القسم 1

حالة الاتزان الديناميكي

الفكرة الرئيسة يوصف الاتزان الكيميائي بوساطة تعبير ثابت الاتزان الذي يعتمد على تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة.

الأسئلة الرئيسة

- ما خصائص الاتزان الكيميائي؟
- كيف تتم كتابة تعابير الاتزان في الأنظمة المتزنة؟
- كيف تُحسب ثوابت الاتزان من بيانات التركيز؟

مفردات للمراجعة

الحفاز catalyst: مادة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي بدون استهلاكها في التفاعل.

مفردات جديدة

تفاعل انعكاسي reversible reaction
اتزان كيميائي chemical equilibrium
قانون الاتزان الكيميائي law of chemical equilibrium
ثابت الاتزان equilibrium constant
اتزان متجانس homogeneous equilibrium
اتزان غير متجانس heterogeneous equilibrium

الكيمياء في حياتك

تخيّل لعبة شد الحبل بين فريقين. فقد يبدو لك أن أيًا من الفريقين لا يسحب الحبل؛ لأن الحبل بينهما لا يتحرك. أما في الحقيقة، فإن كلا الفريقين يسحب الآخر، إلا أن القوة المبذولة من كلا الفريقين متساويةٌ ومتعاكسةٌ، لذا يكونان في حالة اتزانٍ تام.

ما المقصود بالاتزان؟

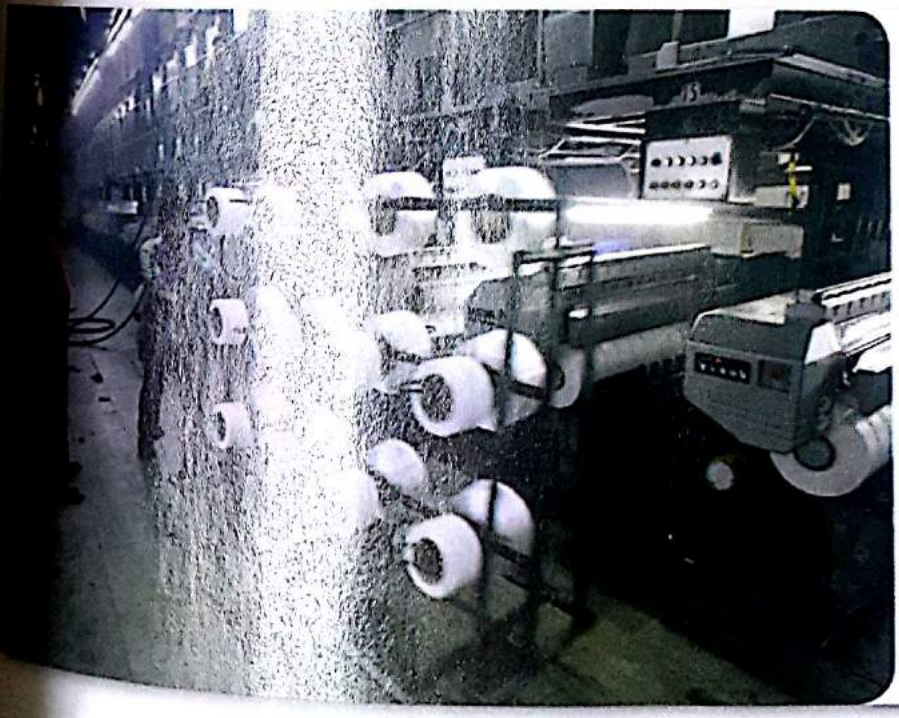
في كثير من الأحيان، تصل التفاعلات الكيميائية إلى نقطة توازن أو اتزان. فإذا قمت بإجراء التجربة الاستهلالية، فستجد أنّ نقطة الاتزان قد تم الوصول إليها من خلال نقل الماء من الإناء إلى المخبار المدرج، ومن المخبار المدرج إلى الإناء.

لاحظ تفاعل إنتاج الأمونيا من النيتروجين والهيدروجين التي قرأت عنها سابقًا

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$$

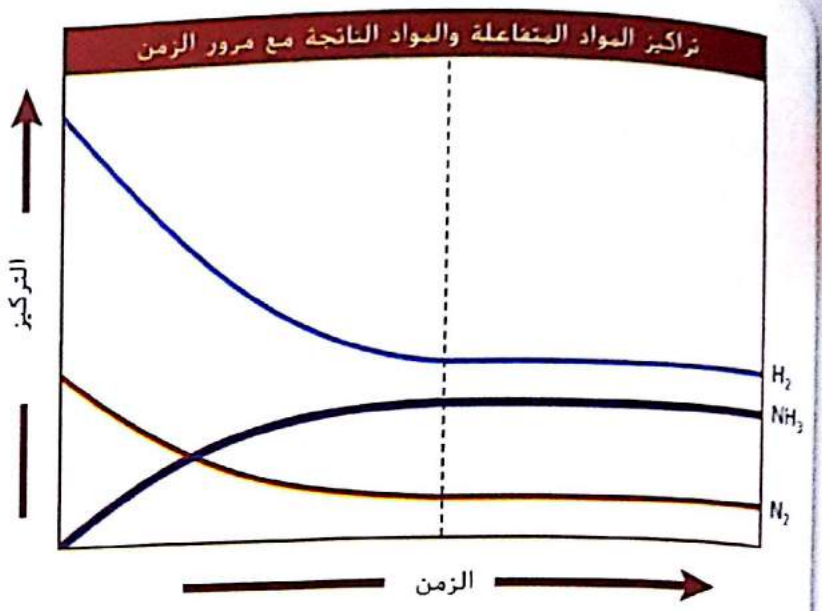
إنّ الأمونيا مهمة في الزراعة حيث تُستخدم كسماد ومادة تضاف إلى الأعلاف الحيوانية. أما في الصناعة، فتمثّل الأمونيا مادةً خام لصناعة العديد من المنتجات مثل النايلون، كما هو موضّح في **الشكل 1**.

