؟

$$T_1 = 80^\circ\text{C} + 273 = 353 \text{ K}$$

$$T_2 = 30^\circ\text{C} + 273 = 303 \text{ K}$$

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

$$V_2 = \frac{(3.00 \text{ L}) (303 \text{ K})}{353 \text{ K}} = 2.58 \text{ L}$$

7. تحفيز يشغل غاز حجماً مقداره 0.67 L عند درجة حرارة (350 K). ما درجة الحرارة اللازمة لخفض الحجم بمقدار 45%؟

$$V_2 = 0.67 \text{ L} - (0.45 \times 0.67 \text{ L}) = 0.37 \text{ L}$$

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

$$T_2 = \frac{(350 \text{ K}) (0.37 \text{ L})}{0.67 \text{ L}} = 190 \text{ K}$$



## تطبيقات

8. إذا كان ضغط إطار سيارة 1.88 atm عند درجة حرارة 25.0 °C، فكم يكون الضغط إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 37.0 °C؟

$$T_1 = 25.0^\circ\text{C} + 273 = 298\text{ K}$$

$$T_2 = 37.0^\circ\text{C} + 273 = 310\text{ K}$$

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

$$P_2 = \frac{(1.88\text{ atm})(310\text{ K})}{298\text{ K}} = 1.96\text{ atm}$$

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

$$T_2 = 36.5^\circ\text{C} + 273 = 309.5\text{ K}$$

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

$$T_1 = \frac{(309.5\text{ K})(1.12\text{ atm})}{2.56\text{ atm}} = 135\text{ K}$$

$$135\text{ K} - 273\text{ K} = -138^\circ\text{C}$$

10. تحفيز إذا كان ضغط عينة من الغاز يساوي 30.7 kPa عند درجة حرارة 0.00 °C، فكم ينبغي أن ترتفع درجة الحرارة السيليزية للعينة حتى يتضاعف ضغطها؟

$$T_1 = 0.00^\circ\text{C} + 273 = 273\text{ K}$$

$$P_2 = (30.7\text{ kPa}) \times (2) = 61.4\text{ atm}$$

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

## مثال 3

**قانون جاي لوساك** ضغط غاز الأكسجين داخل وعاء هو 5.00 atm عند درجة حرارة 25.0 °C. ويضع الوعاء في معسكر على قمة جبل جيس في رأس الخيمة. فإذا كانت درجة الحرارة هناك -10.0 °C، فما الضغط الجديد داخل الوعاء؟

### 1 تحليل المسألة

ينص قانون جاي لوساك على أنه إذا انخفضت درجة حرارة الغاز، فإن الضغط ينخفض عندما يكون الحجم ثابتاً. وبالتالي، فإن الضغط في وعاء الأكسجين سينخفض. يجب ضرب الضغط الأولي في نسبة درجة حرارة أقل من 1.

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

### 2 حساب المجهول

تحويل الدرجات السيليزية إلى كلفن.

$$T_K = 273 + T_C$$

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

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

استخدام قانون جاي لوساك. أعد ترتيب القانون لإيجاد قيمة  $P_2$  باستخدام المعلومات المعطاة. أعد ترتيب المعادلة التي شئت إعادة ترتيبها.

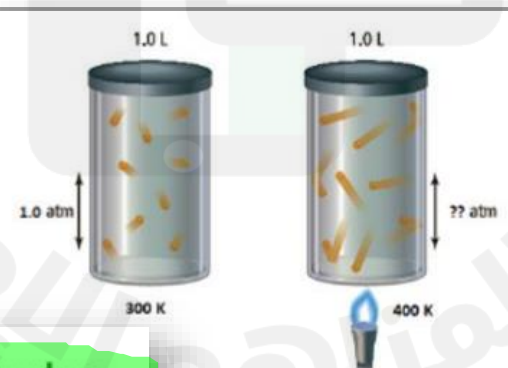
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow P_2 = P_1 \left( \frac{T_2}{T_1} \right)$$

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

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

وزاري

كم سيصبح الضغط إذا زادت درجة الحرارة إلى 400 K؟



1.30 atm

## قانون جاي لوساك

في التجربة الاستهلالية، رأيت قانون شارل عملياً حيث تغير حجم البالون تحت تأثير درجة الحرارة. ما الذي كان سيحدث إذا كان شكل البالون صلباً؟ وإذا كان الحجم ثابتاً، فهل توجد علاقة بين درجة الحرارة والضغط؟ الإجابة على هذا السؤال موجودة في قانون جاي لوساك.

**ما هي العلاقة بين درجة حرارة الغاز وضغطه؟** الضغط عبارة عن نتيجة مباشرة للتصادمات بين جسيمات الغاز وجدران الحاوية. الزيادة في درجة الحرارة يزيد من تكرار التصادم والطاقة وبالتالي زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة الضغط. إذا كان الحجم ثابتاً، جوزيف جاي-لوساك (1778-1850) وجد أن الضغط يتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة، كما هو موضح في الشكل 3. **قانون جاي لوساك** ينص على أن ضغط المتدور الثابت من الغاز يتناسب طردياً مع درجة الحرارة بالكلفن في حالة ثبات الحجم ويمكن التعبير عنه رياضياً كما يلي:

## قانون جاي لوساك

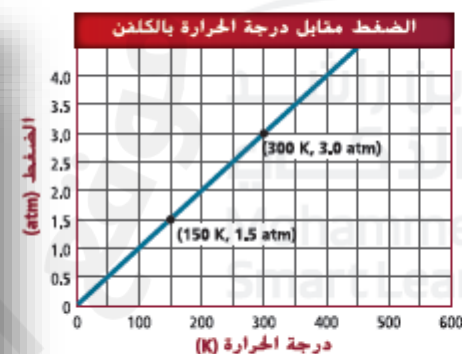
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$P$  تمثل الضغط.  
 $T$  تمثل درجة الحرارة.

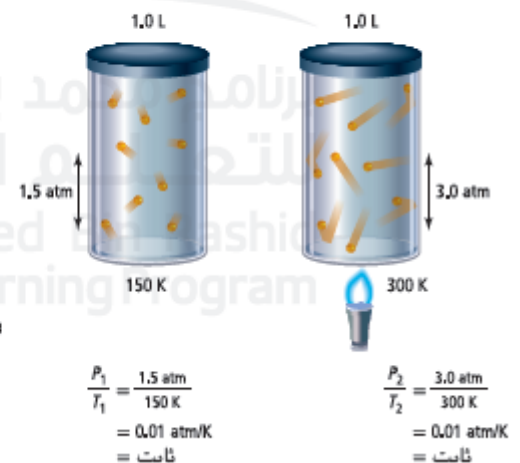
بالنسبة لمتدور معلوم من الغاز محفوظ عند حجم ثابت، فإن حاصل قسمة الضغط على درجة الحرارة بالكلفن يكون ثابتاً.

كما هو الحال مع قانوني بويل وشارل، إذا علمت أي ثلاثة من المتغيرات الأربعة، يمكنك حساب المتغير الرابع باستخدام هذه المعادلة. تذكر أن درجة الحرارة يجب أن تكون بالكلفن متى تم استخدامها في معادلات قوانين الغازات.

■ الشكل 3 عند تسخين الأسطوانة، تزداد الطاقة الحركية للجسيمات، مما يزيد من كل من تكرار الاصطدامات وطاقتها مع جدران الأسطوانة. حجم الأسطوانة ثابت وبالتالي فإن الضغط الذي يبذله الغاز يزداد.



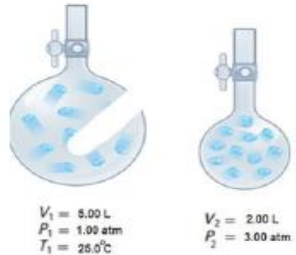
التأكد من فهم الرسم البياني  
قانون بين الرسم البياني في الشكلين 2 و 3.





## Pressure-temperature changes

إذا تم ضغط الغاز لـ 3.00 atm وأصبح الحجم 2.00 L فما درجة الحرارة النهائية للغاز؟



98.2°C

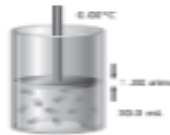
20.3°C

30.0°C

84.6°C

13. تحفيز إذا زادت درجة الحرارة في الأسطوانة المجاورة

تصل إلى 30.0°C، وزاد الضغط إلى 1.20 atm فهل يتحرك مكبس الأسطوانة إلى أعلى أم إلى أسفل؟



$$T_1 = 00.0^{\circ}\text{C} + 273 = 273 \text{ K}$$

$$T_2 = 30.0^{\circ}\text{C} + 273 = 303 \text{ K}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} = \frac{(1.00 \text{ atm})(303 \text{ K})}{(1.20 \text{ atm})(273 \text{ K})} = 0.92$$

تعد هذه نسبة: لذا ليس لها وحدة، وبما أن القيمة التي نتجت

(0.92 < 1)، لذا فإن  $V_2$  تكون أقل من  $V_1$ . أي أن الحجم النهائي

أقل من الحجم الابتدائي، لذا سيتحرك المكبس إلى الأسفل.

## الجدول 1 قوانين الغازات

القانون	بويل	شارل	جاي لوساك	القانون العام
الصيغة	$P_1 V_1 = P_2 V_2$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$
ما هو الثابت؟	مقدار الغاز ودرجة الحرارة	مقدار الغاز والضغط	مقدار الغاز والحجم	مقدار الغاز
رسم تخطيطي				

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

$$T_1 = 22.0^{\circ}\text{C} + 273 = 295 \text{ K}$$

$$T_2 = 100.0^{\circ}\text{C} + 273 = 373 \text{ K}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow V_1 = \frac{V_2 T_1 P_2}{T_2 P_1} = \frac{(0.224 \text{ mL})(295 \text{ K})(1.23 \text{ atm})}{(373 \text{ K})(1.02 \text{ atm})} = 0.214 \text{ mL}$$

12. يحتوي بالون على 146.0 mL من الغاز المحصور تحت

ضغط مقداره 1.30 atm، ودرجة حرارة 5.0°C. فإذا تضاعف

الضغط وانخفضت درجة الحرارة إلى 2.0°C. فكم يكون

حجم الغاز في البالون؟

$$T_1 = 5.0^{\circ}\text{C} + 273 = 278 \text{ K}$$

$$T_2 = 2.0^{\circ}\text{C} + 273 = 275 \text{ K}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{P_1 T_2 V_1}{P_2 T_1} = \frac{(1.30 \text{ atm})(275 \text{ K})(146.0 \text{ mL})}{(2.60 \text{ atm})(278 \text{ K})} = 72 \text{ mL}$$

إذا كان ضغط عينة من غاز الهيدروجين يساوي 3.33 kPa عند

20.0°C. ما درجة الحرارة السيليزية التي يصبح عندها ضغط الغاز

3.44 kPa؟ 29.7 °C

في عدد من التطبيقات التي تشتمل على غازات، مثل بالون الطقس في الشكل 4 الضغط ودرجة الحرارة والحجم قد يتغير كل ذلك. ويمكن دمج قوانين بويل وشارل وجاي لوساك في قانون واحد يسمى القانون العام للغازات وهو يحدد العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة وحجم مقدار ثابت من الغاز. والمتغيرات الثلاثة جميعها لها نفس العلاقة مع بعضها مثلما هو الحال في قوانين الغاز الأخرى، الضغط يتناسب عكسياً مع الحجم وطردياً مع درجة الحرارة ويتناسب الحجم طردياً مع درجة الحرارة. يمكن التعبير عن القانون العام للغازات رياضياً كما يلي

## القانون العام للغازات

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

$P$  تمثل الضغط.  $V$  تمثل الحجم.  $T$  تمثل درجة الحرارة.

بالنسبة لمقدار معلوم من الغاز. فإن الناتج من حاصل ضرب الضغط والحجم، مقسوماً على درجة الحرارة بالكلفن يكون ثابتاً.

استخدام القانون العام للغازات القانون العام للغازات يمكنك من حل المسائل التي تشتمل على تغيرات في أكثر من متغير. وهو يوفر أيضاً طريقة لتذكر القوانين الثلاثة الأخرى بدون تذكر كل معادلة. إذا أمكنك كتابة معادلة القانون العام للغازات، فإنه يمكن اشتقاق معادلات القوانين الأخرى منها وذلك بتذكر المتغير الثابت في كل حالة.

على سبيل المثال، إذا ظلت درجة الحرارة ثابتة بينما يتغير الضغط والحجم، فإن  $T_1 = T_2$ . بعد تبسيط القانون العام للغازات في ظل هذه الظروف، فإننا نصل إلى أن  $P_1 V_1 = P_2 V_2$  والتي يجب أن تنهما باعتبارها معادلة قانون بويل.

## مثال 4

القانون العام للغازات غاز عند 110 kPa ودرجة حرارة 30.0°C يملأ حاوية مرة بحجم أولي قدره 2.00 L. فإذا زادت درجة الحرارة إلى 80.0°C والضغط إلى 440 kPa، فما هو الحجم الجديد؟

## 1 تحليل المسألة

يتغير كل من الضغط ودرجة الحرارة وبالتالي ستحتاج إلى استخدام القانون العام للغازات. بتضاعف الضغط أربعة أضعاف ولكن درجة الحرارة لا تزداد مثل هذا العامل الضخم. وبالتالي، فإن الحجم الجديد سوف يكون أصغر من حجم البداية.

## المعلوم المجهول

$$\begin{aligned} P_1 &= 110 \text{ kPa} & P_2 &= 440 \text{ kPa} & V_2 &= ? \text{ L} \\ T_1 &= 30.0^{\circ}\text{C} & T_2 &= 80.0^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

## 2 حساب المجهول

تحويل الدرجات السيليزية إلى كلفن.

$$T_K = 273 + T_C$$

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

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

استخدام القانون العام للغازات. أعد ترتيب القانون لإيجاد قيمة  $V_2$  والتعويض بالقيم المعروفة في المعادلة التي تم إعادة ترتيبها.

