إجابات الاستقصاءات العملية

التحضير للاستقصاءات

- يجب أن يكون الطلبة على دراية بمفهوم الاتزان الكيميائي وتطبيق مبدأ لوشاتيلييه لتوقع نتائج التغير في ظروف الاتزان وشرحه.
- يجب أن يكون الطلبة قادرين على توقع تأثيرات درجة الحرارة على الاتزان.
- يجب أن يكون الطلبة قادرين أيضًا على تفسير إشارات التغيرات (سالبة أو موجبة) في المحتوى الحراري لكل من اتجاهَي الاتزان نتيجة تأثير التغيرات في درجات الحرارة على حالة الاتزان.
- سيحتاج الطلبة إلى بعض الخبرة في كيفية حساب ثابت الاتزان لنظام في حالة اتزان. ينبغي ألّا يكون الاستقصاء العملي ٥-٢ هو المرة الأولى التي يقوم فيها الطلبة بهذا النوع من الحسابات.
- قبل إجراء المعايرة المطلوبة في الاستقصاء العملي ٥-٣، يجب أن يكون الطلبة قادرين على إدراك نمط تغيّر الرقم الهيدروجيني (pH) وفقًا لطبيعة (قوة أو ضعف) كل من الحمض والمادة القلوية المستخدمَين في المعايرة.

المعلم الإلكتروني الشامل

استقصاء عملي ٥-١: تطبيق مبدأ لوشاتيلييه على الاتزان

المقدمة

خلال هذا الاستقصاء، سيطبق الطلبة مبدأ لوشاتيلييه على الاتزان المائي الموضح أدناه:

$$\underset{\text{أزرق}}{[Cu(H_2O)_6]^{2+}(aq)} + 4Cl^-(aq) \rightleftharpoons \underset{\text{أصفر}}{[CuCl_4]^{2-}(aq)} + 6H_2O(l)$$

المدة

سيستغرق إجراء هذا النشاط العملي ٤٥ دقيقة.

ستحتاج إلى

المواد والأدوات	
• قطارة زجاجية	• كؤوس زجاجية سعة 250 mL عدد 3
• أنابيب اختبار عدد 12	• ورقة بيضاء واحدة لتشكل خلفية
• حامل أنابيب اختبار	• حمض الهيدروكلوريك المركز تركيزه 2 mol/L
• سدادة مطاطية تناسب أنبوبة الاختبار	• محلول كبريتات النحاس (II) المائية تركيزه 1 mol/L
• كأس زجاجية سعة 100 mL	• ماء مقطر
• قلم تسجيل غير قابل للإزالة	• ثلج
• قنينة غسيل	

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- ارتدِ نظّارات واقية للعينَين في جميع الأوقات.
- حمض الهيدروكلوريك المركّز مادة أكّالة.
- كبريتات النحاس (II) مادة ضارّة وتشكّل خطرًا على البيئة.

توجيهات حول الاستقصاء

- يجب أن يكون حجم القطرات المضافة إلى كل من مخاليط التفاعل ثابتًا. لهذا السبب يجب استخدام قطارة واحدة فقط. فبعد إضافة أيونات النحاس (II)، يجب غسل القطارة جيدًا باستخدام الماء المقطر ثم حمض الهيدروكلوريك المركز.
- عندما يجري الطلبة الجزء الثاني من التجربة عن تأثير درجة الحرارة، يكون الاختلاف في اللون بين مخلوطَي التفاعل عند 0 °C ودرجة حرارة الغرفة صغيرًا جدًا. وإذا تم إخراج أنبوبتَي الاختبار من الكؤوس الزجاجية، يصبح تقدير الاختلاف أصعب.

بعد إجراء التجارب، يمكن طرح السؤال الآتي على الطلبة: لماذا يُعدّ التفاعل بين أيونات $Cl^-(aq)$ و$[Cu(H_2O)_6]^{2+}(aq)$ طاردًا للحرارة؟

إجابة: تنجذب أيونات $Cl^-(aq)$ سالبة الشحنة إلى أيونات Cu^{2+} بقوة أكبر مقارنةً بجزيئات الماء المتعادلة، لذلك تتكوّن روابط أقوى، ويكون التفاعل طاردًا للحرارة.

