5–2

1. التركيز

شريحة التركيز

قبل بدء الدرس، اعرض على الطلاب شريحة التركيز رقم (16) الواردة في مصادر التعلم للفصول (5-1)، ويمكنك عرضها ملونة من خلال الرجوع إلى الموقع الإلكتروني:

د م

www.obeikaneducation.com

الفكرة الرئيسة

الأحماض القويّة والضعيفة اكتب على السبورة صيغتي حمضي الهيدروبروميك HBr، والكربونيك H_2CO_3، واسأل الطلاب: هل يمكنهم معرفة قوتي الحمضين من صيغتيهما؟ من المحتمل أن يقول الطلاب إنهم لا يستطيعون، ولكن قد يفترض بعضهم أنَّ H_2CO_3 هو الأقوى؛ لأنَّه يحتوي على ذرتي هيدروجين قابلتين للتأيُّن في كلِّ جزيء، ولكنّ هذا الافتراض غير صحيح. بعدئذ، اكتب معادلتي التأيُّن للحمضين في الماء مع سهمي الاتزان لحمض الكربونيك (السهم الأطول إلى اليسار).

$$HBr_{(g)} \rightarrow H^+_{(aq)} + Br^-_{(aq)};$$

$$H_2CO_{3(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)}$$

وأشر إلى أن تأيُّن HBr في المحاليل المائيّة المخفّفة هو 100%، وأنّه نتيجة لذلك، يكتب سهم واحد في المعادلة، واشرح من ناحية ثانية أنّ تأيّن حمض الكربونيك أقلّ بكثير من أن يكون كاملاً، وأنّ ثابت الاتزان لتفاعل التأيّن K عند 298 هو فقط 4.5×10^{-7}. ض م

2. التدريس

الخلفيّة النظريّة للمحتوى

قوّة الحمض والترابط اشرح أن قوّة الحمض لها علاقة بقوة وقطبيّة رابطة H–X، حيث تمثّل X عنصرًا لا فلزيًّا، أو في بعض الأحيان، أيونًا متعدّد الذّرات سالب الشحنة. وأشر إلى أنّ قوّة الرابطة تعتمد بصورة أساسيّة على نسبة كهروسالبيّة H و X، أو بالنسبة للأيون متعدّد الذرّات سالب الشحنة، كهروسالبية H و X والعناصر الأخرى المرتبطة بـX، وبصورة عامّة، كلّما ضعفت رابطة H–X ازدادت قوّة الحمض.

طرائق تدريس متنوعة

ضعاف البصر اطلب إلى الطلاب، والأهل، أو موظفي المدرسة أن يحضروا "مائدة أحماض وقواعد"، تشتمل على أطعمة تحتوي على أحماض وقواعد، على أن تجهز هذه "المائدة" في مقصف المدرسة، أو في غرفة التدبير المنزليّ، ودع طلاب المدرسة يتذوّقوا هذه الأطعمة، ويُعدّوا تقريرًا حول مذاقاتها المميّزة. ض م

5–2

قوة الأحماض والقواعد
Strengths of Acids and Bases

الفكرة الرئيسة **تتأين الأحماض والقواعد القوية في المحاليل تأينًا تامًّا، بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة في المحاليل تأينًا جزئيًّا.**

الربط مع الحياة تعتمد التمريرة الناجحة في لعبة كرة القدم على كلٍّ من المرسل والمستقبل، فيُعرف مثلاً مدى استعداد المرسل لتمرير الكرة، ومدى استعداد المستقبل لاستقبال الكرة. وكذلك الحال في تفاعلات الأحماض والقواعد؛ حيث يعتمد سير التفاعل على مدى استعداد الحمض لمنح أيون الهيدروجين، ومدى استعداد القاعدة لاستقباله.

الأهداف

- **تربط** قوة الحمض والقاعدة مع درجة تأينها.
- **تقارن** قوة حمض ضعيف بقوة قاعدته المرافقة.
- **تشرح** العلاقة بين قوى الأحماض والقواعد وقيم ثوابت تأينها.

مراجعة المفردات

إلكتروليت: مادة يوصل محلولها المائي التيار الكهربائي.