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

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

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

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

## تطبيقات

20. ما حجم الوعاء اللازم لاحتواء 0.0459 mol من غاز النيتروجين  $N_2$  في الظروف المعيارية STP؟

$$V = 0.0459 \text{ mol} \times \frac{22.4 \text{ L}}{1 \text{ mol}} = 1.03 \text{ L}$$

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

$$1.0 \text{ L} \times \frac{1 \text{ mol CO}_2}{22.4 \text{ L}} = 0.045 \text{ mol CO}_2$$

احسب كتلة  $CO_2$  بالجرامات،

$$0.045 \text{ mol CO}_2 \times \frac{44.0 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 2.0 \text{ g CO}_2$$

22. ما الحجم (ml)، الذي يشغله غاز الهيدروجين الذي كتلته 0.00922g في الظروف المعيارية STP؟

$$0.00922 \text{ g H}_2 \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2.02 \text{ g H}_2} = 0.00457 \text{ mol H}_2$$

احسب حجم  $H_2$  بالـ mL،

$$0.00457 \text{ mol H}_2 \times \frac{22.4 \text{ L H}_2}{1 \text{ mol H}_2} = 0.102 \text{ L H}_2 = 102 \text{ ml H}_2$$

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

$$0.416 \text{ g Kr} \times \frac{1 \text{ mol Kr}}{83.80 \text{ g Kr}} = 0.00496 \text{ mol Kr}$$

احسب حجم Kr بالـ L،

$$0.00496 \text{ mol Kr} \times \frac{22.4 \text{ L Kr}}{1 \text{ mol Kr}} = 0.111 \text{ L Kr}$$

24. احسب الحجم الذي تشغله كتلة مقدارها 4.5 kg من غاز الإيثيلين  $C_2H_4$  في الظروف المعيارية STP؟

احسب كتلة  $C_2H_4$  بالجرامات،

$$45 \text{ kg C}_2\text{H}_4 \times \frac{1000 \text{ g C}_2\text{H}_4}{1 \text{ kg C}_2\text{H}_4} = 4500 \text{ g C}_2\text{H}_4$$

احسب عدد مولات  $C_2H_4$ ،

$$4500 \text{ g C}_2\text{H}_4 \times \frac{1 \text{ mol C}_2\text{H}_4}{28.0 \text{ g C}_2\text{H}_4} = 1.61 \times 10^2 \text{ mol C}_2\text{H}_4$$

احسب حجم  $C_2H_4$  بالـ L،

$$1.61 \times 10^2 \text{ mol C}_2\text{H}_4 \times \frac{22.4 \text{ L C}_2\text{H}_4}{1 \text{ mol C}_2\text{H}_4} = 3.6 \times 10^3 \text{ L C}_2\text{H}_4$$

25. تحفيز إيثان بلاستيكي مرمر يحتوي 0.86g من غاز الهيليوم بحجم (19.2 L). إذا أخرج 0.205g من غاز الهيليوم عند ضغط ودرجة حرارة ثابتين، فما الحجم الجديد؟

احسب كتلة غاز He المتبقية،

$$0.860 \text{ g} - 0.205 \text{ g} = 0.655 \text{ g He}$$

احسب حجم الغاز بواسطة استعمال النسبة،

$$\frac{V_{He}}{0.655 \text{ g He}} = \frac{19.2 \text{ L He}}{0.860 \text{ g He}}$$

$$V_{He} = \frac{(19.2 \text{ L He})(0.655 \text{ g He})}{(0.860 \text{ g He})} = 14.6 \text{ L He}$$

## مبدأ أفوجادرو

الجسيمات التي تكون غازات مختلفة يمكن أن تتباين في الحجم كثيراً. ومع ذلك، فإن نظرية الحركة الجزيئية تفترض أن الجسيمات في عينة غاز تكون متباعدة بشكل كبير بحيث يصبح حجمها ذو تأثير ضئيل جداً على الحجم الذي يشغله الغاز. على سبيل المثال، 1000 جسيم ضخم نسبياً من غاز الكريبتون تشغل نفس الحجم مثل 1000 جسيم أصغر حجماً من غاز الهيليوم عند نفس درجة الحرارة والضغط. ولقد كان أفوجادرو أول من افترض هذه الفكرة عام 1811. ينص مبدأ أفوجادرو على أن الأحجام المتساوية من الغازات عند نفس درجة الحرارة والضغط تحتوي على أعداد متساوية من الجسيمات. الشكل 5 يوضح أمثلة متساوية من ثاني أكسيد الكربون والهيليوم والأكسجين.

**الحجم والمولات** تذكر أن المول الواحد من المادة يحتوي على  $6.02 \times 10^{23}$  جسيماً. الحجم المولي للغاز عبارة عن الحجم الذي يشغله 1 mol عند درجة حرارة  $0.00^\circ\text{C}$  وضغط 1.00 atm. ظروف  $0.00^\circ\text{C}$  و 1.00 atm تعرف باسم الضغط ودرجة الحرارة القياسيين (STP). ولقد أوضح أفوجادرو تجريبياً أن 1 mol من أي غاز يشغل حجماً قدره 22.4 L عند الضغط ودرجة الحرارة القياسيين STP. ولأن الحجم 1 mol من الغاز عند الضغط ودرجة الحرارة القياسيين STP هو 22.4 L فإنه يمكنك استخدام 22.4 L/mol باعتباره معامل تحويل متى أصبح الغاز عند الضغط ودرجة الحرارة القياسيين STP. على سبيل المثال، افترض أنك تريد إيجاد عدد المولات في عينة ما من الغاز حجمها 3.72 L عند الضغط ودرجة الحرارة القياسيين STP. استخدم الحجم المولي للتحويل من الحجم إلى مولات.

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

$$V_M = n \times 22.4$$

قانون

حسب مبدأ أفوجادرو، 1 مول (mol) من أي غاز عند الضغط ودرجة الحرارة القياسيين STP يشغل حجماً قدره \_\_\_\_\_.

1.00 L

22.4 L

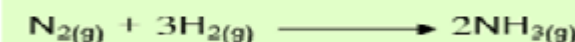
3.72 L

6.02 L

يتفاعل غاز النيتروجين مع غاز الهيدروجين لتكوين غاز الأمونيا ( $NH_3$ ).

ما حجم الأمونيا التي تنتج من تفاعل 8.75 L من الهيدروجين  $H_2$ ؟

افتراض ثبات درجة الحرارة والضغط



5.80 L

## مثال 5

**الحجم المولي** البكون الرئيسي للغاز الطبيعي المستخدم في أفراس التدفئة المنزلي هو الميثان ( $CH_4$ ). احسب الحجم الذي يشغله 2.00 kg من غاز الميثان عند درجة الحرارة والضغط القياسيين STP.

## تحليل المسألة

يمكن حساب عدد المولات بنسبة كتلة العينة  $m$  على الكتلة المولية  $M$  للغاز عند درجة الحرارة والضغط القياسيين  $STP (0.00^\circ\text{C}, 1.00 \text{ atm})$  وبالتالي يمكنك استخدام الحجم المولي للتحويل من عدد المولات إلى الحجم.

المعروف	المجهول
$m = 2.00 \text{ kg}$	$V = ? \text{ L}$
$T = 0.00^\circ\text{C}$	
$P = 1.00 \text{ atm}$	

## حساب المجهول

حدد الكتلة المولية للميثان.

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

$$\begin{aligned} \text{متر من الكتلة الجزيئية بوحدة g/mol} &= 12.01 \text{ amu} + 4(1.01 \text{ amu}) \\ \text{التحويل إلى الكتلة المولية} &= 16.05 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

حدد عدد مولات الميثان.

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

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

استخدم الحجم المولي لعدد حجم الميثان عند درجة الحرارة والضغط القياسيين STP.

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

## تقييم الإجابة

مقدار الميثان المعطى أكثر بكثير من 1 mol، وبالتالي يجب عليك أن تكون حذراً بالتطبيق مع الإجابة. الوحدة هي اللترات وحدة الحجم بوحدة 10<sup>3</sup> (أرقام معبودة).

الأحجام المتساوية من الغازات عند نفس الضغط ودرجة الحرارة تحتوي على أعداد متساوية من الجسيمات

مبدأ أفوجادرو

القانون العام للغازات

مبدأ أفوجادرو

قانون الغاز المثالي



law to calculate pressure, v of a gas, when three quantities are given

## تطبيقات

26. ما درجة حرارة 2.49 mol الغاز الموجود في إناء

سعته 1.00 L، وتحت ضغط مقداره 143 kPa.

احسب الضغط بوحدة atm،

$$143 \text{ kPa} \times \frac{1.00 \text{ atm}}{101.3 \text{ kPa}} = 1.41 \text{ atm}$$

احسب درجة الحرارة بوحدة K،

$$T = \frac{PV}{nR} = \frac{(1.41 \text{ atm})(1.00 \text{ L})}{(2.49 \text{ mol}) \left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)} = 6.96 \text{ K}$$

احسب درجة الحرارة بوحدة °C،

$$6.90 \text{ K} - 273 = -266 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

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

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{(0.323 \text{ mol}) \left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right) (256 \text{ K})}{(0.90 \text{ atm})} = 7.54 \text{ L}$$

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

احسب درجة الحرارة بوحدة K،

$$T = 20.0 \text{ }^{\circ}\text{C} + 273 = 293 \text{ K}$$

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{(0.108 \text{ mol}) \left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right) (293 \text{ K})}{(0.050 \text{ L})} = 5.14 \text{ atm}$$

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

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(3.81 \text{ atm})(0.044 \text{ L})}{\left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right) (298 \text{ K})} = 6.9 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

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

$$PV = nRT \rightarrow \frac{P}{R} = \frac{nT}{V}$$

ولأن كلا من P و R ثابتان، يمكن حذفهما من المعادلة فتصبح،

$$\frac{n_1 T_1}{V_1} = \frac{n_2 T_2}{V_2}$$

وبما أن  $n_2 = 2n_1$  و  $T_2 = 2T_1$ ، تصبح المعادلة،

$$\frac{n_1 T_1}{V_1} = \frac{2n_1 2T_1}{V_2}$$

تضرب طرفي المعادلة في  $\left(\frac{1}{n_1}\right)$  ثم في  $\left(\frac{1}{T_1}\right)$  فتصبح،

$$\frac{1}{V_1} = \frac{(2)(2)}{V_2} \Rightarrow V_2 = 4V_1$$

$$V_2 = 4(3.0 \text{ L}) = 12 \text{ L}$$

## مثال 6

قانون الغاز المثالي احسب عدد مولات غاز الأمونيا (NH<sub>3</sub>) التي تحتوي عليها وعاء حجمه 3.0 L عند درجة حرارة 3.00 × 10<sup>2</sup> K وضغط 1.50 atm.

## 1 تحليل المسألة

معلوم لديك الحجم ودرجة الحرارة والضغط لعينة من الغاز. استخدم قانون الغاز المثالي واختر قيمة R التي تحتوي على وحدات الضغط المعلومة في المسألة. ولأن الضغط ودرجة الحرارة يفتريان في القيمة من الضغط ودرجة الحرارة القياسيين STP، إلا أن الحجم أصغر بكثير من 22.4 L وسيبدو الأمر منطقيًا إذا كانت الإجابة المحسوبة أصغر بكثير من 1 mol.

المجهول  
n = ? mol

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

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

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

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

## 2 حساب المجهول

استخدام قانون الغاز المثالي. أعد ترتيب المعادلة لإيجاد قيمة n والتعويض بالقيم المعلومة.

$$PV = nRT$$

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

اكتب قانون الغاز المثالي  
أعد ترتيب المعادلة لإيجاد قيمة n

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

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

$$P = 1.50 \text{ atm}, R = 0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

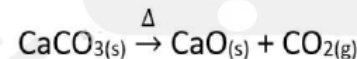
اضرب واقسم الأعداد والوحدات.

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

بالتشخين، وفقاً للمعادلة أدناه، وعند درجة الحرارة والضغط القياسيين؟

$$(100 \text{ g/mol} = \text{CaCO}_3)$$

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



$$5.60 \text{ L}$$

الاجابة

## قانون الغاز المثالي

يمكن دمج مبدأ أفوجادرو وقوانين بويل وشارل وجاي ولوساك في علاقة رياضية واحدة تصف العلاقات بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة وعدد مولات الغاز. وهذه العلاقة تعمل على أفضل ما يكون مع الغازات التي تتبع افتراضات نظرية الحركة الجزيئية. الغازات المعروفة باسم الغازات المثالية. تشغل جسيماتها حجماً صغيراً جداً يمكن إهماله وتكون متباعدة عن بعضها بشكل كبير جداً بحيث تكون قوى التجاذب والتنافر بينها أقل ما يمكن.

من القانون العام للغازات إلى قانون الغاز المثالي فإن القانون العام للغازات يقيم علاقة بين المتغيرات الضغط والحجم ودرجة الحرارة لمقدار معلوم من الغاز.

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

بالنسبة لعينة محددة من الغاز، فإن هذه العلاقة بين الضغط والحجم ودرجة الحرارة هي نفسها دائماً. يمكنك إعادة كتابة العلاقة الممكنة في قانون الغازات العام كما يلي:

$$PV = nRT$$

كما يشرح الشكل 6. فإن زيادة مقدار الغاز الموجود في عينة سترفع الضغط في حالة ثبات درجة الحرارة والحجم. وبالمثل إذا ظل الضغط ودرجة الحرارة ثابتين، فإن الحجم سيزداد كلما تم إضافة المزيد من جسيمات الغاز. وفي الواقع، فإننا نعلم أن كلا من الحجم والضغط يتناسبان طردياً مع عدد المولات (n) وبالتالي فإن n يمكن تضمينه في قانون الغازات العام كما يلي:

$$PV = nRT$$

حددت التجارب باستخدام القيم المعروفة من V، T، P، و n قيمة هذا الثابت. وهو يسمى ثابت الغاز المثالي وهو يمثل بالرمز R. وإذا كان الضغط بوحدة atm، فإن قيمة R هي 0.0821 L·atm/mol·K. لاحظ أن وحدات التعبير عن R هي ببساطة تجمع وحدات المتغيرات الأربعة. الجدول 2 يوضح القيم العددية للثابت في وحدات مختلفة من الضغط.