يحدث تفاعل تحضير الأمونيا بصورة تلقائية في ظل ظروف قياسية. والظروف القياسية تعرف بأنها 298 K و 1 atm. ولكن التفاعلات التلقائية ليست سريعة دائمًا. فعند إجراء هذا التفاعل في ظل الظروف القياسية، تتكوّن الأمونيا ببطء شديد. ولإنتاج الأمونيا بسرعة عملية، لا بدّ من إجراء التفاعل عند درجة حرارة أعلى، وضغط أكبر.



الشكل رقم 1 تتفاعل الأمونيا مع نهايَتَي جزيء مكون من 6 ذرات كربون، لتكوين ثنائي الأمين (1، 6-ثنائي أمينو هكسان). حيث تعد هذه إحدى خطوات تحضير بوليمر النايلون. وتُظهر الصورة كيفية لف ألياف النايلون على البكرات، والتي تُستخدم في صناعة الإطارات.

Scanned by CamScanner



■ **الشكل 2** تتناقص تراكيز المواد المتفاعلة (H_2 وN_2) في البداية. في حين يزداد تركيز الناتج (NH_3) وقبل استهلاك المواد المتفاعلة بشكل تام. تصبح تراكيز المواد جميعها ثابتة.

☑ **التأكد من فهم الأشكال والمخططات والرسوم البيانية**

اشرح كيف يظهر الرسم البياني أنّ تراكيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة تصبح ثابتة.

ماذا يحدث عند وضع 1 mol من النيتروجين و 3 mol من الهيدروجين- كما في المعاملات في معادلة التفاعل- في وعاء مغلق عند درجة حرارة 723 K؟ بما أن التفاعل تلقائي، سيتفاعل النيتروجين والهيدروجين. ويوضح **الشكل 2** سير التفاعل. لاحظ أنّ تركيز الناتج NH_3 يكون صفرًا في البداية ويزيد تدريجيًا مع مرور الزمن. وتستهلك المواد المتفاعلة، H_2 و N_2 أثناء التفاعل. لذلك يقل تركيزها تدريجيًا. وبعد مرور فترة من الزمن لا تتغيّر تراكيز H_2 و N_2 و NH_3. أي أنّ التراكيز تصبح كليا ثابتة. كما توضّح الخطوط الأفقية على الجانب الأيمن من الرسم البياني. لاحظ أن تراكيز H_2 و N_2 ليست صفرًا، وهذا يعني أنه لم يتم تحوّل كل المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة.

☑ **التأكد من فهم الأشكال والمخططات والرسوم البيانية** صِف قِيَم ميل المنحنيات للمواد المتفاعلة وللمواد الناتجة على الجهة اليسرى من الخط الرأسي المتقطع. كيف تختلف قِيَم ميل المنحنيات على يمين الخط المنقط؟

التفاعل الانعكاسي والاتزان الكيميائي عندما ينتج عن تفاعل ما تحوّل المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة بشكل شبه كامل، يقول الكيميائيون إنّ التفاعل مكتمل. ولكن معظم التفاعلات لا تكتمل. ويبدو أنّ التفاعلات تتوقف لأنها قابلة للانعكاس. يعرف **التفاعل الانعكاسي** بأنه تفاعل كيميائي يمكن أن يحدث في الاتجاه الأمامي والعكسي على حد سواء.

الاتجاه الأمامي: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$

الاتجاه العكسي: $N_2(g) + 3H_2(g) \leftarrow 2NH_3(g)$

يجمع الكيميائيون بين هاتين المعادلتين في معادلة واحدة تستخدم سهمًا مزدوجًا لإظهار اتجاهَيّ حدوث كلا التفاعلين.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

تتواجد المواد المتفاعلة في التفاعل الأمامي على الجانب الأيسر من الأسهم. وتتواجد المواد المتفاعلة في التفاعل العكسي على الجانب الأيمن من الأسهم. في التفاعل الأمامي، يتّحد الهيدروجين والنيتروجين لتكوين الأمونيا. أما في التفاعل العكسي، فتنحل الأمونيا إلى ناتجين هما الهيدروجين والنيتروجين.

المفردات

مفردات أكاديمية

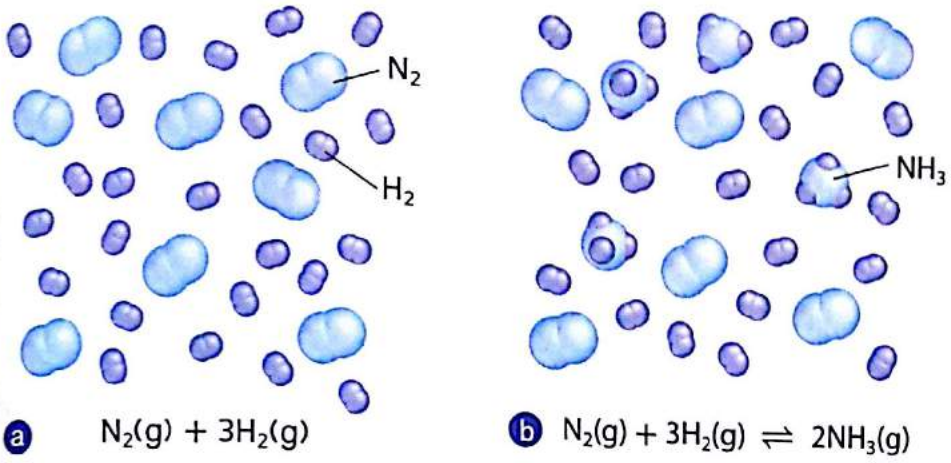
تحويل convert

التغيّر من شكل أو وظيفة إلى أخرى

لقد حولت غرفة نوم إضافية إلى مكتب.