المفردات الجديدة

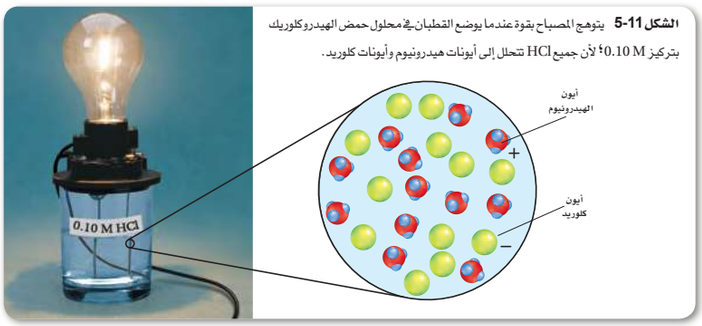
الحمض القوي
الحمض الضعيف
ثابت تأين الحمض
القاعدة القوية
القاعدة الضعيفة
ثابت تأين القاعدة

قوة الأحماض Strengths of Acids

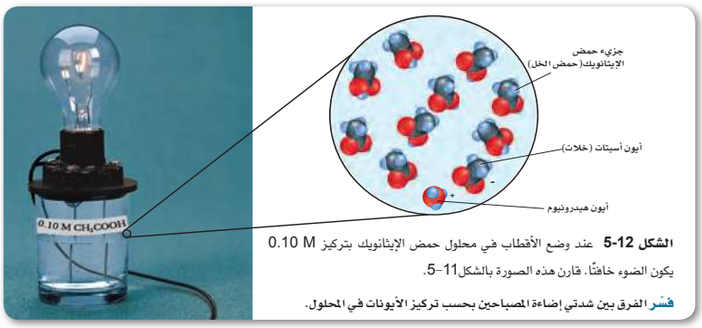
من خواص المحاليل الحمضية والقاعدية أنها توصل الكهرباء. ما المعلومات التي تستطيع معرفتها عن أيونات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في هذه المحاليل المائية من خلال توصيلها للكهرباء؟

افترض أنك تفحص قدرة التوصيل الكهربائي لمحلول مائي تركيزه 0.10 M من حمض الهيدروكلوريك، وآخر مماثل من حمض الإيثانويك (الخل). يدل توهج المصباح الكهربائي في **الشكل 11–5** على أن المحلول يوصل الكهرباء. ولكن إذا قارنت توهج المصباح المتصل بمحلول HCl في **الشكل 11–5** بتوهج المصباح المتصل بمحلول CH_3COOH في **الشكل 12–5** فلا بد أن تلاحظ فرقًا؛ فتوصيل محلول HCl للكهرباء أفضل من توصيل محلول CH_3COOH. فلمَ هذا الفرق مع أن تركيزي الحمضين متساويان؟

الأحماض القوية يعتمد توصيل التيار الكهربائي على عدد الأيونات في المحلول. وقد تأينت جزيئات HCl الموجودة في المحلول جميعها كليًّا مكونةً أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



الشكل 11-5 يتوهج المصباح بقوة عندما يوضع القطبان في محلول حمض الهيدروكلوريك بتركيز 0.10 M؛ لأن جميع HCl تتحلل إلى أيونات هيدرونيوم وأيونات كلوريد.



الشكل 5-12 عند وضع الأقطاب في محلول حمض الإيثانويك بتركيز 0.10 M يكون الضوء خافتًا. قارن هذه الصورة بالشكل 11-5.

فسّر الفرق بين شدتي إضاءة المصباحين بحسب تركيز الأيونات في المحلول.

وتسمى الأحماض التي تتأين كليًا **أحماضًا قوية**. ولأن الأحماض القوية تنتج أكبر عدد من الأيونات، لذا فهي موصلات جيدة للكهرباء.

يمكن تمثيل تأين حمض الهيدروكلوريك في الماء بالمعادلة الآتية:

$$HCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightarrow H_3O^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

الأحماض الضعيفة إذا كان سبب الإضاءة القوية لمصباح الجهاز الذي يحتوي على HCl هو عدد الأيونات الكبير في المحلول ـ كما في **الشكل 11-5** ـ فإن الإضاءة الخافتة لمصباح الجهاز الذي يحتوي على محلول CH_3COOH، المبين في **الشكل 12-5**، لا بد أن يكون سببها احتواء محلول حمض الإيثانويك (الخل) على عدد أقل من الأيونات. ولأن المحلولين يحتويان على التركيز المولاري نفسه لذا نستنتج أن حمض الإيثانويك لا يتأين كليًا. ولذلك يسمى الحمض الذي يتأين جزئيًا فقط في المحلول المائي المخفف **الحمض الضعيف**. ولأن الأحماض الضعيفة تنتج أيونات أقل فإنها لا توصل الكهرباء جيدًا مثل الأحماض القوية. ويبين **الجدول 3-5** معادلات التأين لبعض الأحماض الضعيفة والأحماض القوية الشائعة.