التأكد من فهم النص فسر لماذا تمت إضافة عدد المولات، n، إلى خانة المقام في المعادلة أعلاه.

التعويض بالثابت R في المعادلة أعلاه وإعادة ترتيب القيم يعطي قانون الغاز المثالي الصيغة الأكثر شيوعاً. يصف قانون الغاز المثالي السلوك الفيزيائي لغاز مثالي من حيث الضغط والحجم ودرجة الحرارة وعدد مولات الغاز الموجودة.

## قانون الغاز المثالي

$$PV = nRT$$

P تمثل الضغط، V تمثل الحجم، n تمثل عدد المولات، R تمثل ثابت الغاز المثالي، T تمثل درجة الحرارة.

بالنسبة لمقدار معلوم من الغاز محفوظ في درجة حرارة ثابتة، فإن حاصل ضرب الضغط في الحجم يساوي مقدراً ثابتاً.

إذا كنت تعلم أي ثلاثة متغيرات من الأربعة، فإنه يمكنك إعادة ترتيب المعادلة لإيجاد المتغير المجهول.

## الجدول 2 قيم الثابت R

قيمة الثابت R	وحدات الثابت R
0.0821	$\frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
8.314	$\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
62.4	$\frac{\text{L} \cdot \text{mm Hg}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

## قانون الغاز المثالي — الكتلة المولية والكثافة

يمكن استخدام قانون الغاز المثالي في إيجاد قيمة أي من المتغيرات الأربعة  $P, V, T, n$  إذا كانت قيم المتغيرات الثلاثة الأخرى معلومة. كما يمكنك أيضًا إعادة ترتيب المعادلة  $PV = nRT$  لحساب الكتلة المولية وكثافة عينة من الغاز.

**الكتلة المولية وقانون الغاز المثالي** لإيجاد الكتلة المولية لعينة من الغاز، فإنه يجب معرفة الكتلة ودرجة الحرارة والضغط والحجم للغاز. تذكر أن عدد مولات غاز ما ( $n$ ) تساوي الكتلة ( $m$ ) مقسومة على الكتلة المولية ( $M$ ). وبالتالي، فإن  $n$  في المعادلة يمكن استبداله بواسطة  $m/M$ .

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

يمكنك إعادة ترتيب المعادلة الجديدة لإيجاد الكتلة المولية.

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

**الكثافة وقانون الغاز المثالي** تذكر أن الكثافة ( $D$ ) لمادة ما تُعرّف بأنها الكتلة ( $m$ ) لكل وحدة حجم ( $V$ ). بعد إعادة ترتيب معادلة الغاز المثالي لإيجاد قيمة الكتلة المولية، يمكنك التعميم بالقيمة  $D$  بدلًا من  $m/V$ .

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

يمكنك إعادة ترتيب المعادلة الجديدة لإيجاد قيمة الكثافة.

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

لماذا قد تحتاج إلى معرفة كثافة غاز معين؟ فكر في متطلبات مكافحة الحريق. من إحدى طرق مكافحة الحريق هو منع الأكسجين من الوصول إليها وذلك بتغطيتها بغاز آخر لا يحترق ولا يساعد على الاحتراق. كما هو موضح في الشكل 7، يجب أن تكون كثافة هذا الغاز أكبر من الأكسجين بحيث يحل محل الأكسجين في مصدر التيار. يمكنك ملاحظة تطبيق مبادئ للكثافة عن طريق المنحدر النعصر في الصفحة التالية.



الشكل 7 لإطفاء الحريق عليك إبعاد الوقود والأكسجين والحرارة. طفاية الحريق إلى اليسار تحتوي على ثاني أكسيد الكربون والذي يحل محل الأكسجين ولكنه لا يحترق. وهو أيضًا له تأثير مبرّد بسبب الانتشار السريع لثاني أكسيد الكربون بملء خروجه من الأنف. فسر لماذا يحل ثاني أكسيد الكربون محل الأكسجين؟

كثافته أعلى

## تطبيقات

31. هسر لماذا ينطبق مبدأ أفوجادرو على الغازات التي تتكوّن من جزيئات صغيرة والتي تتكوّن من جزيئات كبيرة؟  
يكون حجم جزيئات الغاز صغيرًا جدًا مقارنة بحجم الغاز الكلي. ومن المفترض أن يُهمل حجم جسيم الغاز.

32. اكتب معادلة قانون الغاز المثالي.

$$PV = nRT$$

33. حلّ كيف ينطبق قانون الغاز المثالي على الغاز الحقيقي مُستخدمًا نظرية الحركة الجزيئية؟  
يسلك الغاز الحقيقي سلوكًا مشابهًا لسلوك الغاز المثالي في الظروف التي تزيد فيها المسافة وتقل فيها قوى التجاذب بين الجسيمات المكوّنة له. وأفضل الظروف لذلك هي عندما تكون درجات الحرارة مرتفعة والضغط منخفضًا.

34. توقع الظروف التي يمكن أن يتغير عندها سلوك الغاز الحقيقي عن سلوك الغاز المثالي؟  
ينحرف الغاز الحقيقي في سلوكه عن الغاز المثالي عند الظروف التي تقل فيها المسافة وتزيد قوى التجاذب بين الجسيمات المكوّنة له، ويحدث ذلك عندما تقل درجة الحرارة، ويرتفع الضغط.

35. ضع في قائمة، الوحدات الأكثر شيوعًا للمتغيرات في قانون الغاز المثالي.

$P$ : atm, mm Hg, torr, kPa  
 $V$ : L, ml  
 $T$ : K  
 $n$ : mol

36. احسب كتلة غاز البروبان  $C_3H_8$  الموجود في دورق حجمه 2.0 L عند ضغط جوي مقداره 1.00 atm ودرجة حرارة  $-15.0^\circ\text{C}$ .

احسب درجة الحرارة بوحدة K

$$T = -15.0^\circ\text{C} + 273 = 258 \text{ K}$$

احسب عدد مولات غاز  $C_3H_8$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(1.00 \text{ atm})(2.00 \text{ L})}{(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}})(258 \text{ K})} = 0.0944 \text{ mol}$$

احسب الكتلة المولية لـ  $C_3H_8$

$$3 \text{ mol C} \times \frac{12.01 \text{ g C}}{1 \text{ mol C}} = 36.03 \text{ g C}$$

$$8 \text{ mol H} \times \frac{1.008 \text{ g H}}{1 \text{ mol H}} = 8.064 \text{ g H}$$

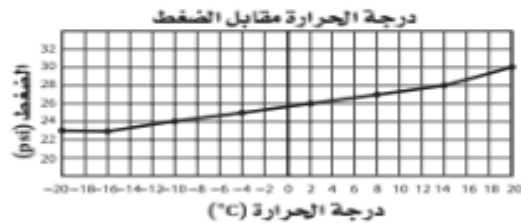
$$C_3H_8 \text{ المولية} = 8.064 \text{ g} + 36.03 \text{ g} = 44.09 \text{ g/mol}$$

$$n = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الكتلة المولية}}$$

$$\text{الكتلة المولية} = n$$

$$= (0.0944 \text{ mol})(44.09 \text{ g/mol}) = 4.16 \text{ g } C_3H_8$$

37. ارسم رسمًا بيانيًا واستخدمه لخفض ضغط إطارات السيارات بمقدار 1 psi (14.7 psi = 1.0 atm) عند انخفاض درجة الحرارة بمقدار  $6^\circ\text{C}$ ، ارسم رسمًا بيانيًا يوضح التغيّر في الضغط داخل الإطار، عندما تتغيّر درجات الحرارة من  $20^\circ\text{C}$  إلى  $-20^\circ\text{C}$  (افترض أن الضغط يساوي 30 Psi عند درجة حرارة  $20.0^\circ\text{C}$ ).



يجب أن يوضّح الرسم البياني ضغط الهواء وعلاقته بدرجة الحرارة، سيكون المنحنى الناتج خطًا مستقيمًا يبيّن علاقة التناسب المبردي بين المتغيرات.



## المفردات أصل الكلمة المول (Mole)

بأنى من الكلمة الألمانية الأصل Mol  
وهي اختصار الكلمة Molekularge-  
wicht. يعنى الوزن الجزيئي

$$\rho = \frac{\text{mass (g)}}{V (ml)}$$

## قانون الغاز المثالي— الكتلة المولية والكثافة

يمكن استخدام قانون الغاز المثالي في إيجاد قيمة أي من المتغيرات الأربعة  $P, V, T, n$ . إذا كانت قيم المتغيرات الثلاثة الأخرى معلومة. كما يمكنك أيضًا إعادة ترتيب المعادلة  $PV = nRT$  لحساب الكتلة المولية وكثافة عينة من الغاز.

**الكتلة المولية وقانون الغاز المثالي** لإيجاد الكتلة المولية لعينة من الغاز. فإنه يجب معرفة الكتلة ودرجة الحرارة والضغط والحجم للغاز. نذكر أن عدد مولات غاز ما ( $n$ ) تساوي الكتلة ( $m$ ) مقسومة على الكتلة المولية ( $M$ ). وبالتالي، فإن  $n$  في المعادلة يمكن استبداله بواسطة  $m/M$ .

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

يمكنك إعادة ترتيب المعادلة الجديدة لإيجاد الكتلة المولية.

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

**الكثافة وقانون الغاز المثالي** نذكر أن الكثافة ( $D$ ) لمادة ما تُعرف بأنها الكتلة ( $m$ ) لكل وحدة حجم ( $V$ ). بعد إعادة ترتيب معادلة الغاز المثالي لإيجاد قيمة الكتلة المولية، يمكنك التعويض بالقيمة  $D$  بدلاً من  $m/V$ .

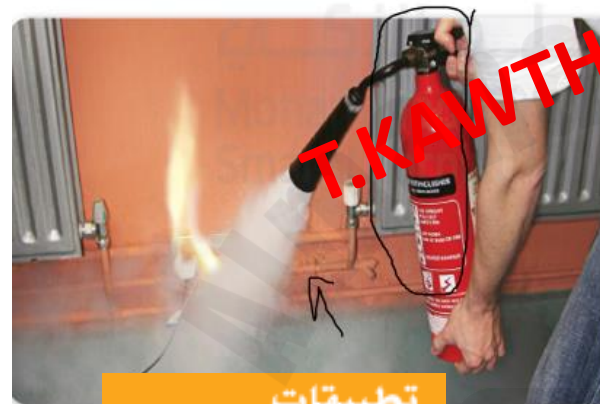
$$M = \frac{mRT}{PV} \quad \frac{m}{V} = D \quad M = \frac{DRT}{P}$$

يمكنك إعادة ترتيب المعادلة الجديدة لإيجاد قيمة الكثافة.

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



لماذا قد نحتاج إلى معرفة كثافة غاز معين؟ فكر في متطلبات مكافحة الحريق. من إحدى طرق مكافحة الحريق هو منع الأكسجين من الوصول إليها وذلك بتغطيتها بغاز آخر لا يحترق ولا يساعد على الاحتراق. كما هو موضح في الشكل 7 يجب أن تكون كثافة هذا الغاز أكبر من الأكسجين بحيث يحل محل الأكسجين في مصدر التيران. يمكنك ملاحظة تطبيق مماثل للكثافة عن طريق المختبر المُصغّر في الصفحة التالية.



الشكل 7 إطفاء الحريق. عليك إبعاد الوقود والأكسجين والحرارة. طغاية الحريق إلى اليسار تحتوي على ثاني أكسيد الكربون والذي يحل محل الأكسجين ولكنه لا يحترق. وهو أيضًا له تأثير مبرّد بسبب الانتشار السريع لثاني أكسيد الكربون يمثل خروجه من الأنف.

فَسِّرْ لماذا يحل ثاني أكسيد الكربون محل الأكسجين؟

لأن كثافته أعظم منه

## تطبيقات

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

افترض أن لديك  $1 \text{ mol}$  من الجيرانيول، احسب درجة حرارة الجيرانيول بوحدة  $K$ .

$$T = 260.0^\circ\text{C} + 273 = 533 \text{ K}$$

احسب حجم الجيرانيول بوحدة  $L$ .

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{(1 \text{ mol}) \left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right) (533 \text{ K})}{(0.140 \text{ atm})} = 313 \text{ L}$$

$$\text{الكتلة} = \text{الحجم} \times \text{الكثافة} = (313 \text{ L}) \times (0.480 \text{ g/L}) = 1.50 \times 10^2 \text{ g/mol}$$

**71.** جد حجم  $42 \text{ g}$  من غاز أول أكسيد الكربون في الظروف المعيارية STP.

احسب عدد مولات غاز  $\text{CO}$ .

$$n = 42 \text{ g CO} \times \frac{1 \text{ mol CO}}{28.01 \text{ g CO}} = 1.5 \text{ mol CO}$$

احسب حجم غاز  $\text{CO}$  بوحدة  $L$ .

$$V = 1.5 \text{ mol CO} \times \frac{22.4 \text{ L CO}}{1 \text{ mol CO}} = 34 \text{ L CO}$$

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

$$\text{الكتلة المولية لـ } \text{Cl}_2 = 70.90 \text{ g/mol}$$

احسب درجة حرارة غاز  $\text{Cl}_2$  بوحدة  $K$ .

$$T = 22.0^\circ\text{C} + 273 = 295 \text{ K}$$

$$D = \frac{MP}{RT} = \frac{(70.90 \text{ g/mol}) (1.00 \text{ atm})}{\left(0.0821 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right) (295 \text{ K})} = 2.93 \text{ g/L}$$



deviate from ideal behavior while explaining its effect



الشكل 9 في الغاز غير القطبي، يوجد حد أدنى من التجاذب بين الجسيمات، بينما في الغازات القطبية، مثل بخار الماء، توجد قوى تجاذب قوية بين جسيماتها.