حقوق الطبع © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw Hill Education

Scanned by CamScanner



■ **الشكل 3** إنّ سير التفاعل لإنتاج الأمونيا من الهيدروجين والنيتروجين مبيّن في الرسومات من **a.** حتى **d.**
فسّر ادرس الرسومات للإجابة عن الأسئلة التالية. في a، كيف تعرف أنّ التفاعل لم يبدأ بعد؟ في b، ما الدليل الذي يشير إلى أنّ التفاعل العكسي قد بدأ؟ قارن c مع d. كيف يمكنك أن تعرف أنّ النظام قد وصل إلى حالة الاتزان؟

كيف تؤثر إمكانية عكس اتجاه هذا التفاعل على إنتاج الأمونيا؟ يظهر **الشكل 3a** مزيجًا من النيتروجين والهيدروجين بمجرد أن يبدأ التفاعل بسرعة أولية محددة. والجدير بالذكر أنّه لا توجد أمونيا ناتجة، مما يعني أنه يحدث التفاعل الأمامي فقط.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$$

مع اتحاد الهيدروجين والنيتروجين لتكوين الأمونيا، تقل تراكيزهما، كما هو مبيّن في **الشكل 3b**. تعلمت سابقًا أنّ سرعة التفاعل تعتمد على تركيز المواد المتفاعلة. إذ يسبب النقص في تركيز المواد المتفاعلة إبطاء سرعة التفاعل الأمامي. وبمجرد وجود الأمونيا، يمكن أن يحدث التفاعل العكسي، ببطء في البداية. ثم تزداد سرعته مع زيادة تركيز الأمونيا.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \leftarrow 2NH_3(g)$$

ومع استمرار التفاعل فإنّ سرعة التفاعل الأمامي تستمر في النقصان وتستمر سرعة التفاعل العكسي في الزيادة حتى تتساوى السرعتان. عند هذه النقطة، ينتج الأمونيا بالسرعة نفسها التي تتحلل بها. لذلك تبقى تراكيز N_2 و H_2 و NH_3 ثابتة كما هو موضّح في **الشكلين 3c** و **3d**. ويكون بذلك النظام وصل إلى حالة من التوازن أو الاتزان. تعني كلمة الاتزان أنّ العمليات المتعارضة في حالة توازن. و**الاتزان الكيميائي** هو حالة يوازن فيها التفاعل الأمامي التفاعل العكسي، لأنهما يحدثان بالسرعة نفسها.

سرعة التفاعل الأمامي = سرعة التفاعل العكسي

Scanned by CamScanner

بمكنك إدراك أنّ تفاعل تكوين الأمونيا يصل إلى حالة الاتزان الكيميائي لأنّ معادلته الكيميائية كُتبت بسهم مزدوج كما يلي:

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

عند حدوث اتزان، تكون تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة ثابتة. كما هو موضّح في الشكلين 3c و3d. ورغم ذلك، فإنّ هذا لا يعني أن كميات أو تراكيز المواد المتفاعلة والناتجة تكون متساوية. فهذا نادر الحدوث. في الواقع، من المعتاد أن تختلف تراكيز الاتزان لمادة متفاعلة ومادة ناتجة. بمعامل يبلغ واحد بالمليون أو أكثر.

☑ التأكد من فهم النص وضّح معنى السهم المزدوج في المعادلات الكيميائية.

الربط بالفيزياء

الطبيعة الديناميكية للاتزان يمثل دفع جسم ما أو سحبه قوة. فعندما تدفع بابًا أو تسحب رباط حيوان أليف، فإنك بهذا تبذل قوة. وعند بذل قوتين أو أكثر على الجسم نفسه وفي الاتجاه نفسه، فإنهما تضافان إلى بعضهما. ولكن يتم طرح إحدى القوى من الأخرى إذا كانت القوتان في اتجاهين متعاكسين. بالتالي، عندما يجذب فريقان الحبل بقوتين متساويتين ومتعاكستين في لعبة شد الحبل، يكون مقدار القوة المحصلة صفرًا ولا يتحرك الحبل. وهنا يقال إنّ النظام في حالة اتزان. وبالمثل، يمثّل الأشخاص الذين يلعبون السيسو (أرجوحة التوازن) في **الشكل 4a** نظامًا في حالة اتزان. تسمى القوى المتساوية والمتعاكسة على كلا جانبي أرجوحة التوازن قوى متوازنة. وبدلًا من ذلك، إذا كانت إحدى القوى أكبر في المقدار من الأخرى، فستكون القوة المحصلة أكبر من الصفر وتسمى قوة غير متوازنة. حيث تتسبب القوة غير المتوازنة في زيادة تسارع الجسم. وهو ما حدث في **الشكل 4b**.

■ **الشكل 4** إنّ كل القوى في **a**، في توازن مثالي، لذا يظل موضع السيسو (أرجوحة التوازن) ثابتًا. في **b**، تتسبب القوة غير المتوازنة في اليسار في تغيير موضع أرجوحة التوازن.

وضح هذا التشبيه من حيث الاتزان الكيميائي.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والنشر © محفوظة لصالح مؤسسة

Scanned by CamScanner

■ **الشكل 5** لنفترض أنّ عددًا معينًا من الأشخاص محتجزون في مبنيين منفصلين يربط بينهما هذا الممر وأنّ هؤلاء الأشخاص بمكنهم السير ذهابًا وإيابًا بين المبنيين. لن يبقى عدد الأشخاص في كل مبنى ثابتًا إلا إذا كان عدد الاشخاص الذين يعبرون الجسر، مساوٍ لعدد الاشخاص الذين يعبرون في الاتجاه المعاكس تمامًا.

قرّر ما إذا كان الأشخاص نفسهم سيكونون في المبنى نفسه دائمًا. كيف تنطبق إجابتك على الاتزان الكيميائي؟

على غرار القوى المتساوية والمعاكسة لبعضها، فإن الاتزان هو حالة نشاط وليس عدم نشاط. على سبيل المثال، فكّر في هذا التشبيه: "يربط الممر الزجاجي، الموضّح في **الشكل 5** بين مبنيين". لنفترض أنّ كل مداخل ومخارج المبنيين، باستثناء الممر، كانت مغلقة. ولنفترض أنّ عدد الأشخاص نفسه يعبر الممر في كلا الاتجاهين كل ساعة. في ظل هذه الظروف، يظل عدد الأشخاص في كل مبنى ثابتًا حتى إذا استمر الأشخاص في العبور بين المبنيين. لاحظ أنّ أعداد الأشخاص في المبنيين لا يجب أن تكون متساوية. يتطلب الاتزان فقط أن يكون عدد الأشخاص الذين يعبرون الممر في اتجاه واحد مساويًا لعدد من يعبرونه في الاتجاه المعاكس.