الجدول 3-5 معادلات التأين

أحماض قوية		أحماض ضعيفة	
الاسم	معادلات التأين	الاسم	معادلات التأين
الهيدروكلوريك	$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$	الهيدروفلوريك	$HF \rightleftharpoons H^+ + F^-$
الهيدروأيوديك	$HI \rightarrow H^+ + I^-$	الإيثانويك	$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + C_2H_3O_2^-$
البيركلوريك	$HClO_4 \rightarrow H^+ + ClO_4^-$	كبريتيد الهيدروجين	$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$
النيتريك	$HNO_3 \rightarrow H^+ + NO_3^-$	الكربونيك	$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$
الكبريتيك	$H_2SO_4 \rightarrow H^+ + HSO_4^-$	الهيبوكلوروز	$HClO \rightleftharpoons H^+ + ClO^-$

طرائق تدريس متنوعة

فوق المستوى اطلب إلى الطلاب إعداد بحث لتفسير الاختلاف في قوة الأحماض الأكسجينيّة للكلور $HClO_2$، HOCl، و$HClO_4$. حمض الهيبوكلوروز (HClO) هو الأضعف؛ لأنّ الكلور يجذب القليل من الكثافة الإلكترونيّة والقوة من رابطة H–O. حمض البيركلوريك، والذي يمكن أن يكتب $HOClO_3$ هو الأقوى؛ لأنّ ذرّات الأكسجين الثلاث المرتبطة بذرة الكلور تجذب الكثير من الكثافة الإلكترونيّة والقوة من رابطة Cl–O–H. **ف م**

■ **إجابة سؤال الشكل 12-5** يتوهّج الضوء أكثر عندما يحتوي المحلول على أيونات أكثر.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

قد يعتقد الطلاب أنّ قوّة الحمض تعتمد مباشرة على عدد ذرّات الهيدروجين في كلّ جزيء.

الكشف عن المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اسأل الطلاب، أن يتوقّعوا ما الحمض الأقوى ممّا يأتي: HNO_3 أو H_3PO_4؟ قد يتوقّعون أنّ H_3PO_4 هو الأقوى؛ لأنّه ثلاثيّ البروتونات.

عرض المفهوم

استخدم جهاز التوصيل الكهربائيّ لتبيّن أنّ توصيل محلول HNO_3 بتركيز 0.1 M أعلى من توصيل محلول H_3PO_4 بتركيز 0.1 M على الرغم من احتواء H_3PO_4 على ثلاثة أضعاف عدد ذرّات الهيدروجين التي يحتويها HNO_3 ، ولذلك يكون حمض HNO_3 أقوى من حمض H_3PO_4.

تقويم المعرفة الجديدة

اسأل الطلاب، هل يمكنهم ترتيب الأحماض الآتية: H_2SO_4، H_3PO_3، HF، معتمدين فقط على صيغها الكيميائيّة.

لا، الأحماض الثلاثة لديها أعداد مختلفة من ذرّات الهيدروجين في الجزيء الواحد، ولكن لا يمكن المقارنة بين قوّتها اعتمادًا على صيغها الكيميائيّة فقط. **ض م**

ماذا قرأت؟ القاعدة المرافقة للحمض القويّ تكون ضعيفةً جـدًّا، ولذلـك قدرتها على جذب أيـون هيدروجين تكون ضعيفـة أيضًا. في حـين تكـون القاعدة المرافقـة للحمض الضعيـف أقوى، وتنافـس بنجاح في سـبيل الحصول على الهيدروجين.

عرض سريع

كواشـف أضـف بضع قطـرات من محلـول كاشـف الميثيل البرتقـالي إلى 50 mL مـن حمـض الخلّيك بتركيـز 0.1 M في دورق سـعة 100 mL. يصبـح المحلـول أحمـر. ثـم أضـف بعدئـذ 0.2 g تقريبًـا مـن خـلّات الصوديـوم الصلبـة إلى المحلول، وحرّكه. يتحـوّل لون المحلول إلى اللوّن الأصفر. وضِّـح أنَّ لون كاشـف برتقـالي الميثيل يتغيَّر مـن الأحمر إلى الأصفـر، عندمـا يصبح المحلـول أقلّ حمضيّـة، واطلب إلى الطـلاب كتابة معادلة الاتزان لتأيُّن حمض الخلّيك؛ لتفسـير لماذا يتحوَّل لون المحلول إلى اللوّن الأصفر.

$$CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$$

يتحـوّل المحلول إلى الأصفر؛ لأنّ إضافة خلّات الصوديوم تزيد من تركيز أيونات الأسـيتات $[CH_3COO^-]$، وحسب مبـدأ لوتشـاتلييه تـؤدِّي زيـادة تركيز أيـون الأسـيتات إلى دفع الاتزان إلى اليسـار، ويعني الاتجاه إلى اليسـار استهلاك أيونات الهيدروجين، ممّا يجعل المحلول أقلّ حمضيّة. ض م

دفتر الكيمياء

الأحماض والأغذيـة اطلب إلى الطـلاب أن يقوّمـوا قـوَّة الأحمـاض في الأغذية، ويفسروا عدم اسـتعمال أحماضٍ كحمض الهيدروكلوريـك، وحمـض الكبريتيـك في حفـظ الأغذيـة، أو زيادة طعمها اللّاذع، واطلب إليهـم أن يسـجّلوا نتائجهـم في دفاتر الكيمياء. ض م