استدل بالفراغ أن حجم الجسيمات مهم، فكيف يمكن مقارنة الضغط المتأثر من الغاز بين جسيماته قوى تجاذب قوية بالضغط المتوقع بتطبيق قانون الغاز المثالي

على الأرجح على الغاز الحقيقي؟ تنحرف الغازات الحقيقية كثيراً عن سلوك الغاز المثالي عند الضغوط العالية ودرجات الحرارة المنخفضة. غاز النيتروجين في الصهاريج الموضحة في الشكل 8 يسلك سلوك الغاز الحقيقي. ينتج عن خفض درجة حرارة غاز النيتروجين طاقة حركية أقل لجسيمات الغاز. ما يعني أن قوى التجاذب بين الجزيئات تصبح قوة كافية للتأثير على سلوكها. عندما تكون درجة الحرارة منخفضة كافية، فإن هذا الغاز الحقيقي يتكثف ليشكل سائلاً. غاز البروبان في الصهاريج والموضح في الشكل 8 يسلك أيضاً سلوك الغاز الحقيقي. زيادة الضغط على غاز ما يجبر جسيمات الغاز من الاقتراب من بعضها البعض حتى يصبح الحجم الذي تشغله جسيمات الغاز أصغر مما ينبغي أن يكون له. فالغازات الحقيقية مثل البروبان تتحول إلى سائل إذا أثر عليها ضغط كافٍ.



يمكن تخزين 270 ضعفاً من الكمية الغازية من البروبان على شكل سائل في الحجم نفسه. قد تستخدم أسطوانات صغيرة من البروبان السائل على شكل وقود لأغراض الشواء في الهواء

يتحول غاز النيتروجين إلى سائل عند درجة حرارة  $-196^{\circ}\text{C}$ . وعند درجة الحرارة هذه، يمكن للعلاء حفظ العينات البيولوجية، مثل أنسجة الجسم، للأبحاث

تضيئة ويط

## الغازات الحقيقية مقابل المثالية

ما الذي يعنيه المصطلح غاز مثالي؟ الغازات المثالية تتبع فرضيات نظرية الحركة الجزيئية. ووفقاً لهذه النظرية، فإن الغاز المثالي هو الغاز الذي لا تشغل جسيماته حيزاً من الفراغ. الغازات المثالية ليس لديها قوى تجاذب بين جسيماتها ولا تنجذب أو تتنافر مع جدران الأوعية الموجودة فيها. تتحرك جسيمات الغاز المثالي بسرعة ثابتة وبعشوائية في خطوط مستقيمة حتى تصطدم ببعضها أو مع جدران الوعاء. وبالإضافة إلى ذلك، فإن هذه التصادمات تكون مرنة بشكل مثالي، ما يعني أن (4) الطاقة الحركية للنظام لا تتغير. يتبع الغاز المثالي قوانين الغازات في جميع ظروف درجة الحرارة والضغط.

وفي الواقع، لا يوجد غاز مثالي تماماً. كل جسيمات الغازات لها حجم معين ومع ذلك فهو حجم صغير والجسيمات تتجاذب فيما بينها. أيضاً، التصادمات التي تحدثها الجسيمات مع بعضها البعض ومع الحاوية ليست مرنة بشكل مثالي. ورغماً عن ذلك، فإن معظم الغازات تسلك سلوك الغازات المثالية على نطاق واسع من درجات الحرارة والضغط. وفي ظل الظروف المناسبة، فإن الحسابات التي جرت باستخدام قانون الغاز المثالي تقترب جداً من القياسات التجريبية.

متى يسلك الغاز الحقيقي سلوكاً يشبه سلوك الغاز المثالي؟	
أ. عندما تبتعد الجزيئات عن بعضها البعض وتقل قوى التجاذب	
ب. عندما تقترب الجزيئات عن بعضها البعض وتزداد قوى التجاذب	
ج. عند الضغط العالي ودرجة الحرارة المنخفضة	
د. عندما تتحول إلى سائل إذا أثر عليها ضغط كافٍ	

في أي من الظروف الآتية تشابه سلوك الغازات الحقيقية سلوك الغازات المثالية؟	
درجات الحرارة المرتفعة والضغط المنخفض	درجات الحرارة المنخفضة والضغط المنخفض
درجات الحرارة المنخفضة والضغط المنخفض	درجات الحرارة المرتفعة والضغط المنخفض

34. توقع الظروف التي يُحتمل أن يختلف عندها سلوك الغاز الحقيقي عن سلوك الغاز المثالي؟

ينحرف الغاز الحقيقي عن سلوكه عن الغاز المثالي عند الظروف التي تقل فيها المسافة وتزيد قوى التجاذب بين الجسيمات المكونة له، ويحدث ذلك عندما تقل درجة الحرارة، ويرتفع الضغط.

القطبية وحجم الجزيئات طبيعة الجسيمات المكونة للغاز تؤثر أيضاً على الكيفية التي ينصرف بها الغاز بطريقة مثالية. على سبيل المثال، جزيئات الغاز القطبية، مثل بخار الماء، عموماً يكون لها قوى تجاذب أقوى بين جسيماتها من الغازات غير القطبية مثل الهيليوم. تنجذب الأطراف المختلفة في الشحنة للجزيئات القطبية نحو بعضها من خلال قوى كهروستاتيكية. كما هو موضح في الشكل 9. وبالتالي، فإن الغازات القطبية تسلك سلوك الغازات المثالية. أيضاً، فإن جسيمات الغازات المكونة من جزيئات غير قطبية أكبر حجماً، مثل البيوتان ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )، تشابه سلوكها مع عدد نفسه من جسيمات أصغر حجماً في غازات مثل الهيليوم ( $\text{He}$ ). وبالتالي، فإن جسيمات الغاز الأكبر حجماً تميل إلى أن تظهر انحرافاً أكبر عن السلوك المثالي من جسيمات الغاز الأصغر حجماً.



007.05 Differentiate among different types of mixtures; solution, colloid and suspension in terms of type of mixture,

كيف يمكن تمييز الغرويات عن المحاليل؟

جسيمات الغرويات أصغر بكثير من الذرات.

جسيمات الغرويات كبيرة الحجم.

جسيمات الغروي يمكن فصلها عن طريق الترسيب أو الترشيح.

"الغرويات تشتت أشعة الضوء التي تمر من خلالها.

ما فائدة الطبقات الكهروستاتيكية التي تتشكل حول

الجسيمات المشتتة في الغروي؟

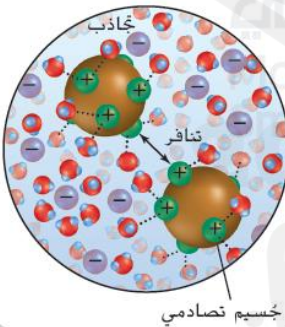
A - تبقي الجسيمات المشتتة في الغروي

B - تسمح بترسيب جسيمات الغروي

C - تجمع جسيمات الغروي المشتتة معاً

D - تدمر الغروي

الشكل 2 تُشكّل جسيمات وسط التشتت طبقات مشحونة حول جسيمات الغروي. تتنافر هذه الطبقات المشحونة مع بعضها البعض وتنبغ الجسيمات من الترسيب.



جسيم تصادمي

حدد وجه الشبه بين المعلقات والغرويات؟

A - تترسب جسيماتهما إذا تركا دون تحريك

B - يمكن فصل مكوناتهما بالترشيح

C - يتكونان من جسيمات متوسطة الحجم

D - كلاهما مخاليط غير متجانسة

ماذا يحدث إذا تم تحريك إلكتروليت داخل الغروي؟

A - تبقى الجسيمات المشتتة في وسط التشتت ولا تترسب

B - تبقى الطبقات الكهروستاتيكية حول الجسيمات المشتتة

في الغروي كما هي

C - تجمع الجسيمات المشتتة معاً وتدمر الغروي

D - تزداد قوة الطبقات الكهروستاتيكية حول الجسيمات المشتتة

## الجدول 1 أنواع الغرويات

الصفة	مثال	جسيمات مُشتتة	وسط التشتت
صلب في صلب	مُجوهرات مُلوّنة	مواد صلبة	مواد صلبة
صلب في سائل	دم، جيلاتين	مواد صلبة	مواد سائلة
مُستحلب (صلب في سائل)	زُبدة، جبنَة	مواد سائلة	مواد صلبة
مُستحلب (سائل في سائل)	حليب، مايونيز	مواد سائلة	مواد سائلة
رغوة صلبة	حلولي الخيطي، صابون قابل للطفو	غاز	مواد صلبة
رغوة	قشدة مخفوقة، مخفوق بياض البيض	غاز	مواد سائلة
مِباء جوّي صلب	دُخان، غُبار في الهواء	مواد صلبة	غاز
مِباء جوّي سائل	رذاذ مُزيل للزّاحة، ضباب، سُحب	مواد سائلة	غاز

**الغرويات** الجسيمات في المعلقات أكبر بكثير من الدُّوَات وبإمكانها التُّرْسِب في المحلول. **الغروي** هو خليط غير مُتجانس من الجسيمات مُتوسطة الحجم (بين حجم البغياس الدُّوي للجسيمات في المحلول وحجم جسيمات المعلق). يتراوح قطر الجسيمات الغروية ما بين 1 nm و 1000 nm. كما أنها لا تترسب. يُعدّ الخليط من الغرويات لا يُمكن فصل مُكوّنات خليط مُتجانس عن طريق الترسيب أو عن طريق الترشيح.

تُعتبر الباءة الأكثر وفرة في الخليط وسط التشتت. وتُشتت الباءة الغروية وفقاً لأطوار جسيماتها التشتتة وأوساط التشتت. الخليط هو مُستحلب غروي لأنّ الجسيمات الشائطة مُشتتة في وسط سائل. تحيل الجدول 1 وصفاً لغرويات أخرى. لا تتنكّن الجسيمات التشتتة في الغروي من التُّرْسِب لأنها غالباً ما تحيل على سطحها مجبوعات ذرية قطبية أو مشحونة. تُجذب هذه المناطق على سطحها المناطق المشحونة الشائطة أو الموجبة لجزيئات وسط التشتت. وهذا يؤدي إلى تشكيل طبقات كهروستاتيكية حول الجسيمات. كما هو مبين في الشكل 2. تتنافر الطبقات مع بعضها عندما تصطبغ الجسيمات التشتتة. وبالتالي، تبقى الجسيمات في الغروي. إذا ما تدخلت أيّ ذرات كيميائية، فسوف تترسب الجسيمات الغروية في الخليط. فعلى سبيل المثال، إذا دخل غروي، فسوف تتجلبّ الجسيمات التشتتة معاً وتدمر الغروي. السطح المشحون الذي لا يُعطى الجسيمات التصادمية ما يكفي من الطاقة الحركية كي تتغلب على قوى التجاذب الكهروستاتيكية وكى تترسب.

**الحركة البراونية** تدوم الجسيمات التشتتة في الغرويات الشائطة بحركات مُعزّة وعشوائية. وتُسمى هذه الحركة غير المنتظمة للجسيمات الغروية بالحركة البراونية. وقد قطن لها لأول مرة عالم النبات الإسكتلندي روبرت براون (1773-1858)، والتي سُميت باسمه في وقت لاحق. حيث أنّه لاحظ الحركات العشوائية لجُذات الطلع التشتتة في الماء. تحدث الحركة البراونية نتيجة اصطدام جسيمات وسط التشتت مع الجسيمات التشتتة. تُساهم هذه الاصطدامات في الحيلولة دون ترسب الجسيمات الغروية في الخليط.

## مخاليط غير مُتجانسة

تذكر أنّ الخليط هو مزيج بين مادتين مُختلفتين أو أكثر حيث تحتفظ كُلّ مادّة بخصائصها الكيميائية المُنفردة. لا يمتزج المخاليط غير المُتجانسة ببعضها بسلاسة، فتُظَلّ المواد المُنفردة مُتميزة. تُعتبر المعلقات والغرويات من المخاليط غير المُتجانسة.

**المعلقات المعلقة** هو خليط يحتوي على جسيمات ترسب إذا ما تركت ثابتة. يُعتبر الباء المُوحل المُبين في الشكل 1 معلقاً. سكب معلق سائل عبر مصفاة سيفصل كذلك الجسيمات المعلقة.

**مخاليط متغيرة الانسيابية** تتفصل بعض المعلقات إلى خليط شبه صلب في الأسفل وماء في الأعلى. عندما يخضع تحريك أو رج الخليط شبه الصلب، فإنه ينساب مثل السائل. تُعدّ المواد التي تُصبح سَلياً مثلًا متغيرة الانسيابية. فمعجون الأسنان على سبيل المثال هو متغير الانسيابية، فهو بمثابة سائل عندما يتم عصره من الأنبوب ومادّة صلبة عندما تُضغّ على فرشاة. تُعدّ بعض الأصباغ متغيرة الانسيابية — يُمكنك تحريكها وهي داخل غلبة الصبغ إلا أنها لا تنساب للأسفل عندما تكون على عصا التحريك أو على الفرشاة. يجب أن يكون البتاتين في المناطق الزلزالية على علم بأنّ بعض أنواع الطين تكون متغيرة الانسيابية. يُشكّل هذا الطين سوايل كنتيجة لاندلاع الزلزال، والذي يتسبّب في انهيار المنشآت التي بُنيت عليها.

■ الشكل 1 يُمكن فصل المعلق إذا ما تركناه يستقر لفترة من الزمن. يُمكن كذلك فصل معلق سائل عبر الترشيح.