يمكن توضيح الطبيعة الديناميكية للاتزان الكيميائي بوضع كتل متساوية من بلورات اليود في دورقين متصلتين، كما هو موضح في **الشكل 6a**. يحتوي الدورق الموجود جهة اليسار على جزيئات يود مكوّنة بالكامل النظير غير المشع ^{127}I. أما الدورق الموجود جهة اليمين، فيحتوي على جزيئات يود مكوّنة بالكامل من النظير المشع ^{131}I. تشير عدادات الإشعاع إلى الاختلاف في مستويات النشاط الإشعاعي داخل كل دورق.

يمثل كل دورق نظامًا مغلقًا. لا تستطيع المادة المتفاعلة أو الناتجة الخروج منها. الجدير ذكره أنّ هذا الاتزان يحدث عند درجة حرارة 298 K و 1 atm، في كلا الدورقين.

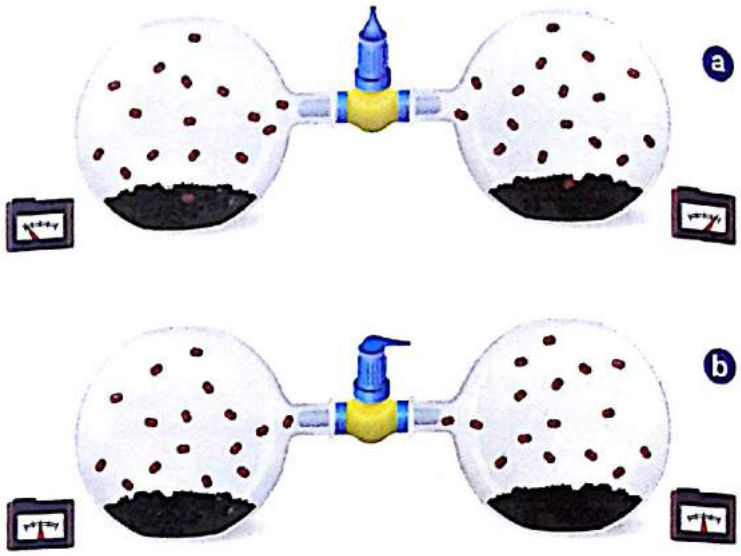
$$I_2(s) \rightleftharpoons I_2(g)$$

تتغيّر جزيئات اليود في العملية الأمامية، المسماة بالتسامي، مباشرةً من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية. وفي العملية العكسية، تعود جزيئات اليود الغازية إلى الحالة الصلبة. إضافةً إلى ذلك، يحدث اتزان صلب–غاز في كل دورق.

عند فتح المحبس الموجود في الأنبوب والذي يربط بين الدورقين، كما في **الشكل 6b**، يمكن أن ينتقل بخار اليود ذهابًا وإيابًا بين الدورقين. وبعد فترة من الوقت، تشير القراءات على عدادات كشف الإشعاع إلى أنّ الدورق الموجود جهة اليسار يحتوي على عدد من جزيئات ^{131}I النشطة إشعاعيًا نفسها كما في الدورق الموجود جهة اليمين في الحالتين الغازية والصلبة.

تشير الأدلة إلى أنّ جزيئات اليود تتغيّر بشكل دائم من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية وفقًا للعملية الأمامية، وأنّ جزيئات اليود الغازية تعود مرة أخرى إلى الحالة الصلبة وفقًا للعملية العكسية. تشير القراءات الثابتة على كلا جهازي كشف الإشعاع إلى حدوث الاتزان في الحجم الكلي للدورقين.

Scanned by CamScanner



■ **الشكل 6a.** يتم فصل جزيئات اليود النشطة إشعاعيًا في الدورق الموجود جهة اليمين عن اليود غير النشط إشعاعيًا في الدورق الموجود جهة اليسار. لاحظ القراءات الموجودة على أجهزة كشف الإشعاع. **b.** بعد فتح المحبس لفترة، توضّح أجهزة كشف الإشعاع أنّ هناك جزيئات نشطة إشعاعيًا في كلا الدورقين. من المؤكد أنّ الجسيمات قد تحركت ذهابًا وإيابًا بين الدورقين وبين الحالتين الصلبة والغازية.

تعابير الاتزان

لا تميل بعض الأنظمة الكيميائية كثيرًا إلى التفاعل، في حين هنالك أنظمة تستمر في التفاعل حتى تكتمل. وتصل معظم التفاعلات إلى حالة اتزان مع عدم استهلاك بعض المواد المتفاعلة. فإذا لم يتم استهلاك كل المواد المتفاعلة، فإن كمية المواد الناتجة تكون أقل من الكمية المتوقعة من خلال المعادلة الكيميائية الموزونة. لذا في معادلة تفاعل الأمونيا ينبغي إنتاج 2 mol من الأمونيا عند تفاعل 1 mol من النيتروجين مع 3 mol من الهيدروجين. ونظرًا إلى أنّ التفاعل يصل إلى حالة اتزان، يتم الحصول على أقل من 2 mol من الأمونيا.

قانون الاتزان الكيميائي في عام 1864، عمل الكيميائيان النرويجيان كاتو ماكسيميليان جولدبرج وبيتر واج معًا على تطوير **قانون الاتزان الكيميائي**، والذي ينص على أنه في ظل درجة حرارة معينة، قد يصل النظام الكيميائي إلى حالة تكون فيها نسب تراكيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة ثابتة. وتَصِف المعادلة العامة التالية تفاعل في حالة اتزان:

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

في حال تطبيق قانون الاتزان الكيميائي على هذا التفاعل، يتم الحصول على النسبة التالية.

تعبير ثابت الاتزان

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

يمثّل [A] و[B] التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة. بينما يمثّل [C] و[D] التراكيز المولارية للمواد الناتجة. أما الأسس a وb وc وd، فتمثّل المعاملات في المعادلة الموزونة.

إنّ تعبير ثابت الاتزان هو نسبة التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى نسبة التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة مع رفع كل تركيز إلى أس يساوي معامل هذه المادة في المعادلة الكيميائية الموزونة.