واقع الكيمياء في الحياة

سيانيد الهيدروجين

مركـب مميـت سـيانيد الهيدروجـين HCN غـاز سـام يوجـد في عـوادم المَرْكبـات، وفي دُخـان التبغ والخشـب، وفي دُخان البلاسـتيك المحترق المحتوي على النيتروجين. وتطلق بعض الحشرات سـيانيد الهيدروجين للدفاع عن نفسها. ويسـمى محلول سـيانيد الهيدروجين في المـاء حمـض الهيدروسـيانيك. وتحتـوي نـوى بعـض الفواكـه -ومنهـا الكـرز والخـوخ- عـلى سـيانوهيدرين الـذي يتحـول إلى حمـض الهيدروسـيانيك في الجهاز الهضمي إذا أكلت النواة. ولكن لا يوجـد حمض الهيدروسـيانيك في لب هذه الثمار، لذا يمكن أكله بأمان.

قوة الحمض ونموذج برونستد – لوري هل يستطيع نموذج برونستد – لوري تفسير سبب تأين HCl كليًّا بينما يكوِّن $HC_2H_3O_2$ القليل من الأيونات؟ تأمل تأين أي حمض قوي، كحمض HX على سبيل المثال. وتذكّر أن الحمض الموجود على جهة المواد المتفاعلة من المعادلة ينتج قاعدة مُرافقة على جهة النواتج. وبالمثل فإن القاعدة الموجودة على جهة المواد المتفاعلة تنتج حمضًا مرافقًا.

$$\underset{\text{حمض}}{HX_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة}}{H_2O_{(l)}} \rightarrow \underset{\text{حمض مرافق}}{H_3O^+_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة مرافقة}}{X^-_{(aq)}}$$

يمثّل HX حمضًا قويًّا وقاعدته المرافقة ضعيفة. أيْ أن HX يتأين بنسبة 100% تقريبًا؛ لأن الماء قاعدة أقوى (في التفاعل الأمامي) من قاعدته المرافقة X^- (في التفاعل العكسي). أي أنه يقع اتزان التأين كليًّا تقريبًا إلى اليمين؛ لأن جذب القاعدة H_2O لأيون H^+ أكبر من جذب القاعدة المرافقة X^-. فكر في هذا الأمر وكأنه معركة للقواعد، أيها لديه قوة جذب أكبر لأيون الهيدروجين: H_2O أم X^-؟ الماء هو القاعدة الأقوى عندما تكون الأحماض كلها قوية. لاحظ أن المعادلة مبينة بسهم واحد إلى اليمين.

كيف يختلف الوضع لأي حمض ضعيف HY؟

$$\underset{\text{حمض}}{HY_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة}}{H_2O_{(l)}} \rightleftharpoons \underset{\text{حمض مرافق}}{H_3O^+_{(aq)}} + \underset{\text{قاعدة مرافقة}}{Y^-_{(aq)}}$$

يميل اتزان التأين للحمض الضعيف إلى يسار المعادلة؛ لأن القاعدة المرافقة Y^- لديها جذب أكبر لأيون الهيدروجين من القاعدة H_2O. وتعد القاعدة المرافقة Y^- (في التفاعل العكسي) أقوى من القاعدة H_2O (في التفاعل الأمامي)، وتستطيع أن تستولي على أيون H^+. فمثلاً في حالة حمض الإيثانويك (الخل) تعد القاعدة المرافقة (في التفاعل العكسي) أقوى في جذب أيونات الهيدروجين من القاعدة H_2O (في التفاعل الأمامي).

$$HC_2H_3O_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + C_2H_3O_2{}^-_{(aq)}$$

لاحظ أن المعادلة تحتوي على سهمي اتزان.

ماذا قرأت؟ لخص أهم الاختلافات بين الأحماض القوية والأحماض الضعيفة عند تفاعلها مع القواعد.

ثابت تأين الحمض يساعد نموذج برونستد – لوري على تفسير قوة الأحماض، إلا أنه لا يُعبِّر بطريقة كمية عن قوة الحمض، ولايقارن بين قوى الأحماض المختلفة. لذا يعد تعبير ثابت الاتزان قياسًا كميًّا لقوة الحمض.

إن الحمض الضعيف ينتج خليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحلول المائي. لذا يعطي ثابت الاتزان K_{eq} قياسًا كميًّا لدرجة تأين الحمض. تأمل حمض الهيدروسيانيك HCN، الذي يستعمل في الصباغة، والحفر على الفولاذ، وتليينه.