أي من التالية يُد من الغرويات؟

د. الأسماك

ج. الطين

ب. الماء

أ. الطين



CHM.5.2.02.007.03 يتعرف على مكونات المحلول (المذيب - المذاب) - يعرف كلا من المذاب والمذيب

نص كتاب الطالب + الجدول 2

346 , 347

## الجدول 2 أنواع المحاليل وأمثلة عليها

نوع المحلول	مثال	المُذِيب	المُذَاب
غاز	الهواء	التيتروجين (غاز)	الأكسجين (غاز)
سائل	مياه غازية	الماء (سائل)	ثاني أكسيد الكربون (غاز)
سائل	مياه المحيط	الماء (سائل)	غاز الأكسجين (غاز)
سائل	مانع التجمد	الماء (سائل)	جليكول الإيثيلين (سائل)
سائل	الحل	الماء (سائل)	حمض الأسيتك (سائل)
سائل	مياه المحيط	الماء (سائل)	كلوريد الصوديوم (صلب)
صلب	ملغم خشوة الأسنان	الفضة (صلب)	الزئبق (سائل)
صلب	الفولاذ	الحديد (صلب)	الكربون (صلب)



**ظاهرة تبدال** غالباً ما تكون الغرويات البركزة فاتمة وغير شفافة. تبدو الغرويات النخضة أحياناً واضحة بقدر المحاليل. تبدو الغرويات النخضة كالمحاليل المتجانسة لأن جسيماتها النشئة صغيرة جداً. غير أن جسيمات الغروي النشئة تشتت الضوء. وهي ظاهرة تُعرف بظاهرة تبدال. في الشكل 3 عند سقوط حزمة ضوئية على اثنين من المخاليط غير المعروفة. بإمكانك أن تلاحظ أنه وعلى عكس الجسيمات في المحلول فإن جسيمات الغروي النشئة تشتت الضوء. تظهر العلاقات كذلك ظاهرة تبدال. بينما لا تظهر المحاليل أبداً ذلك. لقد أدركت ظاهرة تبدال إذا كنت قد لاحظت مرور أشعة الشمس عبر هواء ملوث بالدخان. أو شاهدت أضواء غير الضباب. يُمكن استخدام ظاهرة تبدال لتحديد الجسيمات المنتشرة في المعلق.

## المخاليط المتجانسة

قد تبدو محاليل الخلطة ومياه المحيطات والفولاذ غير متشابهة. إلا أنها تشترك في بعض الخصائص. لقد تعلمت سابقاً أن المحاليل هي مخاليط متجانسة تحتوي على مادتين أو أكثر تُسمى المذاب والمذيب. المذاب هو المادة الذائبة. المذيب هو وسط المذيب. عندما تنظر إلى محلول ما، فإنه من غير الممكن أن تميز بين المذاب والمذيب.

■ الشكل 3 الجسيمات في الغروي تُشتت ضوءاً على عكس الجسيمات في المحلول. يكون شعاع الضوء مرئياً في الغروي نتيجة لتشتت الضوء. ويُسمى هذا ظاهرة تبدال. حدد أي من هذه المخاليط تُعد غروية.

## أنواع المحاليل

قد يكون المحلول غازياً أو سائلاً أو صلباً. بناءً على حالة المذيب، كما هو مبين في الجدول 2. يُعتبر الهواء محلولاً غازياً ومذيبةً هو غاز التيتروجين. قد يكون تقويم الأسنان الذي تضعه على أسنانك مصنوعاً من التيتانيول. وهو محلول صلب من التيتانيوم المذاب في النيكل. مع ذلك، فإن أغلب المحاليل هي سوائل. لقد فرأت سابقاً أن التفاعلات يمكن أن تنغ في محاليل سائلة أو محاليل يكون فيها المذيب ماء. يُعتبر الماء من أكثر المذيبات استعمالاً في المحاليل السائلة.

مقياس يُعبر عن كمية المذاب الذائبة في كمية محددة من المذيب أو المحلول هو \_\_\_\_\_

النسبة المئوية

التخفيف

التركيز

الكلفن

وزاري

تشتت بعض المخاليط الضوء كما يظهر في الشكل انداء

أي مما يلي صحيح؟

A - المخلوطة " 1 " غروي بينما المخلوطة " 2 " محلول

B - المخلوطة " 1 " محلول والمخلوطة " 2 " غروي

C - المخلوطة " 1 " هو مخلوطة غير متجانسة

D - المخلوطة " 2 " هو مخلوطة متجانسة

مثلاً يمكن أن تأخذ المحاليل أشكالاً مختلفة، فإن المذابات في المحاليل يمكن أن تكون غازية أو سائلة أو صلبة، كما هو أيضاً مبين في الجدول 2. يمكن للمحاليل مثل مياه المحيط أن تحتوي على أكثر من مذاب واحد.

يمكن للمحاليل على عكس تركيبات أخرى، فإن بعض التركيبات للمواد تكون محاليل على الفور. ومن أمثلة هذه المواد التي تذوب في المذيب بأنها ذائبة في ذلك المذيب. فالسكر على سبيل المثال، ذائب في الماء. وتلك حقيقة قد تكون تعلمتها عن طريق إذابة السكر في مياه منقّهة لتحصّر مشروباً مُحلى مثل الشاي أو عصير الليمون. ويُسمى سائلان قابلان للذوبان في بعضهما البعض بأنّ يسيّ كائنات، مثل السوائل التي تُشكّل مانع التجمد المُدرج في جدول 2 سائلان قابلان للامتزاج. ونقول عن المادة التي لا تقبل الذوبان في مذيب بأنها غير قابلة للذوبان في ذلك المذيب. إن الزئبق غير قابل للذوبان في الماء. تنفصل السوائل في رُجاجة تحتوي على الزيت والحل بعد خلطها بفترة وجيزة. إن الزيت غير قابل للذوبان في الحل. يُسمى سائلان يمكن خلطهما ببعض لكن يفصلان عن بعضهما البعض في فترة وجيزة بسائلين غير قابلين للامتزاج.

أي من المحاليل التالية المذيب فيه بالحالة الصلبة؟  
 1. جسيمات الغرويات أصغر بكثير من الذرات  
 2. جسيمات الغرويات كبيرة الحجم  
 3. جسيمات الغروي يمكن فصلها عن طريق الترسيب أو الترشيح.

مياه المحيط

الهواء

ملغم خشوة الأسنان

الحل

الغرويات تشتت شعاع الضوء التي تمر من خلالها.



## تطبيقات

## التعبير عن التركيز

يُعَدُّ تركيزُ المحلول مقياسًا يُعبَّرُ عن كميَّة المُذاب الذَّائِبَةِ في كميَّةٍ مُحدَّدة من المُذيب أو المحلول. ويُمكنُ التَّعبيرُ بِشكلٍ نوعيٍّ عن التركيز من خلال استخدام كلمة مُركَّز أو مُخفَّف. لاحظ إيريقي الشَّاي في الشَّكل 4. فأحدُ الإبريقين يحتوي على شايًا أكثر تركيزًا من الآخر. عُمومًا، يحتوي المحلولُ المُركَّزُ على كميَّةٍ كبيرةٍ من المُذاب. فالشَّاي ذو اللونِ الذَّاكِنِ يحتوي على جُسيماتٍ شايٍ أكثر من الشَّاي ذي اللونِ الفاتح. والعكس صحيح؛ فالمحلولُ المُخفَّفُ يحتوي على كميَّةٍ أقلَّ من المُذاب. فالشَّاي ذو اللونِ الفاتح في الشَّكل 4 هو محلولٌ مُخفَّف. إذ يحتوي على جُسيماتٍ شايٍ أقلَّ من الشَّاي ذي اللونِ الذَّاكِنِ.

وعلى الرَّغم من أنَّ التَّعبيرَ النوعي عن التركيز يُمكنُ أن يكونَ مُفيدًا، إلا أنَّه غالبًا ما يَنبَغُ التَّعبيرُ عن المحاليل كميًّا. ومن التَّعابير الكميَّة الأكثر شيوعًا عن التركيز نجدُ النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم والمولارية والمُولالية. وكل هذه التَّعابير تُصِفُ التركيزَ على أنَّه نسبةُ الكميَّات المُقاسمة للمذاب والمُذيب أو للمحلول كُُلُّ. ويحتوي الجدول 3 على وصفٍ لكلِّ نسبةٍ. أيُّ تعبيرٍ كميٍّ يجبُ استعماله؟ يُعتَمَدُ استعمالُ التَّعبيرِ المُناسب على نوعِ المحلول الذي يَنبَغُ تحليله والسَّبب وراءَ وَصْفِهِ. فإذا كان أحدُ الكيميائيينَ مثلاً يعملُ على تفاعلٍ في محلولٍ مائيٍّ فسوف يستخدمُ غالبًا المُولارية للتَّعبير عن تركيز المحلول لأنَّه يحتاجُ إلى معرفة عددِ الجُسيمات التي تُشكِّلُ التَّفاعل.

## الجدول 3 نسبُ التركيز

وصفُ التركيز	النسبة
النسبة المئوية بالكتلة	$100 \times \frac{\text{كتلة المُذاب}}{\text{كتلة المحلول}}$
النسبة المئوية بالحجم	$100 \times \frac{\text{حجم المُذاب}}{\text{حجم المحلول}}$
المُولارية	$\frac{\text{عدد مولات المُذاب}}{\text{حجم المحلول باللتر}}$
المُولالية	$\frac{\text{عدد مولات المُذاب}}{\text{كتلة المُذيب بالكيلوجرام}}$
الكسر المولي	$\frac{\text{عدد مولات المُذاب}}{\text{عدد مولات المُذاب + عدد مولات المُذيب}}$

**النسبة المئوية بالكتلة** النسبة المئوية بالكتلة هي نسبةُ كتلة المُذاب إلى كتلة المحلول ويُعبَّرُ عنها بنسبةٍ مئوية. تُساوي كتلةُ المحلول مجموعَ كتلي المُذاب والمُذيب.

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

تُساوي النسبة المئوية بالكتلة كتلة المُذاب مقسومةً على كتلة المحلول الكلِّية ومضروبةً في 100.

## مثال 1

احسب النسبة المئوية بالكتلة من أجل الحفاظ على التَّمائُل بين تركيز كلوريد الصُّوديوم (NaCl) وتركيز مياه المحيط. يجبُ أن يحتوي حوضُ الأسماك على 3.6 g NaCl لكلِّ 100.0 g من الماء. ماهي النسبة المئوية بالكتلة ل NaCl في المحلول؟

## تحليل المسألة

المُعطى: 3.6 g NaCl لكلِّ 100.0 g من الماء. النسبة المئوية بالكتلة لمحلول ما، هي نسبةُ كتلة المُذاب إلى كتلة المحلول.

## المعلوم

$$\begin{aligned} \text{كتلة المُذاب} &= 3.6 \text{ g NaCl} \\ \text{كتلة المُذيب} &= 100.0 \text{ g H}_2\text{O} \end{aligned}$$

## 2 حساب المجهول

أوجد كتلة المحلول.

$$\begin{aligned} \text{كتلة المحلول} &= \text{جرامات المُذاب} + \text{جرامات المُذيب} \\ \text{كتلة المحلول} &= 3.6 \text{ g} + 100.0 \text{ g} = 103.6 \text{ g} \end{aligned}$$

احسب النسبة المئوية بالكتلة.

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

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

مَوْضُ كتلة المُذاب = 3.6 g وكتلة المحلول = 103.6 g.

ما النسبة المئوية بالكتلة لكلوريد الصُّوديوم NaCl في محلول يحتوي

على 4.0 g من NaCl مذابة في 100.0 g من الماء H<sub>2</sub>O؟

3.8%

9. ما النسبة المئوية بالكتلة لمحلول يحتوي على 20.0 g من كربونات الصُّوديوم الهيدروجينية NaHCO<sub>3</sub> مذابة في 600.0 mL من الماء H<sub>2</sub>O؟ احسب كتلة المحلول بالجرامات.

$$600.0 \text{ mL H}_2\text{O} \times 1.0 \text{ g/mL} = 600.0 \text{ g H}_2\text{O}$$

احسب النسبة المئوية بالكتلة:

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

$$= \frac{20 \text{ g NaHCO}_3}{600 \text{ g H}_2\text{O} + 20 \text{ g NaHCO}_3} \times 100 = 3\%$$

10. إذا كانت النسبة المئوية بالكتلة لـ هيوكلوريد الصُّوديوم NaOCl في محلول مبيض الملابس هي 3.62%، وكان لديك 1500.0 g من المحلول، فما كتلة NaOCl في المحلول؟

$$3.62\% = \frac{\text{كتلة NaOCl}}{1500.0 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\text{كتلة NaOCl} = 54.3 \text{ g}$$

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

$$1500.0 \text{ g} - 54.3 \text{ g} = 1445.7 \text{ g مذيب}$$

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

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

$$2.65\% = \frac{50 \text{ g CaCl}_2}{\text{كتلة المحلول}} \times 100\%$$

$$\text{كتلة المحلول} = 1886.79 \text{ g}$$

## تطبيقات

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

$$\text{mol } C_6H_{12}O_6 = 40.0 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{180.16 \text{ g}} = 0.222 \text{ mol}$$

احسب المولارية:

$$M = \frac{\text{عدد مولات المذاب (mol)}}{\text{حجم المحلول (L)}} = \frac{\text{mol } C_6H_{12}O_6}{1.5 \text{ L}} = \frac{0.222 \text{ mol}}{1.5 \text{ L}} = 0.148 \text{ M}$$

17. احسب مولارية محلول حجمه 1.60 L ومذاب فيه 1.5 g من بروميد البوتاسيوم KBr.  
احسب عدد مولات KBr

$$\text{mol KBr} = 1.5 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{119.0 \text{ g}} = 0.0130 \text{ mol KBr}$$

18. ما مولارية محلول مبييض ملابس يحتوي على 9.5 g NaOCl لكل لتر من المحلول؟  
احسب عدد مولات NaOCl

$$\text{mol NaOCl} = 9.5 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{74.44 \text{ g}} = 0.13 \text{ mol}$$

احسب المولارية:

$$M = \frac{\text{عدد مولات المذاب (mol)}}{\text{حجم المحلول (L)}} = \frac{\text{mol NaOCl}}{1.00 \text{ L}} = \frac{0.128 \text{ mol}}{1.00 \text{ L}} = 0.128 \text{ M}$$

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

احسب عدد مولات  $Ca(OH)_2$ 

$$M = \frac{\text{عدد مولات المذاب (mol)}}{\text{حجم المحلول (L)}} = \frac{x \text{ mol } Ca(OH)_2}{1.5 \text{ L}} = 0.25 \text{ M}$$

$$x = 0.38 \text{ mol } Ca(OH)_2$$

احسب كتلة  $Ca(OH)_2$  بالجرامات:

$$0.38 \text{ mol } Ca(OH)_2 \times \frac{74.08 \text{ g}}{\text{mol}} = 28 \text{ g } Ca(OH)_2$$

**المولارية:** إن النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم ليسا إلا طريقتين من الطرق الشائعة للتعبير الكمي عن تركيز المحاليل. وتعتبر المولارية من أكثر الوحدات شيوعاً لقياس تركيز المحلول. **المولارية (M):** هي عدد مولات المذاب الذائبة في لتر من المحلول. تعرف المولارية أيضاً بالتركيز المولاري وتقرأ الوحدة M. فولار. فليتر من محلول يحتوي على 1 mol من المذاب هو محلول 1M. وتقرأ محلول 1 مولار. ويؤتى أيزاً من محلول يحتوي على 0.1 mol من المذاب بمحلول 0.1 M. والحساب مولارية المحلول يجب معرفة حجم المحلول بالتر وعدد مولات المذاب.