يمثّل **ثابت الاتزان** K_{eq} القيمة العددية لنسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المتفاعلة، مع رفع كل تركيز إلى الأس المساوي لمعامله في المعادلة الموزونة. وتكون قيمة K_{eq} ثابتة فقط عند درجة حرارة محددة.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

Scanned by CamScanner

كيف يمكنك تفسير قيمة ثابت الاتزان؟ تذكر أنّ الكسر الذي يكون فيه البسط أكبر من المقام تكون قيمته أكبر من 1. أما الكسر الذي يكون فيه البسط أصغر من المقام، فتكون قيمته أقل من 1. على سبيل المثال، قارن بين النسبتَين 5/1 و1/5. إنّ العدد خمسة أكبر من خُمس. وحيث أنه يتم وضع تراكيز المواد الناتجة في بسط معادلة ثابت الاتزان، فإن القيمة العددية للثابت K_{eq} الكبيرة، تعني أنّ خليط الاتزان يحتوي على مواد ناتجة أكبر من المواد المتفاعلة. وبالمثل، عندما تكون القيمة العددية للثابت K_{eq} أقل من 1 فهذا يعني أنّ خليط الاتزان يحتوي على مواد متفاعلة أكبر من المواد الناتجة.

$K_{eq} > 1$: تراكيز المواد الناتجة أكبر من تراكيز المواد المتفاعلة عند الاتزان.

$K_{eq} < 1$: تراكيز المواد المتفاعلة أكبر من تراكيز المواد الناتجة عند الاتزان.

تعابير الاتزان المتجانس يتم الحصول على غاز يوديد الهيدروجين من خلال تفاعل اتزان غاز الهيدروجين مع اليود. ولليود وبعض مركباته استخدامات مهمة في الأدوية، كما هو موضّح في **الشكل 7**. كيف تكتب تعبير ثبات الاتزان لتفاعل الهيدروجين مع اليود لتكوين يوديد الهيدروجين؟

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

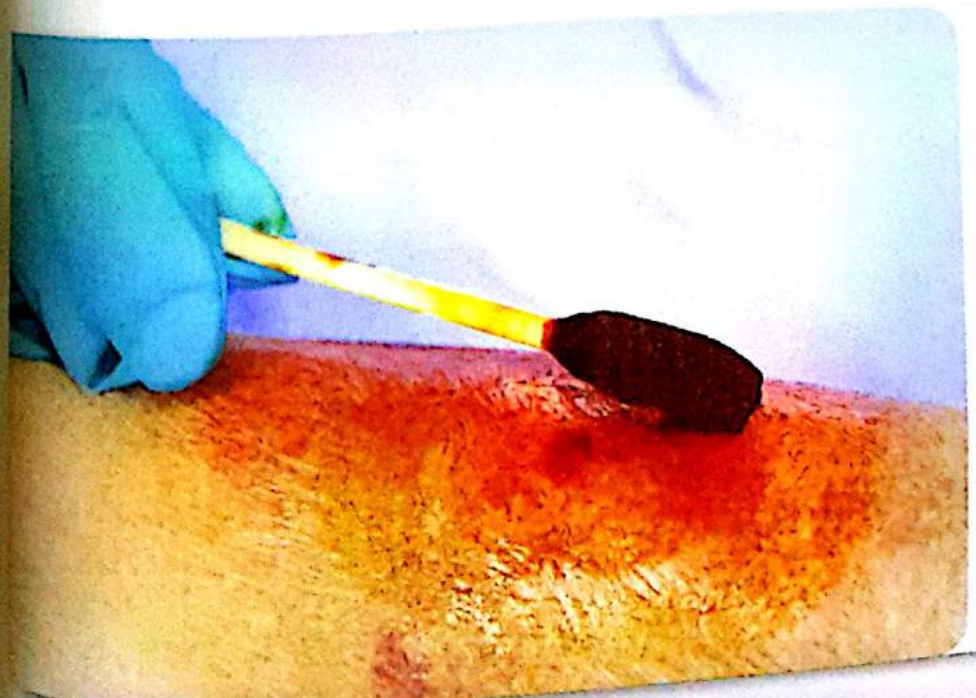
يُعرف هذا التفاعل باسم **الاتزان المتجانس**، والذي يعني أن تكون المواد المتفاعلة والمواد الناتجة في الحالة الفيزيائية نفسها ؛ وكل المواد المشاركة في هذا التفاعل غازات. بدايةً، ضع تركيز المادة الناتجة في البسط وتراكيز المواد المتفاعلة في المقام.

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

تُصبح المعادلة مساوية لـ K_{eq} عندما تقوم بإضافة المعاملات من المعادلة الكيميائية الموزونة كأُسس.

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

إنّ K_{eq} لهذا الاتزان عند درجة حرارة 731 K يساوي 49.7. لاحظ أنّ 49.7 ليس لها أي وحدة. ومن المعتاد عند كتابة تعبيرات ثابت الاتزان، حذف الوحدات.



■ **الشكل 7** بسبب الخصائص المضادة للبكتيريا الموجودة في اليود، تُستخدم محاليل اليود ومركبات اليود كمطهرات خارجية. وكما تستخدم بعض مركبات اليود داخليًا. على سبيل المثال، يستخدم الأطباء يوديد البوتاسيوم (KI) في علاج حالة تضخم الغدة الدرقية.

Scanned by CamScanner

مثال 1

تعابير ثابت الاتزان للتفاعلات المتجانسة يتم إنتاج ملايين الأطنان من الأمونيا (NH_3) سنويًا لاستخدامها في تصنيع منتجات مثل الأسمدة والألياف الصناعية. ويمكن أن تكون قد استخدمت الأمونيا في منزلك كمنظف. فهي تستعمل في تنظيف الزجاج. ويتم تصنيع الأمونيا من عناصرها، وهي الهيدروجين والنيتروجين، وذلك باستخدام طريقة هابر. اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل التالي.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

1 تحليل المسألة

نوفّر المعادلة الخاصة بالتفاعل المعلومات اللازمة لكتابة تعبير ثابت الاتزان. ويتميّز الاتزان بأنه متجانس لأنّ المواد المتفاعلة والنواتج في الحالة الفيزيائية نفسها.

إنّ الصيغة العامة لتعبير ثابت الاتزان هي

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

المعلوم

$[A] = [N_2]$، معامل $N_2 = 1$

$[B] = [H_2]$، معامل $H_2 = 3$

$[C] = [NH_3]$، معامل $NH_3 = 2$

المجهول

$K_{eq} = ?$

2 حساب المجهول

ضع صيغة لنسبة تركيز الناتج إلى تراكيز المواد المتفاعلة.