174

فيما يأتي معادلة التأين، وتعبير ثابت الاتزان لحمض الهيدروسيانيك:

$$HCN_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CN^-_{(aq)}$$

$$K_{eq} = \frac{[H_3O^+][CN^-]}{[HCN][H_2O]}$$

يعد تركيز الماء السائل في مقام المعادلة السابقة ثابتًا في المحاليل المائية المخففة، لذلك يمكن دمجه مع K_{eq} ليعطي ثابت اتزان جديدًا K_a.

$$K_{eq}[H_2O] = K_a = \frac{[H_3O^+][CN^-]}{[HCN]} = 6.2 \times 10^{-10}$$

يسمى K_a **ثابت تأين الحمض**، وهو قيمة ثابت الاتزان لتأين الحمض الضعيف. وكما في تعابير الاتزان جميعها، تدل قيمة K_a على ما إذا كانت المواد المتفاعلة أو النواتج هي المفضلة عند الاتزان. أما للأحماض الضعيفة فتميل تراكيز الأيونات (النواتج) في البسط إلى أن تكون صغيرة مقارنة بتركيز الجزيئات غير المتأينة (المواد المتفاعلة) في المقام. وتكون قيم K_a للأحماض الأضعف أصغر؛ وذلك لاحتواء محاليلها على أقل تراكيز أيونات وأعلى تراكيز لجزيئات الحمض غير المتأينة. ويحتوي **الجدول 4-5** على قائمة لقيم K_a ومعادلات التأين لعدة أحماض ضعيفة. لاحظ أن الأحماض المتعددة البروتونات ليست بالضرورة قوية التأين؛ فلكل تأين للحمض المتعدد البروتونات قيمة K_a مختلفة.

مهن في الكيمياء

عامل المشتل الوظيفة الرئيسة لعامل المشتل هي الاهتمام بتكاثر النباتات ونموها. وهذا يشمل زراعتها وتقليمها ونقلها. وبيع جميع أنواع المواد التي تتعلق بالنباتات. لذا يجب أن يعرف عامل المشتل المغذيات التي يحتاج إليها النبات للنمو الأفضل وظروف التربة، ومنها حموضة التربة التي تعزز نمو كل نوع من النباتات.

مسائل تدريبية

11. اكتب معادلات التأين وتعابير ثابت تأين الحمض لكل مما يأتي:
a. $HClO_2$ b. HNO_2 c. HIO

12. اكتب معادلة التأين الأولى والثانية لحمض السلينوز H_2SeO_3.

13. تحفيز إذا أعطيت المعادلة الرياضية الآتية: $K_a = \frac{[AsO_4^{3-}][H_3O^+]}{[HAsO_4^{2-}]}$، فاكتب المعادلة الموزونة للتفاعل.

الجدول 4-5 ثوابت تأين الأحماض الضعيفة

الحمض	معادلة التأين	K_a (298 K)
كبريتيد الهيدروجين، التأين الأول	$H_2S \rightleftharpoons H^+ + HS^-$	8.9×10^{-8}
كبريتيد الهيدروجين، التأين الثاني	$HS^- \rightleftharpoons H^+ + S^{2-}$	1×10^{-19}
الهيدروفلوريك	$HF \rightleftharpoons H^+ + F^-$	6.3×10^{-4}
الهيدروسيانيك	$HCN \rightleftharpoons H^+ + CN^-$	6.2×10^{-10}
الإيثانويك (حمض الخل)	$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$	1.8×10^{-5}
الكربونيك، التأين الأول	$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$	4.5×10^{-7}
الكربونيك، التأين الثاني	$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$	4.7×10^{-11}

175

مسائل تدريبية

11. a. $HClO_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + ClO_2^-{}_{(aq)}$

$K_a = [H_3O^+][ClO_2^-]/[HClO_2]$

b. $HNO_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + NO_2^-{}_{(aq)}$

$K_a = [H_3O^+][NO_2^-]/[HNO_2]$

c. $HIO_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + IO^-_{(aq)}$

$K_a = [H_3O^+][IO^-]/[HIO]$

12. $H_2SeO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HSeO_3^-{}_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

$HSeO_3^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons SeO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$

13. $HAsO_4^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + AsO_4^{3-}$

التقويم

المعرفة اسأل الطلاب: أيُّ المحلولين أكثر تركيزًا؛ H_2SO_4 بتركيز 0.10 M، أم HF بتركيز 1.00 M ؟ محلول HF أكثر تركيزًا. واسألهم أيضًا: أيُّهما أكثر حمضيَّة؟ محلول H_2SO_4. ثم اطلب إليهم أن يفسِّروا إجاباتهم. HF حمض ضعيف، وهذا يعني أنه يتأيَّن قليلاً، وينتج القليل من أيونات الهيدروجين في المحلول المائيِّ.