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

## مثال 2

حساب المولارية يحتوي 100.5 mL من محلول غثن الوريد على 5.10 g من الجلوكوز ( $C_6H_{12}O_6$ ). ما مولارية هذا المحلول؟ الكتلة المولية للجلوكوز هي 180.16 g/mol

## 1 تحليل المسألة

لذلك كتلة الجلوكوز الذائبة في حجم من الماء مولارية المحلول هي نسبة عدد مولات المذاب لكل لتر من المحلول.

المعلوم:

$$\begin{aligned} \text{كتلة المذاب} &= 5.10 \text{ g } C_6H_{12}O_6 \\ \text{الكتلة المولية لـ } C_6H_{12}O_6 &= 180.16 \text{ g/mol} \\ \text{حجم المحلول} &= 100.5 \text{ mL} \end{aligned}$$

المجهول:

$$\text{تركيز المحلول } M = ?$$

## 2 حساب المجهول

احسب عدد مولات  $C_6H_{12}O_6$ .

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

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

حوّل حجم المحلول إلى لتر.

$$(100.5 \text{ mL}) \left( \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \right) = 0.1005 \text{ L}$$

حل لحساب المولارية.

$$M = \frac{\text{عدد مولات المذاب}}{\text{حجم المحلول بالتر}}$$

$$\left( \frac{0.0283 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{0.1005 \text{ L المحلول}} \right) = M$$

$$0.282 M = M$$

## 3 تقييم الإجابة

ستكون قيمة المولارية قليلة لأن كتلة الجلوكوز الذائبة في المحلول صغيرة. تحتوي كتلة الجلوكوز المتضمنة في المسألة ثلاثة أرقام معنوية. بالتالي تحتوي قيمة المولارية كذلك على ثلاثة أرقام معنوية.

**النسبة المئوية بالحجم:** تصف عادة المحاليل التي يكون فيها المذيب والذات في الحالة السائلة. والنسبة المئوية بالحجم هي نسبة حجم المذاب إلى حجم المحلول وتقرأ عنها بنسبة مئوية. وحجم المحلول هو مجموع حجم المذاب وحجم المذيب. إن حسابات النسبة المئوية بالحجم تشبه حسابات النسبة المئوية بالكتلة.

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

(مذاب + مذيب)

يُعدّ التبريل العنبري الموضح في الشكل 5 وفوداً بدلاً من طيف الإحراق. يُنتج عن موارد مُتجددة. ويُستعمل في مُحركات الديزل مع الزيول من المُحسّنات أو حتى من دولها. والتبريل العنبري سهل الاستعمال وقابلٌ للمُخلط العنبري وغير سام ولا يحتوي على بعض المُلوّثات الموجودة في الجازولين المادي. كما أنّه لا يحتوي على المُعطّر. ولكن يُمكن مزجته مع الديزل المُطفي لتكوين الديزل العنبري المُمزج. يتكوّن 20% 8.20 من الحجم من ديزل عوي و 80% من الحجم من ديزل المُطفي.

التأكد من فهم النش قانون بين النسبة المئوية بالكتلة والنسبة المئوية بالحجم.

## تطبيقات

13. ما النسبة المئوية بدلالة الحجم للإيثانول في محلول يحتوي على 35 mL إيثانول مذاب في 155 mL ماء؟

$$\begin{aligned} 100\% \times \frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}} &= \text{النسبة المئوية بالحجم} \\ &= \frac{35 \text{ mL}}{155 \text{ mL} + 35 \text{ mL}} \times 100\% = 18\% \end{aligned}$$

14. ما النسبة المئوية بدلالة الحجم لكحول أيزوبروبيل، في محلول يحتوي على 24 mL من كحول الأيزوبروبيل مذاب في 1.1 L من الماء؟

$$\begin{aligned} 100\% \times \frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}} &= \text{النسبة المئوية بالحجم} \\ &= \frac{24 \text{ mL}}{24 \text{ mL} + 1100 \text{ mL}} \times 100\% = 2.1\% \end{aligned}$$

15. تحفيز إذا استعمل 18 mL من الميثانول لعمل محلول مائي تركيزه 15% بالحجم، فما حجم المحلول الناتج بالمليتر؟

$$\begin{aligned} 100\% \times \frac{\text{حجم المذاب}}{\text{حجم المحلول}} &= \text{النسبة المئوية بالحجم} \\ 15\% &= \frac{18 \text{ mL}}{x \text{ mL}} \times 100\% \\ x &= 120 \text{ mL} \end{aligned}$$



## تطبيقات

22. ما كتلة NaOH في محلول مائي حجمه 250 mL وتركيزه

3.0 M

احسب عدد مولات NaOH

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

$$3.0 \text{ M} = \frac{(\text{mol NaOH})}{0.250 \text{ L}}$$

$$\text{mol NaOH} = (3.0 \text{ M})(0.250 \text{ L})$$

$$= (3.0 \text{ mol/L})(0.250 \text{ L})$$

$$= 0.750 \text{ mol}$$

احسب كتلة NaOH

$$\text{كتلة NaOH} = 0.75 \text{ mol NaOH} \times \frac{40.00 \text{ g}}{\text{mol}}$$

$$= 3.0 \times 10^1 \text{ g}$$

23. تحفيز ما حجم الإيثانول في 100.0 mL من محلول

تركيزه 0.15 M، إذا علمت أن كثافة الإيثانول هي

0.7893 g/mL

احسب عدد مولات C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

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

$$0.15 \text{ M} = \frac{(\text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH})}{0.1 \text{ L}}$$

$$\text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH} = 0.015 \text{ mol}$$

احسب كتلة C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

$$0.015 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH} \times \frac{46 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 69 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

احسب حجم C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

$$69 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH} \times \frac{1 \text{ mL}}{0.7893 \text{ g}} = 87 \text{ mL C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

20. ما كتلة CaCl<sub>2</sub> الذائبة في 1 L من محلول تركيزه 0.10 M ؟احسب عدد مولات CaCl<sub>2</sub>

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

$$0.10 \text{ M} = \frac{(\text{mol CaCl}_2)}{1 \text{ L}}$$

$$\text{mol CaCl}_2 = (0.10 \text{ M})(1.0 \text{ L}) = (0.10 \text{ mol/L})(1.0 \text{ L})$$

$$= 0.10 \text{ mol CaCl}_2$$

احسب كتلة CaCl<sub>2</sub>

$$\text{كتلة CaCl}_2 = 0.10 \text{ mol CaCl}_2 \times \frac{110.98 \text{ g}}{\text{mol}} = 11 \text{ g}$$

21. ما كتلة CaCl<sub>2</sub> اللازمة لتحضير 500.0 mL من محلول

تركيزه 0.20 M ؟

احسب عدد مولات CaCl<sub>2</sub>

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

$$0.20 \text{ M} = \frac{(\text{mol CaCl}_2)}{0.5 \text{ L}}$$

$$\text{mol CaCl}_2 = (0.20 \text{ M})(0.5 \text{ L}) = (0.20 \text{ mol/L})(0.5 \text{ L})$$

$$= 0.10 \text{ mol CaCl}_2$$

احسب كتلة CaCl<sub>2</sub>

$$\text{كتلة CaCl}_2 = 0.10 \text{ mol CaCl}_2 \times \frac{110.98 \text{ g}}{\text{mol}} = 11 \text{ g}$$

ما مولارية محلول يحتوي على 40.0 g من الجلوكوز

(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) في 1.5 L من المحلول؟

0.15 M

180.16 g/mol

الكتلة المولية للجلوكوز

Molar mass of Glucose

الخطوة 3: يُضاف الماء التحضّر إلى  
الأنوار حتى يُمتلئ المُحلول إلى  
العلامة المحددة.الخطوة 2: يذاب المُذاب في  
الدورق المجهّز.الخطوة 1: تضاف كتلة المُذاب  
وتضاف إلى الدورق حجمي مناسب  
يحتوي على كمية مناسبة من الذهب.

الشكل 6 يوضح بدقة  
خطوات تحضير محلول  
كبريتات النحاس (II).  
اشرح لماذا لا يُمكنك  
إضافة 3% من كبريتات  
النحاس (II) مباشرة إلى  
1 L من الماء لإعداد  
محلول 1.5M.

تحضير المحاليل المولارية الآن بعدما تعلّمت كيفية حساب غلارته المحلول،  
كيف يمكنك تحضير محلول سائل حجمه 1 L وتركيزه 1.50M من كبريتات النحاس  
(II) المائية (CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O)؟ يحتوي المحلول السائل CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O والذي يبلغ  
تركيزه 1.50 M على 1.50 mol من CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O مذابة في 1 L من المحلول.  
الكتلة المولية لـ CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O هي تقريباً 249.70 g وبالتالي فإن 1.50 mol من  
CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O له كتلة تساوي 375 g وهي كتلة بإمكانك قياسها بالميزان.

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

ولكن لا يمكنك إضافة 375 g من CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O إلى 1 L من الماء للحصول على  
المحلول 1.50M. لأنّها مثل النواتج الأخرى، تمتلئ CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O على زيادة حجم  
المحلول إضافة إلى أنّها تأخذ مساحة. لذلك يجب استعمال كمية ماء أقلّ من بعض الشيء  
عن 1 L لتحضير 1 L من المحلول بينما هو موضح في الشكل 6

غالباً ما سوف تُجري تجارب تتطلب استعمال كميات صغيرة من المحلول. فقلّي  
سبيل المثال، قد لا تحتاج سوى إلى 100 mL من محلول 1.50M  
CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O لإجراء إحدى التجارب. ارجع إلى تعريف الغلارته. وبمنهج طريقة  
الحساب أعلاه، يحتوي محلول 1.50M of CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O على 1.50 mol من  
CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O لكل 1 L من المحلول. بالتالي يحتوي 1 L من المحلول على 375 g من  
CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O.

$$\text{يمكن استعمال هذه العلاقة كتعامل تحويل لحساب كمية المذاب اللازمة لنجارتك.}$$

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

لذلك ستحتاج إلى قياس 37.5 g من CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O لإعداد 100 mL من محلول  
1.50M.

أي مما يلي هو التعريف الصحيح للمولالية (m)

QUEST

نسبة عدد مولات المذاب الذائبة في 1 L من المحلول.

نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول مقارنة بعدد المولات الإجمالي للمذيب والمذاب.

نسبة حجم المذاب إلى حجم المحلول.

نسبة عدد مولات المذاب الذائبة في 1 kg من المذيب.

**المولالية** تقيس حجم المحلول عند تقيس درجة الحرارة، إذ تتمدد أو تنكمش. يؤثر هذا التغير في الحجم في مولارية المحلول. لا تتأثر كتل المواد في المحلول مع ذلك بدرجات الحرارة. لذا فإن القيد أحياناً وصفت المحاليل بعدد مولات المذاب الموجودة في كتلة معينة من المذيب. يسمى مثل هذا الوصف **المولالية** — نسبة عدد مولات المذاب الموجودة في 1 kg من المذيب. نقرأ الوحدة m مولالية.

ويسمى تركيز المحلول الذي يحتوي على 1 mol من المذاب لكل 1 kg من المذيب، مولالي (1 m).

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

### تطبيقات

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

احسب عدد مولات  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

$$\begin{aligned} \text{mol Na}_2\text{SO}_4 &= 10.0 \text{ g Na}_2\text{SO}_4 \times \frac{1 \text{ mol}}{142.04 \text{ g}} \\ &= 0.0704 \text{ mol Na}_2\text{SO}_4 \end{aligned}$$

احسب المولالية.

$$\begin{aligned} \text{المولالية m} &= \frac{\text{عدد مولات المذاب (mol)}}{\text{كتلة المذيب (kg)}} \\ &= \frac{0.0704 \text{ mol Na}_2\text{SO}_4}{1.0000 \text{ Kg H}_2\text{O}} = 0.0704 \text{ m} \end{aligned}$$

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

احسب عدد مولات  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ .

$$\begin{aligned} \text{المولالية m} &= \frac{\text{عدد مولات المذاب (mol)}}{\text{كتلة المذيب (kg)}} \\ 1.00 \text{ m} &= \frac{(\text{mol Ba}(\text{OH})_2)}{1 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\text{mol Ba}(\text{OH})_2 = 1 \text{ mol}$$

احسب كتلة  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ .

$$1 \text{ mol Ba}(\text{OH})_2 \times \frac{171 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 171 \text{ g Ba}(\text{OH})_2$$

أي مما يلي يعبر عن المولالية؟

أ. عدد مولات المذاب	ب. عدد مولات المذاب
ج. عدد مولات المذاب	د. حجم المذاب
حجم المحلول بالتر	حجم المحلول

ما مولالية محلول يحتوي على 5.0 g من كلوريد الصوديوم ( $\text{NaCl}$ ) ذائبة في 100.0 g من الماء ( $\text{H}_2\text{O}$ )؟

0.86 mol/Kg

0.18 mol/Kg

0.25 mol/Kg

Compound المركب	Molar mass الكتلة المولية
كلوريد الصوديوم ( $\text{NaCl}$ ) Sodium chloride	58.44 g/mol



## تطبيقات

**الكسر المولي** إذا عُرفت عدد مولات المذاب والمذيب، يُمكنك كذلك التعبير عن تركيز المحلول بما يُعرف **بالكسر المولي**، وهو نسبة عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول مُقارنةً بعدد المولات الإجمالي للمذاب والمذاب، مثلما هو موضح في الشكل 8.