أ. لماذا يُعدّ التفاعل العكسي ماصًا للحرارة؟

إجابة: عندما تحل جزيئات الماء محل أيونات Cl^-، يجب كسر الروابط الأقوى وذلك يتطلب امتصاص الطاقة من المحيط، وبالتالي يكون التفاعل ماصًا للحرارة.

ب. ما هي التجربة (التجارب) الإضافية التي يمكن إجراؤها للحصول على المزيد من الأدلة حول هذا الاستقصاء الحراري-الكيميائي؟

إجابة: يمكن تسخين أنبوبة واحدة حتى 100 °C ويمكن إضافة أنبوبة أخرى إلى مخلوط مجمِّد (مبرِّد) من الثلج وكلوريد الصوديوم، أو من الثلج وكلوريد الكالسيوم، حيث ستكون درجة الحرارة أقل من 0 °C.

المعلم الإلكتروني الشامل

المفاهيم الخاطئة وسوء الفهم

- لا يجد الطلبة عادة صعوبة في متابعة هذا الاستقصاء؛ فمن السهل رؤية تغيّر اللون، وتدرجه يكون واضحًا.
- ليس من الصعب تفسير تأثير درجة الحرارة إذا تمّ تطبيق مبدأ لوشاتيلييه.

النتائج

الجزء ١: تأثير تغيرات التركيز على حالة الاتزان

التدرج في اللون مع ازدياد تركيز حمض الهيدروكلوريك (ازدياد تركيز أيونات Cl^-):

أزرق ← أزرق مخضر ← أخضر ← أخضر مصفر ← أصفر

الجزء ٢: تأثير درجة الحرارة على حالة الاتزان

الظروف	الملاحظات
الثلج 0 °C	يصبح لون المخلوط أشدّ اصفرارًا.
درجة حرارة الغرفة	التجربة الضابطة – لون أخضر مصفر.
الماء المغلي	يبيّن المخلوط لونًا أخضر داكنًا

الجدول ٥-١

إجابات أسئلة كتاب التجارب العملية والأنشطة (باستخدام النتائج)

الجزء ١

مع ازدياد تركيز Cl^-، ووفقًا لمبدأ لوشاتيلييه، سينزاح موضع الاتزان في الاتجاه الذي يؤدي إلى خفض تركيزه، ويحدّ من تأثير هذا التغير. يحدث ذلك عن طريق دعم التفاعل الأمامي، وبالتالي تكوين الأيون الأصفر $[CuCl_4]^{2-}$. فترجع الألوان الوسيطة إلى مخاليط من هذا الأيون الأصفر والأيون الأزرق $[Cu(H_2O)_6]^{2+}$.

الجزء ٢

١. أ. يزداد التركيز.

ب. ينخفض التركيز.

٢. يجب أن يكون التفاعل الأمامي الذي يتكون فيه $[CuCl_4]^{2-}$ طاردًا للحرارة لأن انخفاض درجة الحرارة يدعم هذا التفاعل. ووفقًا لمبدأ لوشاتيلييه، فإن التفاعل الطارد للحرارة سوف يحدّ من الانخفاض في درجة الحرارة.

المعلم الإلكتروني الشامل

استقصاء عملي ٥-٢: التغيّر في الرقم الهيدروجيني (pH) أثناء معايرة حمض-قاعدة

المدة

- سيستغرق النشاط العملي حصة واحدة تقريبًا (نحو ٣٥ دقيقة)، ويمكن اختصاره باقتراح البدء بإضافة 10 mL من محلول هيدروكسيد الصوديوم المائي.
- ستستغرق أسئلة التحليل والاستنتاج والتقويم ٣٠ دقيقة.