ض م

مشروع الكيمياء

ثابت التأيُّن للأحماض اطلب إلى الطلاب أن يبحثوا في الكتب المرجعيَّة عن قيم ثابت التأيّن لبعض الأحماض، بما لا يقلّ عن خمسة أحماض ضعيفة، واطلب إليهم أن يكتبوا معادلة التأيُّن وتعبير Ka لكلٍّ منها، وترتيبها من الأضعف إلى الأقوى. ض م

تجربة

الهدف ملاحظة الطلاب لتوصيل محلول حمض الخليك الكهربائي بتراكيز مختلفة، واستنتاج الأعداد النسبيّة للأيونات في المحاليل.

المهارات العمليّة الملاحظة والاستنتاج، وتعرّف السبب والنتيجة، وكتابة الفرضيّات.

احتياطات السلامة تأكد من تعبئة الطلاب لبطاقة السلامة في المختبر قبل بدء العمل. حمض الخليك مادة حارقة للجلد والملابس.

التخلّص من النفايات خفّف محاليل الأحماض جميعها عشرين مرّة، واطرحها في مجاري الصرف الصحيّ.

استراتيجيات التدريس

- استخدم نتائج الاستقصاء بدايةً لمناقشة الإسعاف الأوليّ المناسب في حالة تناثر الحمض في العيون أو على الجلد.

النتائج المتوقّعة حمض الخليك لا يوصّل الكهرباء؛ لذا لا يضيء أيّ من الضوءين الأحمر أو الأخضر، ولكن سيضيء الضوء الأحمر على جهاز الفحص بتوهُّجٍ شديدٍ في حالة المحاليل المخفّفة جميعها. أمّا بالنسبة لمحلول حمضِ الخليك بتركيز 6.0 M فسيضيء الضوء الأخضر بصورة خافتة؛ و بتركيز 1.0 M سيكون الضوء الأخضر ساطعًا؛ والحمض نفسه بتركيز 0.1 M سيكون الضوء الأخضر أقلّ توهُّجًا منه بالنسبة للحمض الذي تركيزه 6.0 M.

التحليل

1. $CH_3COOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+_{(aq)} + CH_3COO^-_{(aq)}$

$K_a = [CH_3COO^-][H^+]/[CH_3COOH] = 1.8 \times 10^{-5}$

القليل جدًّا من حمض الخليك يتأيّن.

2. نعم. بالمقارنة بين محلولَي 6.0 M و 1.0 M ، يحتوي المحلول 1.0 M نسبة تأيّن أعلى؛ ونسبة الأيونات العالية تزيد التوصيل، ولكن التخفيف المتواصل يقلّلُ التركيز الكليّ للأيونات لدرجة أنّ توصيل محلول 0.1 M تقلّ.

3. كلّما ازداد تخفيف الحمض الضعيف تحسّن توصيله للكهرباء؛ لأنّ تأيُّنه يزداد. يؤدي الماء إلى زيادة نسبة التأيُّن. غير أنّه في آخر الأمر يصبح الحمض مخففًا لدرجة أنّ التوصيل يقلّ؛ لأنّ كميّة حمض الخلّيك الموجودة تصبح قليلة نسبيًّا.

4. يمكن أن تزيد إضافة كميّةٍ صغيرةٍ من الماء قوة الحمض الظاهريّة؛ فتتلف الأنسجة، لذا يجب إضافة كميّةٍ كبيرةٍ من الماء عند انسكاب الأحماض؛ لتخفيف الحمض بسرعة، وغسله والتخلّص منه.

التقويم

المعرفة اطلب إلى الطلاب أن يتوقّعوا توصيل الكهرباء لمحاليل الحمض القويّ HCl عند تركيز 0.1M، 1.0M، 6.0 M. ض م

تجربة

قارن بين قوى الأحماض

كيف تستطيع أن تحدد القوى النسبية للمحاليل الحمضية؟

الخطوات

1. املأ بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.
2. استعمل مخبارًا مدرجًا سعته 10 mL لقياس 3 mL من حمض الإيثانويك المركز. استعمل القطارة لنقل الحمض إلى الفجوة A1 من طبق التفاعلات البلاستيكي ذي الأربع والعشرين فجوة. ويمكنك استخدام أنابيب الاختبار كبديل في حالة عدم توفر طبق التفاعلات.

تحذير: حمض الإيثانويك (الخل) المركز مادة أكالة وسامّة عند الاستنشاق؛ لذا تعامل معها بحذر.

3. ضع قطبي جهاز الموصلية الكهربائية (الدائرة الكهربائية) في الفجوة A1، وسجّل ملاحظاتك.
4. اغسل المخبار المدرّج والقطارة بالماء، ثم قس 3 mL من حمض الإيثانويك 6.0 M وضعها في الفجوة A2 من طبق التفاعلات. افحص موصلية المحلول وسجلها.
5. أعد الخطوة 4 باستعمال حمض الإيثانويك الذي تركيزه 1.0 M وحمض الإيثانويك 0.10 M والفجوتين A3 و A4 على التوالي.