$K_{eq} = \frac{[C]^c}{[A]^a\,[B]^b}$ — اذكر الصيغة العامة لتعبير ثابت الاتزان.

$K_{eq} = \frac{[NH_3]^c}{[N_2]^a\,[H_2]^b}$ — قم بالتعويض عن $A = N_2$ و$B = H_2$ و$C = NH_3$.

$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2]\,[H_2]^3}$ — قم بالتعويض عن $a = 1$ و$b = 3$ و$c = 2$.

3 تقييم الإجابة

يتم وضع تركيز المادة الناتجة في البسط وتراكيز المواد المتفاعلة في المقام. وتُرفع تراكيز الناتج والمواد المتفاعلة إلى أسس تساوي معاملاتها.

تطبيق

1. اكتب تعابير ثابت الاتزان لهذه التفاعلات.

a. $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

b. $2H_2S(g) \rightleftharpoons 2H_2(g) + S_2(g)$

c. $CO(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + H_2O(g)$

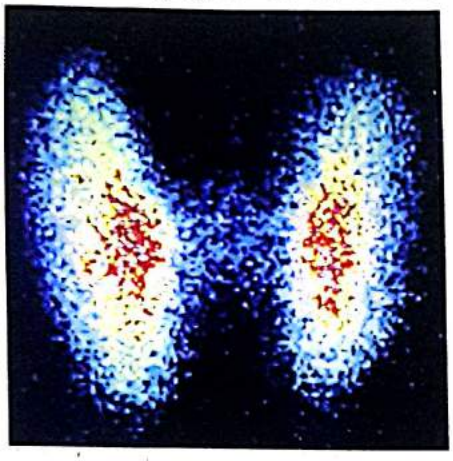
d. $4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g)$

e. $CH_4(g) + 2H_2S(g) \rightleftharpoons CS_2(g) + 4H_2(g)$

2. **تحفيز** اكتب المعادلة الكيميائية التي تمثل تعبير ثابت الاتزان K_{eq} $K_{eq} = \frac{[CO]^2[O_2]}{[CO_2]^2}$.

الكيمياء في الحياة اليومية

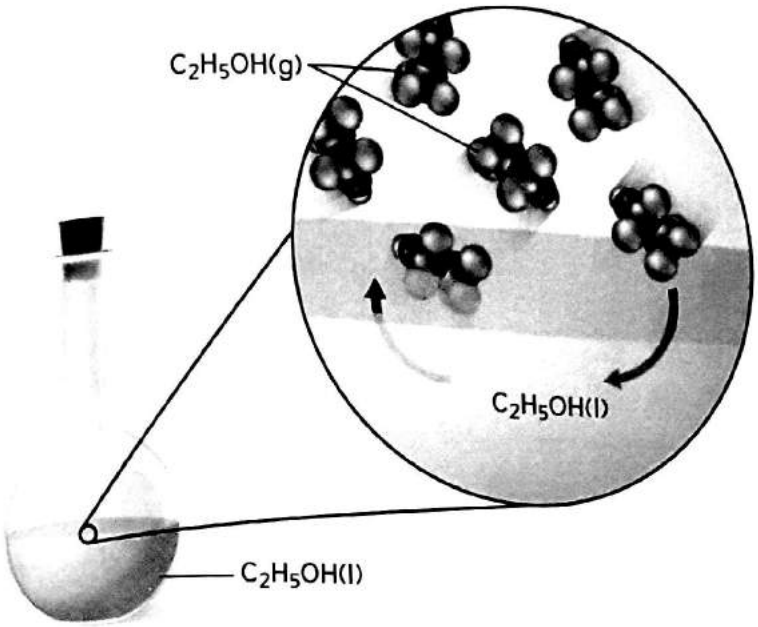
صحة الغدة الدرقية



الطب النووي إنّ اليود-131 هو نظير مشع تمتصه الغدة الدرقية. ويُستخدم في مجال الطب لتشخيص وعلاج أمراض الغدة الدرقية. فعند إعطاء اليود-131 لمريض، ينشئ الإشعاع الصادر عن النظير المشع صورة للغدة على فيلم يكشف عن التشوهات.
ويمكن استخدام الصورة أعلاه لتشخيص وعلاج الأشخاص الذين يعانون أمراض الغدة الدرقية أو التشوهات، مثل مرض غريفز. ويندرج مرض غريفز ضمن الأمراض القابلة للعلاج، وهو سبب شائع لحدوث فرط نشاط الغدة الدرقية.

McGraw-Hill Education مجموعة لصالح © حقوق الطبع والتأليف

Scanned by CamScanner



■ **الشكل 8** عند الاتزان، تساوي سرعة التبخر للإيثانول (C_2H_5OH) سرعة التكثف. ويسمى هذا الاتزان المكون بين حالتين فيزيائيتين للمادة، اتزانًا غير متجانس.
يعتمد K_{eq} فقط على $[C_2H_5OH(g)]$.

تعابير الاتزان غير المتجانس لقد تعلمتَ أن تكتب تعابير ثابت الاتزان K_{eq} الخاصة بالاتزان المتجانس، وهو الاتزان الذي تكون فيه المواد المتفاعلة والمواد الناتجة في الحالة الفيزيائية نفسها. وحين تتواجد المواد المتفاعلة والمواد الناتجة في أكثر من حالة فيزيائية، يسمى الاتزان **اتزانًا غير متجانس**. عندما يتم وضع الإيثانول في دورق مغلق، ينشأ حالة اتزان سائل–غاز، كما هو موضّح في **الشكل 8**.

$$C_2H_5OH(l) \rightleftharpoons C_2H_5OH(g)$$

لكتابة تعبير ثابت الاتزان لهذه العملية، ستقوم بصياغة نسبة المواد الناتجة إلى المواد المتفاعلة. وعند درجة حرارة معيّنة، تصبح النسبة قيمةً ثابتة K.