يُستخدم الرمز  $X$  عادةً للكسر المولي مع كناية رمز تحته للإشارة إلى المذيب أو المذاب. ويُمكن التعبير عن الكسر المولي للمذاب ( $X_A$ ) والكسر المولي للمذاب ( $X_B$ ) كالآتي.

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

$X_A$  و  $X_B$  يُطلقان الكسر المولي لكل مادة.  
 $n_A$  و  $n_B$  يُطلقان عدد المولات لكل مادة.

يساوي الكسر المولي عدد مولات المذاب أو المذيب في المحلول مقسومًا على العدد الإجمالي لمولات المذاب والمذيب.

فُكّل سبيل المثال، افرض أنّ محلول حمض الهيدروكلوريك يحتوي على 36 g من HCl و 64 g من  $H_2O$ . لتحويل هذه الكتل إلى مولات عليك استعمال الكتل المولية كعامل تحويل.

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

$$n_{H_2O} = 64 \text{ g H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18.0 \text{ g H}_2\text{O}} = 3.6 \text{ mol H}_2\text{O}$$

يُمكن التعبير عن الكسور المولية لـ HCl وللماء كالآتي.

$$X_{HCl} = \frac{n_{HCl}}{n_{HCl} + n_{H_2O}} = \frac{0.99 \text{ mol HCl}}{0.99 \text{ mol HCl} + 3.6 \text{ mol H}_2\text{O}} = 0.22$$

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{HCl} + n_{H_2O}} = \frac{3.6 \text{ mol H}_2\text{O}}{0.99 \text{ mol HCl} + 3.6 \text{ mol H}_2\text{O}} = 0.78$$

29. ما الكسر المولي لهيدروكسيد الصوديوم NaOH في محلول

مائي منه يحتوي على 22.8% بالكتلة من NaOH؟

افرض أن لديك عينة وزنها 100.0 g، عندئذ،

$$m_{NaOH} = 22.8 \text{ g}$$

$$m_{H_2O} = 100.0 \text{ g} - (m_{NaOH}) = 77.2 \text{ g}$$

احسب عدد مولات كل من NaOH و  $H_2O$ ،

$$\text{mol NaOH} = 22.8 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{40.00 \text{ g}} = 0.570 \text{ mol NaOH}$$

$$\text{mol H}_2\text{O} = 77.2 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{18.02 \text{ g}} = 4.28 \text{ mol H}_2\text{O}$$

احسب الكسر المولي لـ NaOH،

$$X_{NaOH} = \frac{n_{NaOH}}{n_{NaOH} + n_{H_2O}} = \frac{0.570 \text{ mol NaOH}}{0.570 \text{ mol NaOH} + 4.28 \text{ mol H}_2\text{O}} = \frac{0.570}{4.85} = 0.118$$

30. تحفيز إذا كان الكسر المولي لحمض الكبريتيك  $H_2SO_4$  في محلول مائي يساوي 0.325، فما كتلة الماء بالجرامات

الموجودة في 100 mL من المحلول؟

افرض أن عدد مولات العينة الكلي = 1.00 mol. عندئذ،

$$n_{H_2O} = m_{H_2O} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18 \text{ g H}_2\text{O}}$$

$$0.675 = m_{H_2O} \times \frac{1 \text{ mol H}_2\text{O}}{18 \text{ g H}_2\text{O}}$$

$$m_{H_2O} = 0.675 \times 18 = 12.15 \text{ g}$$

ما الكسر المولي لـ NaCl في محلول سائل يحتوي

على 0.735 mol NaCl و 6.0 mol  $H_2O$  ؟

0.99

0.74

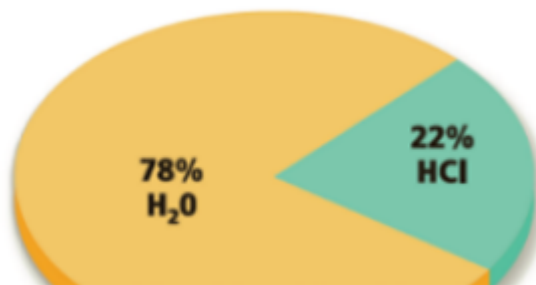
0.89

0.11

وزاري

ما الكسر المولي لحمض الهيدروكلوريك (HCl) في محلول يحتوي على

نسبة حمض الهيدروكلوريك والماء ( $H_2O$ ) المبينة في الشكل أدناه؟



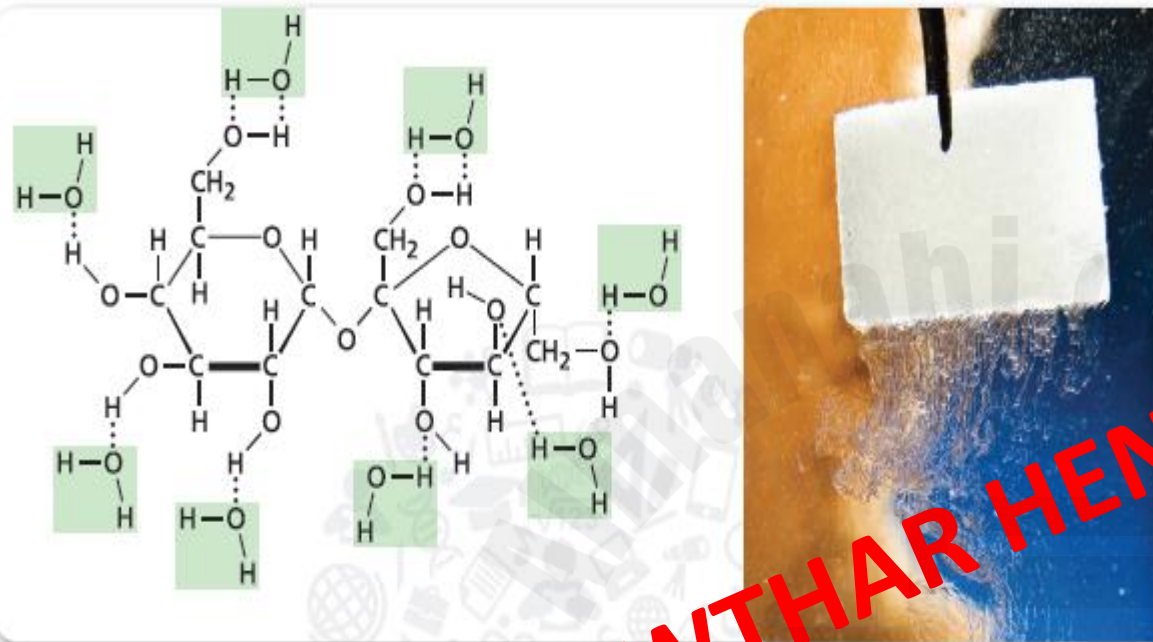
0.22

0.78

0.72

0.17

T.KAWTHAR HENDAWI



■ الشَّكل 12 تحتوي جُسيماتُ السُّكروز على ثمانية روابط  $O-H$  قطبية. وتُكوِّن جُسيمات الماء روابط هيدروجينية مع روابط  $O-H$  مما يسحب السُّكروز داخل المحلول.

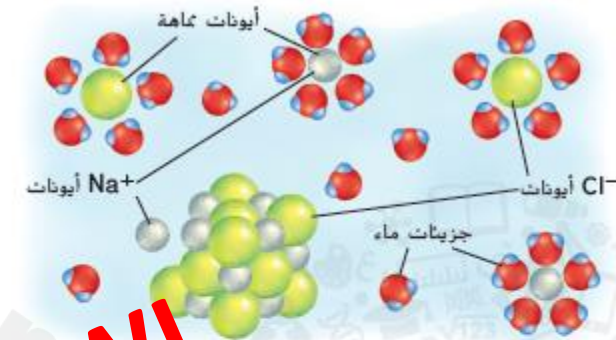
■ المحاليل السائلة للمركبات الجزيئية يُعدُّ الماء أيضًا مذيبًا مهمًا للعديد من المركبات الجزيئية. فشكر المائدة هو عبارة عن المركب الجزيئي للسكروز.

وكما هو موضح في الشَّكل 12، فجُسيماتُ السُّكروز قطبية وتحتوي على عدة روابط  $O-H$ . وبهجرة فلامسة بلورات السكر الماء، تصطدم جُسيمات الماء بالسطح الخارجي للبلورات. وتُصبح كل رابطة  $O-H$  في السكروز موقفا لتكوين

روابط هيدروجينية مع الماء. فتتغلب قوى التجاذب بين جُسيمات الماء وجُسيمات السكروز القطبية على قوى التجاذب بين جُسيمات السكروز وجُسيمات السكروز البلورية. وتُصبح ذائبة في الماء.

الزيت هو مادة تتكوَّن أساسًا من الكربون والهيدروجين. ولا يُكوِّن محلولًا في الماء. وذلك لأنَّ قوى التجاذب بين جُسيمات الماء القطبية وجُسيمات الزيت القطبية ضعيفة. غير أنَّ الزيت المنسكب يمكن تنظيفه بتدب غير قطبي. المذاب غير القطبي يذوب بسهولة أكبر في المذيبات غير القطبية.

### عملية ذوبان NaCl



■ الشَّكل 10 يذوب كلوريد الصوديوم في الماء عندما تُحيط جُسيمات الماء بأيونات الصوديوم والكلوريد. لاحظ كيف تُوجَّه جُسيمات الماء القطبية نفسها حول الأيونات الموجبة والأيونات السالبة بطريقة مُختلفة.

■ المحاليل السائلة للمركبات الأيونية تذكر أنَّ جُسيمات الماء هي جُسيمات قطبية في حركة مستمرة. حسب نظرية الحركة الجزيئية. فعند وضع بلورة من مركب أيوني مثل كلوريد الصوديوم ( $NaCl$ ) في الماء، تصطدم جُسيمات الماء بـ سطح البلورة. وعندما تجذب أطراف جُسيمات الماء المشحونة أيونات الصوديوم الموجبة وأيونات الكلوريد السالبة. وهذا التجاذب بين ثنائيات الأقطاب والأيونات أكبر من التجاذب بين الأيونات في البلورة. لذلك تبتعد الأيونات عن سطح البلورة. تُحيط جُسيمات الماء بالأيونات. فتنتقل الأيونات البتداء نحو المحلول. كما هو موضح في الشَّكل 10. مُعرضة أيونات أكثر على سطح البلورة للذوبان. وهكذا تستمر عملية الذوبان حتى تذوب البلورة كُلها.

ليست كل المواد الأيونية قابلة للإذابة من طريق جُسيمات الماء. فالجيس مثلًا لا يذوب في الماء لأنَّ قوة التجاذب بين أيونات الجيس قوية جدًا بحيث لا تستطيع قوة التجاذب بين جُسيمات الماء وأيونات الجيس التغلب عليها. كما هو موضح في الشَّكل 11، فقد ساهمت اكتشافات محاليل ومخاليط معينة منها الجيرة الطبية المصنوعة من الجيس في تطوير الكثير من المنتجات والعلاجات.

### ■ الشَّكل 11 إنجازات مهمة في كيمياء المحاليل

لقد ساهم العلماء العاملون في مجال المحاليل في تطوير مُنتجات وعلاجات في مجالات مثل التغذية الطبية وتحضير الطعام وحفظه والصحة العامة والسلامة.

الشبيه يذيب الشبيه " هي القاعدة العامة المستخدمة لتحديد ما إذا كانت عملية الذوبان تحدث أم لا

كلمة الشبيه تعني تماثل الجزيئات في :

أ. الكتلة ب. الحجم ج. القطبية د. الطاقة

ما الذي يُفسر ذوبان السكروز (سكر المائدة) في الماء؟

جزيئات السكروز قطبية وتحتوي على عدة روابط  $O-H$

جزيئات السكر وز غير قطبية

السكروز مركب أيوني

قوى التجاذب بين جزيئات السكروز مع بعضها البعض

أقوى من قوى التجاذب بين جزيئات السكروز وجزيئات الماء



## العوامل المؤثرة في الإذابة

تحدث الإذابة فقط عندما تتصل جسيمات المذاب والمذيب ببعضها البعض. هنالك ثلاث طرق شائعة موصّحة في الشكل 13 لزيادة التصادمات بين جسيمات المذاب وجسيمات المذيب مما يزيد من سرعة إذابة المذاب وهي: التحريك وزيادة مساحة سطح المذاب ورفع درجة حرارة المذيب.

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

**مساحة السطح** إنّ تكسير المذاب إلى قطع صغيرة يزيد من مساحة سطحه. تسنّح الزيادة في مساحة السطح بالزيادة في عدد التصادمات. لهذا السبب فإنّ ذوبان ملعقة صغيرة من الشكر المطحون يكون أسرع من ذوبان نفس الكمية من الشكر الذي يكون في شكل مكعب.

**الحرارة** تتأثّر سرعة الذوبان بدرجة الحرارة. يذوب الشكر مثلاً في الشاي الساخن مثلاً هو موصّح في الشكل 13 بسرعة أكبر من ذوبانه في الشاي المثلج. بالإضافة إلى ذلك، تذوب المذيبات الساخنة إذابة كمية أكبر من المذاب الصلب. يستغرق الشاي الساخن سكّراً ذاتياً أكثر من الشاي المثلج. تسلك أغلب المواد الصلبة نفس سلوك الشكر عند الذوبان.

فمع الزيادة في درجة الحرارة، ترتفع كذلك نسبة الذوبان. ولكن ذوبان بعض المواد الأخرى، مثل الغازات، يقلّ بزيادة درجة الحرارة. فعلى سبيل المثال، تفقد المشروبات الغازية صوت الفوران (ثاني أكسيد الكربون) بشكل أسرع عند درجة حرارة الغرفة ممّا لو كانت باردة.