التحليل

1. اكتب معادلة تأين حمض الإيثانويك في الماء، وتعبير ثابت الاتزان ($K_{eq} = 1.8 \times 10^{-5}$). علامَ تدل قيمة K_{eq} فيما يخص درجة التأين؟
2. **اشرح** هل تتفق نسب التأين المئوية التقريبية الآتية مع نتائجك؟

حمض الإيثانويك (حمض الخل) المركز

حمض الإيثانويك 6.0 M، 0.1%

حمض الإيثانويك 1.0 M، 0.2%

حمض الإيثانويك 1.0 M، 0.4%

حمض الإيثانويك 0.1 M، 1.3%

3. **اقترح** فرضية تشرح ملاحظاتك مستعينًا في ذلك بإجابتك عن السؤال 2.
4. استعمل فرضيتك للتوصل إلى استنتاج يتعلق بضرورة استعمال كميّات كبيرة من الماء للغسل عندما ينسكب حمض على نسيج حي.

قوة القواعد Strengths of Bases

تطلق القواعد أيونات OH^-، ويعتمد توصيل القاعدة للتيار الكهربائي على مقدار ما تنتجهُ من أيونات OH^- في المحلول المائي.

القواعد القوية القاعدة التي تتحلل كليًّا منتجة أيونات فلزية وأيونات الهيدروكسيد تعرف بأنها **قاعدة قوية**. لذا فهيدروكسيدات الفلزات ـ ومنها هيدروكسيد الصوديوم NaOH – قواعد قوية.

$$NaOH_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

تعد بعض هيدروكسيدات الفلزات ـ ومنها هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ – مصدرًا ضعيفًا لأيونات OH^-؛ لأن ذائبيتها منخفضة. لاحظ أن ثابت حاصل الذائبية K_{sp} لهيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ صغير، مما يدل على أن كمية قليلة من OH^- توجد في المحلول المشبع.

$$Ca(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Ca^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)} \quad K_{sp} = 6.5 \times 10^{-6}$$

ومع ذلك فإن هيدروكسيد الكالسيوم وغيره من هيدروكسيدات الفلزات القليلة الذوبان قواعد قوية؛ لأن كل ما يذوب منها يتأيَّن كليًّا. ويبين **الجدول 5–5** معادلات تحلل بعض القواعد القوية .

القواعد الضعيفة تتأين **القواعد الضعيفة** جزئيًّا فقط في المحاليل المائية المخففة. فمثلاً يتفاعل ميثيل أمين CH_3NH_2 مع الماء لينتج مخلوطًا متزنًا من جزيئات CH_3NH_2، وأيونات $CH_3NH_3^+$، وأيونات OH^-.

$$CH_3NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3NH^+_{3(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

قاعدة — حمض — حمض مرافق — قاعدة مرافقة

الجدول 5–5

معادلات التأين للقواعد القوية
$NaOH_{(s)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$KOH_{(s)} \rightarrow K^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$RbOH_{(s)} \rightarrow Rb^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$CsOH_{(s)} \rightarrow Cs^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
$Ca(OH)_{2(s)} \rightarrow Ca^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$
$Ba(OH)_{2(s)} \rightarrow Ba^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$

الجدول 6-5 ثابت التأين لبعض القواعد

القاعدة	معادلة التأين	K_b (298 K)
إيثيل أمين	$C_2H_5NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_2H_5NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	5.0×10^{-4}
ميثيل أمين	$CH_3NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	4.3×10^{-4}
الأمونيا	$NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	2.5×10^{-5}
الأنيلين	$C_6H_5NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_6H_5NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$	4.3×10^{-10}

يميل هذا الاتزان إلى اليسار؛ لأن القاعدة CH_3NH_2 ضعيفة، والقاعدة المرافقة OH^- قوية؛ لأن قوة جذب أيون الهيدروكسيد لأيون الهيدروجين أقوى من جذب جزيء الميثيل أمين لأيون الهيدروجين.

ثابت تأين القواعد تكوِّن القواعد الضعيفة مخاليط اتزان من الجزيئات والأيونات في المحاليل المائية، كما في الأحماض الضعيفة. ويعد ثابت الاتزان قياسًا لمدى تأين القاعدة. وتبين المعادلة الآتية ثابت الاتزان لتأين الميثيل أمين في الماء:

$$K_b = \frac{[CH_3NH_3^+][OH^-]}{[CH_3NH_2]}$$

ويمكن تعريف **ثابت تأين القاعدة** K_b بأنه قيمة تعبر عن ثابت الاتزان لتأين القاعدة. وكلما صغرت قيمة K_b كانت القاعدة أضعف. ويبين **الجدول 6-5** قيم K_b ومعادلات التأين لبعض القواعد الضعيفة.