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

لاحظ أن تركيز الإيثانول السائل موجود في المقام، وهو مادة نقية، وبهذا يكون تركيزه هو كثافته المعبَّر عنها بالمولات للتر الواحد. تذكّر أنه عند درجة حرارة معينة، تبقى الكثافة ثابتة، وبغض النظر عن كبر أو صغر كمية C_2H_5OH الموجودة، يبقى تركيزها ثابتًا. وبهذا فإنّ الطرف الموجود في المقام ثابت ويمكن دمجه مع K في التعبير الخاص بـ K_{eq}.

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

إنّ تعبير ثابت الاتزان لتغيُّر الحالة هذا هو

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

تُعدّ المواد الصلبة أيضًا مواد نقية ذات تراكيز ثابتة، لذلك يتم تبسيط حالات الاتزان التي تحتوي على المواد الصلبة بالطريقة نفسها. تذكّر التجربة التي تحتوي على تسامي بلورات اليود في **الشكل 6**.

$$I_2(s) \rightleftharpoons I_2(g)$$
$$K_{eq} = [I_2(g)]$$

يعتمد ثابت الاتزان، K_{eq} فقط على تركيز غاز اليود في النظام.

Scanned by CamScanner

مثال 2

تعابير ثابت الاتزان غير المتجانس بالإضافة إلى استخداماته في الخبز وكمضاد للحموضة وفي التنظيف، غالبًا ما يتم وضع مسحوق الخبز في علب مفتوحة في الثلاجات لتجديد الهواء كما هو مبيّن في **الشكل 9**. اكتب تعبير ثابت الاتزان لتحلل مسحوق الخبز (بيكربونات الصوديوم).

$$2NaHCO_3(s) \rightleftharpoons Na_2CO_3(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$$

1 تحليل المسألة

لقد ورد ضمن المعطيات أنه ثمّة اتزان غير متجانس يتضمن غازات ومواد صلبة. لذا تحذف المواد الصلبة من تعبير ثابت الاتزان.

المعلوم

$[C] = [Na_2CO_3]$، معامل Na_2CO_3 = 1

$[D] = [CO_2]$، معامل CO_2 = 1

$[E] = [H_2O]$، معامل H_2O = 1

$[A] = [NaHCO_3]$، معامل $NaHCO_3$ = 2

المجهول

تعبير ثابت الاتزان = ؟

2 حساب المجهول

ضع صيغة لنسبة تراكيز المواد الناتجة إلى تراكيز المواد المتفاعلة.

اذكر الصيغة العامة لتعبير ثابت الاتزان.

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

قم بالتعويضات التالية: $A = NaHCO_3$ و $C = Na_2CO_3$ و $D = CO_2$ و $E = H_2O$.

$$K_{eq} = \frac{[Na_2CO_3]^c [CO_2]^d [H_2O]^e}{[NaHCO_3]^a}$$

قم بالتعويض عن a = 2 و c = 1 و d = 1 و e = 1.

$$K_{eq} = \frac{[Na_2CO_3]^1 [CO_2]^1 [H_2O]^1}{[NaHCO_3]^2}$$

احذف الأطراف التي تتضمن مواد صلبة.

$$K_{eq} = [CO_2][H_2O]$$

3 تقييم الإجابة

ينطبق تعبير ثابت الاتزان بشكلٍ صحيح على قانون الاتزان الكيميائي للمعادلة.

■ **الشكل 9** تمتص بيكربونات الصوديوم (مسحوق الخبيز) الروائح وتنعش الهواء في الثلاجة. كما أنّها مكوّن أساسي في بعض معاجين الأسنان.

تطبيق

3. اكتب تعبير ثابت الاتزان غير المتجانس لكل مما يأتي:

a. $C_{10}H_8(s) \rightleftharpoons C_{10}H_8(g)$

b. $H_2O(l) \rightleftharpoons H_2O(g)$

c. $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$

d. $C(s) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$

e. $FeO(s) + CO(g) \rightleftharpoons Fe(s) + CO_2(g)$

4. **تحفيز** يتفاعل الحديد الصلب مع غاز الكلور لتكوين كلوريد الحديد (III) الصلب ($FeCl_3$). اكتب المعادلة الكيميائية الموزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © مجموعة ماكجرو هيل للتعليم

Scanned by CamScanner

ثوابت الاتزان

في تفاعل معيّن وعند درجة حرارة محددة، يكون K_{eq} هو نفسه دائمًا، بغض النظر عن التراكيز الابتدائية للمواد المتفاعلة والمواد الناتجة. لاختبار هذه الفرضية، تم إجراء ثلاث تجارب باستخدام التفاعل التالي.

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

ويلخّص **الجدول 1** نتائج التجارب. ففي التجربة رقم 1، تم وضع 1.0000 mol من H_2 و2.0000 mol من I_2 في وعاء سعته 1.0000 L. لم يكن HI موجودًا في بداية التجربة رقم 1. وفي التجربة رقم 2، كان HI موجودًا عند بداية التجربة فقط. أما في التجربة رقم 3، فكان لكل مادة من المواد الثلاث التركيز الابتدائي نفسه. وتم تنفيذ التفاعلات عند درجة حرارة 731 K.

تراكيز الاتزان تم تحديد تركيز كل مادة عمليًا عند الاتزان. لاحظ أنّ تراكيز الاتزان ليست نفسها في التجارب الثلاث، لكن عندما يتم التعويض بقيم التراكيز في تعبير ثابت الاتزان، فإن قيمة K_{eq} تكون نفسها في التجارب الثلاث وبالتالي تمثل هذه التراكيز وضع اتزان.

قيمة K_{eq} على الرغم من أنّ نظام الاتزان له قيمة واحدة فقط لـ K_{eq} عند درجة حرارة معينة، إلّا أنّ لديه عددًا غير محدود من مواضع الاتزان. وتعتمد مواضع الاتزان على التراكيز الابتدائية للمواد المتفاعلة والمواد الناتجة. تعني القيمة الكبيرة لـ K_{eq} في تفاعل $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ أنه في حالة الاتزان، يكون الناتج متواجدًا بكمية أكبر من المواد المتفاعلة. ومع ذلك في العديد من التفاعلات التي تكون في حالة اتزان تكون قيمة K_{eq} صغيرة. فبالنسبة إلى الاتزان $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$، فإن قيمة K_{eq} تساوي 4.6×10^{-31} عند 298 K. وتعني قيمة K_{eq} الصغيرة أنّ الناتج، NO، غير موجود عمليًا عند الاتزان.