**حرارة المحلول** يجب على جسيمات المذاب خلال عملية

الإذابة أن تنفصل عن بعضها البعض. كما يجب على جسيمات

المذيب كذلك أن تتباعد لتسمح لجسيمات المذاب بالدخول

بينها. والطاقة ضرورية للتغلب على قوى التجاذب بين جسيمات

المذاب وجسيمات المذيب، بالنّسبة، فإنّ كلنا الخطوتين ماضتان

للحرارة. فعند خلط جسيمات المذيب مع جسيمات المذاب،

تجاذب جسيماتها وتنبعث الطاقة. تعدّ هذه الخطوة في عملية

الإذابة طاردة للطاقة. ويُسبب التغير الكلي للطاقة الذي يحدث

خلال عملية تكوّن المحلول حرارة المحلول.

وكما لاحظت في التجربة الاستهلالية في بداية هذه الوحدة،

فإنّ بعض المحاليل تُنتج الطاقة أثناء تكوّناتها، بينما يمتص بعضها

الأخر الطاقة خلال تكوّنهم. فعلى سبيل المثال، بعد ذوبان نترات

الأمونيوم في وعاء يحوي ماء، يُصبح الوعاء بارداً. وفي المقابل،

بعد ذوبان كلوريد الكالسيوم في وعاء يحوي ماء، يُصبح الوعاء

ساخناً.

85. صف عملية الذوبان.

تُحاط جسيمات المذاب بجسيمات المذيب الموضوع فيه، ويعود السبب في ذلك إلى التجاذب القائم بين جسيمات المذيب والمذاب التي تعمل على تشتت جسيمات المذاب وانتشارها في المحلول.

86. اذكر ثلاث طرائق لزيادة سرعة الذوبان.

زيادة درجة حرارة المذيب، وزيادة مساحة سطح المذاب، والتحريك.

87. اشرح الفرق بين المحاليل المشبعة والمحاليل غير المشبعة.

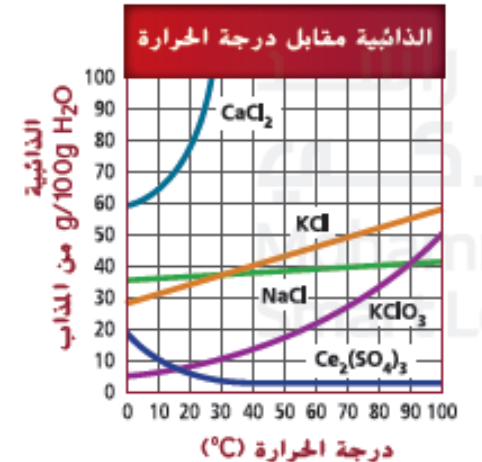
يحتوي المحلول المشبع على أكبر كتلة من المذاب عند مجموعة من الشروط المعطاة، ويحتوي المحلول غير المشبع على كتلة أقل من الكتلة التي يستطيع إذابتها.

## الذائبية

مثلاً يمكن فهم عملية الذوبان على مستوي الجسيمات، يمكن كذلك فهم الذائبية على مستوي الجسيمات. تعتمد ذائبية المذاب على طبيعة كل من المذاب والمذيب. فعند إضافة المذاب إلى المذيب، تتصادم جسيمات المذيب مع جسيمات سطح المذاب؛ وتبدأ جسيمات المذاب في الاختلاط عشوائيًا في جسيمات المذيب. في البداية، تتحرك جسيمات المذاب بعيدًا عن البلورة. إلا أنه مع زيادة عدد الجسيمات الذائبة، يتسبب نفس الاختلاط العشوائي في تصادمات متتالية ومتزايدة بين جسيمات المذاب الذائبة وبقيّة البلورة. تلتصق بعض جسيمات المذاب المتصادمة بسطح البلورة أو تتبلور مثلما هو موضح في الشكل 14. ومع استمرار عملية الذوبان، تزداد سرعة التبلور، بينما تبقى سرعة الذوبان ثابتة. طالما تبقى سرعة الذوبان أعلى من سرعة التبلور، فإن النتيجة هي الاستمرارية في عملية الذوبان.

واعتبارًا على كمية المذاب الموجودة، قد تتساوى سرعة الذوبان وسرعة التبلور في نهاية المطاف. وعند هذه النقطة، لا يذوب المزيد من المذاب ويصبح هنالك اتزان ديناميكي بين التبلور والذوبان (طالما بقيت درجة الحرارة ثابتة).

■ الشكل 15 يبين هذا الرسم البياني ذائبية عدة مواد في درجات حرارة مختلفة.



التأكد من فهم الرسم البياني

حدد ذائبية NaCl في درجة حرارة تساوي 80°C

**المحاليل غير المشبعة** يحتوي المحلول غير المشبع على كمية مذاب أقل من المحلول المشبع عند درجة حرارة وضغط معينين. بعبارة أخرى، يمكن إذابة كمية أكبر من المذاب في المحلول غير المشبع.

**المحاليل المشبعة** رغم استمرارية جسيمات المذاب في الذوبان والتبلور في المحاليل التي تصل إلى حالة الاتزان، إلا أن الكمية الإجمالية للمذاب في المحلول تبقى ثابتة. يُعرف مثل هذا المحلول، الموضح في الشكل 14 بالمحلول المشبع. وهو يحتوي على أكبر كمية من المذاب ذات كمية محددة من المذيب في درجة حرارة وضغط معينين.

**درجة الحرارة والمحاليل** فوق المشبعة تتأثر الذائبية بارتفاع درجة حرارة المذيب لأن طاقة جسيماته الحركية تزداد، مما يُنتج تصادمات متتالية أكثر وتصادمات ذات طاقة أعلى مقارنة بالتصادمات التي تحدث في درجات حرارة منخفضة.

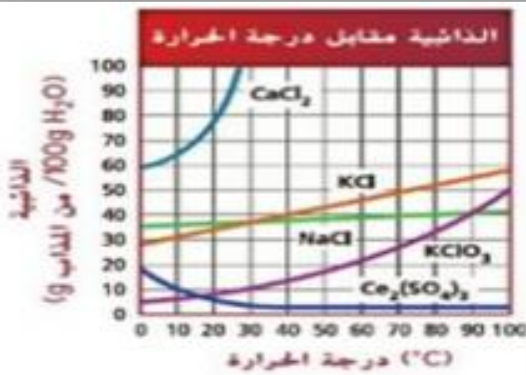
يوضح الشكل 15. أن ذائبية الكثير من المواد تكون أكبر في درجات حرارة أعلى. فمثلاً، ذائبية كلوريد الكالسيوم ( $\text{CaCl}_2$ ) تساوي 64 g  $\text{CaCl}_2$  لكل 100 g  $\text{H}_2\text{O}$  في درجة حرارة تساوي 10°C. عند زيادة درجة الحرارة إلى ما يقارب 27°C، تزداد الذائبية تقريبًا بنسبة 50% لتصبح 100 g  $\text{CaCl}_2$  لكل 100 g  $\text{H}_2\text{O}$ . بالنسبة لذائبية المواد الأخرى مثل كبريتات السيريوم،  $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$ ، فإنها تنخفض بسرعة في البداية إذا ما ارتفعت درجة الحرارة، لكنها بعد ذلك تبقى ثابتة.

يبين الرسم البياني أدناه ذائبية عدة مواد في درجات حرارة مختلفة. أي المواد تنخفض ذائبيتها بسرعة في البداية إذا ما ارتفعت درجة الحرارة؟

وزاري



ما هي المادة التي تذوب بشكل أسرع عند ارتفاع درجة الحرارة



$\text{Ce}(\text{SO}_4)_3$   
NaCl  
 $\text{CaCl}_2$   
KCl



s given its pressure and vice versa

## تطبيقات

36. إذا ذاب 0.55 g من غاز ما في 1.0 L من الماء عند ضغط 20.0 kPa، فما كمية الغاز نفسه التي تذوب عند ضغط 110 kPa؟

احسب ذائبية الغاز الابتدائية،

$$S_1 = \frac{0.55 \text{ g}}{1.0 \text{ L}} = 0.55 \text{ g/L}$$

من المعادلة  $\frac{S_1}{P_1} = \frac{S_2}{P_2}$  احسب ذائبية الغاز النهائية:

$$S_2 = S_1 \times \frac{P_2}{P_1} = 0.55 \text{ g/L} \times \frac{110.0 \text{ kPa}}{20.0 \text{ kPa}} = 3.0 \text{ g/L}$$

37. ذائبية غاز عند ضغط 10 atm تساوي 0.66 g/L. ما مقدار الضغط الواقع على محلول حجمه 1.0 L ويحتوي على 1.5 g من الغاز نفسه؟ احسب ذائبية الغاز النهائية،

$$S_2 = \frac{1.5 \text{ g}}{1.0 \text{ L}} = 1.5 \text{ g/L}$$

من المعادلة  $\frac{S_1}{P_1} = \frac{S_2}{P_2}$  احسب الضغط:

$$P_2 = P_1 \times \frac{S_2}{S_1} = 10.0 \text{ atm} \times \frac{1.5 \text{ g/L}}{0.66 \text{ g/L}} = 23 \text{ atm}$$

38. تحفيز ذائبية غاز عند ضغط 7 atm تساوي 0.52 g/L. ما كتلة الغاز بالجرامات التي تذوب في لتر واحد إذا تمت زيادة الضغط إلى 10 atm؟

من المعادلة  $\frac{S_1}{P_1} = \frac{S_2}{P_2}$  احسب ذائبية الغاز النهائية:

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

$$S_2 = (0.52 \text{ g/L}) \times \frac{10.0 \text{ atm}}{7.0 \text{ atm}}$$

$$S_2 = 0.73 \text{ g/L}$$

## مثال 5

**قانون هنري** إذا ذاب 0.85 g من الغاز عند ضغط مقداره 4.0 atm في 1.0 L من الماء في درجة حرارة تساوي 25 °C، فما هي كتلة الغاز التي ستذوب في 1.0 L من الماء في ضغط مقداره 1.0 atm وفي درجة الحرارة نفسها؟

## 1 تحليل المسألة

لديك درجة ذائبية الغاز عند الضغط الابتدائي. نظل درجة حرارة الغاز ثابتة مع تغير الضغط. و تقلل ذائبية الغاز. فإن كتلة أقل من الغاز أن تذوب عند ضغط أقل.

المجهول  
 $S_2 = ? \text{ g/L}$ 

المعلوم

$$S_1 = 0.85 \text{ g/L}$$

$$P_1 = 4.0 \text{ atm}$$

$$P_2 = 1.0 \text{ atm}$$

## 2 حساب المجهول

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

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

أكتب قانون هنري.

عدّل قانون هنري لإيجاد  $S_2$ .عوّض  $P_1 = 4.0 \text{ atm}$  و  $P_2 = 1.0 \text{ atm}$  و  $S_1 = 0.85 \text{ g/L}$  واقسم الأعداد والوحدات.

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

تساوي ذائبية غاز 0.550 g/L عند ضغط مقداره 2.0 atm

كم تصبح ذائبية الغاز (بوحدة g/L) في ضغط 4 atm؟

1.1

إن ذائبية غاز ما في ضغط مقداره 12.0 atm

تساوي 0.75 g/L فإذا أصبح الضغط الواقع

على محلول حجمه 1.0 L من الغاز 24.0 atm

1.5 g

فما كتلة الغاز المذابة بالجرام؟

ينص **قانون هنري** على أنّ ذائبية الغاز ( $S$ ) في سائل ما، تتناسب طرديًا مع ضغط ( $P$ ) الغاز فوق السائل عند درجة حرارة معينة. فعندما تكون قارورة المشروب الغازي مغلقة، كما هو موضح في الشكل 18 يعمل الضغط الواقع فوق المحلول على إبقاء غاز ثاني أكسيد الكربون في المحلول. ويُمكن تمثيل هذه العلاقة على النحو التالي.

## قانون هنري

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

 $S$  تمثل الذائبية.  
 $P$  تمثل الضغط.

عند درجة حرارة معينة، يبقى ناتج ذائبية الغاز وضغطه ثابتين.

غالبًا ما يُستخدم قانون هنري لتحديد ذائبية  $S_2$  عند ضغط جديد  $P_2$  حيث يكون  $P_2$  معروف. ويُمكن استخدام قواعد الجبر الأساسية لحل معادلة قانون هنري لإيجاد أيّ من المتغيرات. ولإيجاد  $S_2$ ، ابدأ باستخدام قانون هنري الأساسي.

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

نحصلُ على المعادلة التالية انطلاقًا من الضرب التبادلي.

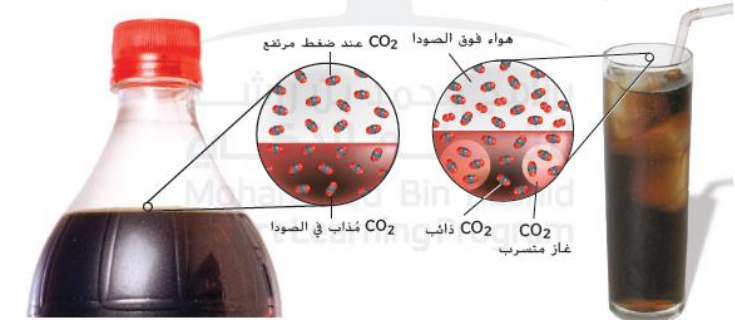
$$S_1 P_2 = P_1 S_2$$

و من خلال قسمة طرفي المعادلة على  $P_1$ ، نتحصلُ على النتيجة المرجوة—لإيجاد  $S_2$ .

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

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

الشكل 18 ثاني أكسيد الكربون ( $\text{CO}_2$ ) مذاب في المشروبات. يوجد بعض  $\text{CO}_2$  كذلك في الغاز الذي يوجد فوق السائل. فسر لماذا يتصاعد ثاني أكسيد الكربون من المحلول عند زرع الفطائر؟



يحافظ الضغط الموجود فوق السائل في قارورة المشروب الغازي المغلقة على بقاء ثاني أكسيد الكربون الزائد في المحلول.

يقلّ الضغط الموجود فوق السائل عند فتح غطاء القارورة، مما يُطلق من ذائبية ثاني أكسيد الكربون.

T.KAWTHAR HENDAWI