مسائل تدريبية

14. اكتب معادلات التأين وتعبير ثابت التأين للقواعد الآتية:

a . هكسيل أمين $C_6H_{13}NH_2$ **c** . أيون الكربونات CO_3^{2-}

b . بروبيل أمين $C_3H_7NH_2$ **d** . أيون الكربيتات الهيدروجينية HSO_4^-

15. تحفيز اكتب معادلة اتزان قاعدة يكون فيها PO_4^{3-} قاعدة في التفاعل الأمامي، و OH^- قاعدة في التفاعل العكسي.

التقويم 5-2

الخلاصة

- تتأيَّن الأحماض والقواعد القوية كليًّا في المحاليل المائية المخففة. بينما تتأين الأحماض والقواعد الضعيفة تأيُّنًا جزئيًّا في المحاليل المائية المخففة.
- تعد قيمة ثابت تأين الحمض أو القاعدة الضعيفة قياسًا لقوة الحمض أو القاعدة.

16. الفكرة الرئيسة صف محتويات محاليل مائية مخففة للحمض القوي HI والحمض الضعيف HCOOH.

17. ما العلاقة بين قوة الحمض الضعيف وقوة قاعدته المرافقة؟

18. حدّد الأزواج المترافقة للحمض والقاعدة في كل معادلة مما يأتي:

a. $HCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCOO^-{}_{(aq)} + H_3O^+{}_{(aq)}$

b. $NH_{3(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_4^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

19. اشرح ما الذي يمكن أن تستفيده من معرفة أن قيمة K_b للأنيلين $C_6H_5NH_2$ هي $K_b = 4.3 \times 10^{-10}$؟

20. فسّر البيانات استعمل البيانات في **الجدول 4-5** لترتيب الأحماض السبعة تصاعديًّا بحسب توصيلها للكهرباء.

177

التقويم 2-5

16. يحتوي محلول HI فقط على أيونات H_3O^+ و I^- وجزيئات ماء، ويحتوي محلول HCOOH على أيونات H_3O^+ و $HCOO^-$، وجزيئات HCOOH و H_2O.

17. كلّما ازدادت قوّة الحمض ازداد ضعف قاعدته المرافقة. وكلّما ضعف الحمض ازدادت قوة قاعدته المرافقة.

18. a. الحمض: HCOOH؛ القاعدة المرافقة: $HCOO^-$؛ القاعدة: H_2O؛ الحمض المرافق: H_3O^+

b. الحمض: H_2O؛ القاعدة المرافقة: OH^-؛ القاعدة: NH_3؛ الحمض المرافق: NH_4^+

19. قياس K_b يدلّ على أنّ الأنيلين قاعدة ضعيفة.

20. HF, HCOOH, CH_3COOH, H_2CO_3, H_2S, HCO_3^-, HS^-

مسائل تدريبية

14. a. $C_6H_{13}NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_6H_{13}NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

$K_b = [C_6H_{13}NH_3^+][OH^-]/[C_6H_{13}NH_2]$

b. $C_3H_7NH_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons C_3H_7NH_3^+{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

$K_b = [C_3H_7NH_3^+][OH^-]/[C_3H_7NH_2]$

c. $CO_3^{2-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HCO_3^-{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

$K_b = [HCO_4^-][OH^-]/[CO_3^{2-}]$

d. $HSO_4^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2SO_{4(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

$K_b = [H_2SO_4][OH^-]/[HSO_4^-]$

15. $PO_4^{3-}{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons HPO_4^{2-}{}_{(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$

3. التقويم

التحقُّق من الفهم

اطلب إلى الطلاب الاعتماد على قيم Ka؛ لترتيب درجة توصيل الكهرباء لمحاليل المركَّبات HClO، H_2S، وHI. بتركيز 0.10 M

$HI > H_2S > HClO$ ض م

إعادة التدريس

اكتب على السبورة: 0.1 M HCl و 1.0 M HClO . واسأل: أيّ المحلولين أكثر تركيزًا؟ 1.0 M HClO. وأيُّهما أقوى؟ 0.1 M HCl ض م

التوسُّع

دع الطلاب المهتمّين يستعملوا كتابًا جامعيًّا؛ لتقصي تأثير الماء في مستوى قوة الأحماض، والقواعد القويّة، واطلب إليهم تفسير هذا التأثير مستعينين بالتّشابه الآتي: على افتراض أنّه طلب إلى أقوى خمسة أشخاص في العالم رفع ثقلٍ مقداره 50 kg؛ لتقرير أيّهم هو الأقوى. ف م

التقويم

المهارة اطلب إلى الطلاب أن يكتبوا معادلة التأيُّن، وتعبير ثابت التأيُّن لحمض البروموز (Bromous acid).

$HBrO_{2(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_3O^+{}_{(aq)} + BrO_2^-{}_{(aq)}$

$HBrO_{2(aq)} \rightleftharpoons H^+{}_{(aq)} + BrO_2^-{}_{(aq)}$

$K_a = [H^+][BrO_2^-]/[HBrO_2]$