خصائص الاتزان لعلك لاحظت خصائص معيّنة للتفاعلات الكيميائية التي تصل إلى حالة الاتزان. أولًا، يجب أن يحدث التفاعل في نظام مغلق، إذ لا يمكن لمادة متفاعلة أو ناتجة دخول النظام أو مغادرته. ثانيًا، يجب أن تبقى درجة الحرارة ثابتة. ثالثًا، بقاء المواد المتفاعلة والمواد الناتجة معًا، وأن تكون في حركة ديناميكية دائمة. وهذا يعني أنّ الاتزان ديناميكي، وليس ساكنًا.

☑ **التأكد من فهم النص اشرح** لماذا يُعدّ من المهم تواجد كل من المواد المتفاعلة والنواتج معًا عند حالة الاتزان.

مهن في الكيمياء

الكاتب العلمي لنقل المعلومات العلمية لقارئ غير علمي، يجب أن يكون للكاتب معرفة واسعة بالعلوم، إلى جانب قدرته على الكتابة النثرية الواضحة والموجزة والمفهومة، بحيث تتمثّل مهمة الكاتب العلمي في جعل المواضيع المعقدة، مثل الاتزان الكيميائي، في متناول القراء الذين ليس لديهم معرفة مسبقة عن هذا الموضوع.

الجدول 1 البيانات التجريبية لتفاعل HI عند الاتزان

التجربة	التراكيز الابتدائية			تراكيز الاتزان			K_{eq}
	$[H_2]_0$ (M)	$[I_2]_0$ (M)	$[HI]_0$ (M)	$[H_2]_{eq}$ (M)	$[I_2]_{eq}$ (M)	$[HI]_{eq}$ (M)	$\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = K_{eq}$
1	1.0000	2.0000	0	0.06587	1.0659	1.8682	$\frac{[1.8682]^2}{[0.06587][1.0659]} = 49.70$
2	0	0	5.0000	0.5525	0.5525	3.8950	$\frac{[3.8950]^2}{[0.5525][0.5525]} = 49.70$
3	1.0000	1.0000	1.0000	0.2485	0.2485	1.7515	$\frac{[1.7515]^2}{[0.2485][0.2485]} = 49.70$

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

Scanned by CamScanner

مثال 3

قيمة ثابت الاتزان احسب قيمة K_{eq} لتعبير ثابت الاتزان $K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$. إذا كانت التراكيز عند الاتزان: $[H_2] = 1.600\ mol/L$, $[N_2] = 0.533\ mol/L$, $[NH_3] = 0.933\ mol/L$.

1 تحليل المسألة

لديك تعبير ثابت الاتزان وتركيز كل مادة من المواد المتفاعلة والناتجة. عليك حساب ثابت الاتزان.

المعلوم

$K_{eq} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$

$[NH_3] = 0.933\ mol/L$

$[N_2] = 0.533\ mol/L$

$[H_2] = 1.600\ mol/L$

المجهول

$K_{eq} = ?$

2 حساب المجهول

قم بالتعويض $[NH_3] = 0.933\ mol/L$, $[N_2] = 0.533\ mol/L$, $[H_2] = 1.600\ mol/L$.

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

3 تقييم الإجابة

قد ذُكر الجواب بشكلٍ صحيح وتضمّن ثلاثة أرقام. تتواجد قيمة التركيز الكبرى في المقام وتُرفع إلى الأس التكعيبي. وبهذا تكون القيمة التي هي أقل من 1 قيمةً معقولة.

تطبيق

5. احسب K_{eq} للاتزان في المسألة التدريبية 1a باستخدام البيانات $[N_2O_4] = 0.0185\ mol/L$ و$[NO_2] = 0.0627\ mol/L$.
6. احسب K_{eq} للاتزان في المسألة التدريبية 1c باستخدام البيانات $[CO] = 0.0613\ mol/L$ و$[H_2] = 0.1839\ mol/L$ و$[CH_4] = 0.0387\ mol/L$ و$[H_2O] = 0.0387\ mol/L$.
7. **تحدي** التفاعل $COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$ يصل إلى حالة الاتزان عند درجة حرارة 900 K و K_{eq} تساوي 8.2×10^{-2}. إذا كانت تراكيز الاتزان لـ CO وCl_2 هي $0.150M$. فما تركيز الاتزان لـ $COCl_2$؟

القسم 1 مراجعة

ملخص القسم

- يصل التفاعل إلى حالة الاتزان عندما تتساوى سرعة التفاعل الأمامي مع سرعة التفاعل العكسي.
- إنّ تعبير ثابت الاتزان هو نسبة التراكيز المولارية للمواد الناتجة إلى نسبة التراكيز المولارية للمواد المتفاعلة مع رفع كل تركيز إلى أس يساوي معامل هذه المادة في المعادلة الكيميائية الموزونة.
- إنّ قيمة تعبير ثابت الاتزان، K_{eq}، ثابتة عند درجة حرارة معينة.

8. **الفكرة الرئيسة اشرح** طريقة ارتباط قيمة ثابت الاتزان بكمية الناتج الذي تكوّن عند الاتزان.
9. **قارن** بين الاتزان المتجانس والاتزان غير المتجانس.
10. **أُذكر** ثلاث خصائص يجب أن يحتوي عليها خليط التفاعل لكي يصل إلى حالة الاتزان الكيميائي.
11. **احسب** قيمة K_{eq} عند 400 K للتفاعل التالي: $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ إذا كان $[PCl_5] = 0.135\ mol/L$ و$[PCl_3] = 0.550\ mol/L$ و$[Cl_2] = 0.550\ mol/L$.
12. **تفسير البيانات** يبين الجدول التالي قيم ثابت الاتزان لتفاعل عند ثلاث درجات حرارة مختلفة. عند أي درجة حرارة يكون تركيز المواد الناتجة أكبر؟ فسّر إجابتك.

K_{eq} ودرجة الحرارة		
263 K	273 K	373 K
0.0250	0.500	4.500

حقوق الطبع والتأليف © مجموعة العالم ماكجرو-هيل للتعليم McGraw-Hill Education

Scanned by CamScanner