التحضير للاستقصاء

- لقد تعلم الطلبة في مراحل سابقة إجراء عمليات المعايرة، ومن المفترض أن يعرفوا كيفية استخدام السحاحة والماصة.
- يجب أن يعرف الطلبة كيفية إجراء العمليات الحسابية التي تتضمن المولات والأحجام والتركيزات.
- يجب إرشاد الطلبة إلى الاستخدام الحذر لقطب (إلكترود) جهاز مقياس pH الزجاجي عند استخدامه.
- من المفيد أن يتم إعداد جدول النتائج قبل تنفيذ العمل التجريبي.

ستحتاج إلى

المواد والأدوات	
• ماصة مقاس 25 mL	• جهاز مقياس الحموضة أو مجس pH
• مضخة ماصة	• ماسك عدد 2 وحامل للسحاحة والمجس pH
• سحاحة زجاج سعة 50 mL	• قمع زجاجي لملء السحاحة
• كأس زجاجية سعة 100 mL	• حمض الإيثانويك المخفف بتركيز مجهول
• ساق زجاجية للتقليب أو مخلط مغناطيسي	• هيدروكسيد الصوديوم تركيزه 0.10 mol/L

ملاحظات ونصائح إضافية

إذا كان عدد مقاييس pH غير كاف، يمكن للمعلم إجراء الاستقصاء مع الطلبة الذين يتناوبون لإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم من السحاحة أو قراءة مقياس pH.

⚠ احتياطات الأمان والسلامة

- تأكّد من قراءة النصائح الواردة في قسم السلامة في بداية هذا الكتاب.
- ارتدِ نظّارات واقية للعينَين في جميع الأوقات.
- تعامل بحذر مع حمض الإيثانويك المستخدم في هذه التجربة.
- هيدروكسيد الصوديوم بتركيز 0.10 mol/L مادة مهيجة.

توجيهات حول الاستقصاء

- إذا تمّ استخدام مخلط مغناطيسي، فتأكد من أنه لا يدور بسرعة بالغة أو أنه لن يصطدم بالطرف الزجاجي لقطب (إلكترود) جهاز مقياس pH. يجب أيضًا نصح الطلبة بعدم تحريك الساق الزجاجية بشدة.
- يجب وضع طرف السحاحة وقطب pH والساق الزجاجية داخل منطقة صغيرة من الكأس الزجاجية. هذا الترتيب المحكم (المحدد) يعني أنه من الضروري أن يكون طرف السحاحة على أحد جوانب الكأس الزجاجية، وأن يكون قطب pH في الجانب المقابل.
- تأكد من منح الوقت الكافي، بعد كل إضافة من هيدروكسيد الصوديوم، حتى يستجيب قطب pH للتغير في قيمة pH بعد التحريك. فعشر ثوان كافية لهذا الأمر. في بعض مقاييس pH القديمة، من المحتمل ألّا تبدو القيمة ثابتَة. في هذه الحالات، يجب حساب متوسط قيم pH.
- سيحتاج بعض الطلبة إلى المساعدة في إعداد الجهاز، نظرًا لأن طرف السحاحة وقطب pH والساق الزجاجية للتقليب يجب أن تكون جميعها داخل الكأس الزجاجية. سيكون من الأفضل استخدام حامل واحد مع ماسكَين متصلَين بدلًا من حاملَين منفصلَين.
- خبرة بعض الطلبة قليلة في استخدام الماصة والسحاحة؛ لذلك قد تضطرّ إلى مساعدتهم للوصول إلى الحجم الصحيح من الحمض بوساطة الماصة.

المعلم الإلكتروني الشامل

النتائج

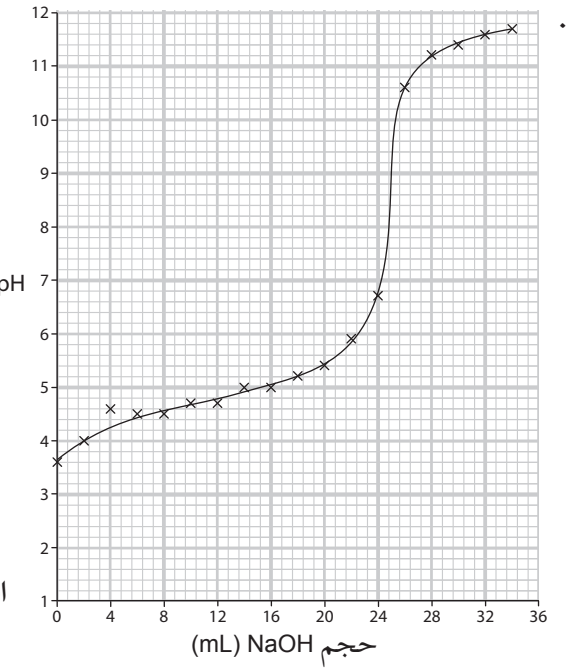
حجم NaOH (mL)	pH
0	3.6
2	4.0
4	4.5
6	4.5
8	4.6
10	4.7
12	4.7
14	5.0
16	5.0
18	5.2
20	5.4
22	5.9
24	6.7
26	10.8
28	11.2
30	11.4
32	11.6
34	11.7

الجدول ٥-٢

المعلم الإلكتروني الشامل

إجابات أسئلة كتاب التجارب العملية والأنشطة (باستخدام النتائج)

٠١



الشكل ٥-٤

٢. يأخذ المنحنى شكل حرف S. تظهر زيادة قليلة نسبيًا في قيم pH حتى إضافة نحو 22 mL من هيدروكسيد الصوديوم. ثم يطرأ تغير سريع بين حجمَي 22 mL و 26 mL من هيدروكسيد الصوديوم المضاف. وبعد إضافة 26 mL من هيدروكسيد الصوديوم، تظهر زيادة بسيطة نسبيًا في قيم pH مرة أخرى. تتطابق نقطة–نهاية المعايرة مع التغير الأسرع في قيم pH.

٣. 24.8 mL لأنها تقع عند نقطة منتصف الانحدار الأشد في المنحنى.

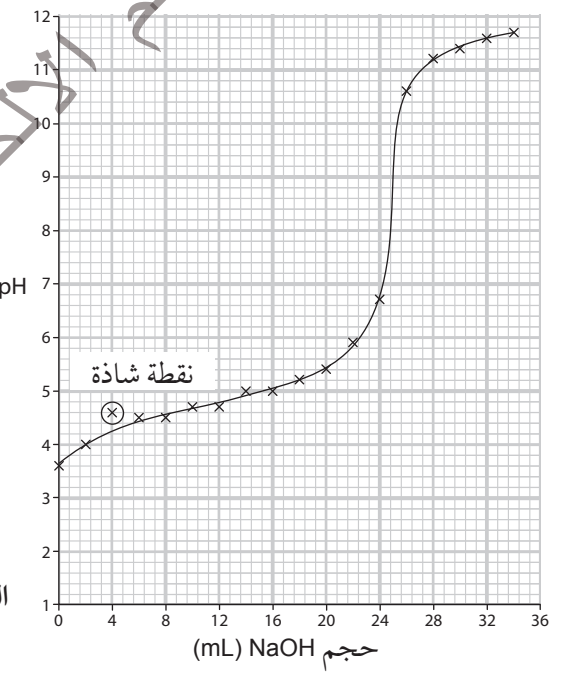
٤. يكون المحلول متعادلًا عند pH 7. وتقع نقطة–النهاية تقريبًا عند pH 8.5، وهو وسط قلوي.

٥. عدد مولات هيدروكسيد الصوديوم = $\frac{24.8}{1000} \times 0.1 = 2.48 \times 10^{-3}$ mol

عدد مولات حمض الإيثانويك = 2.48×10^{-3} mol (إذ يتفاعل 1 mol من حمض الإيثانويك مع 1 mol من هيدروكسيد الصوديوم).

تركيز حمض الإيثانويك = 2.48×10^{-3} mol $\times \frac{1000}{25} = 0.10$ mol/L (حتى رقمَين معنويَّين).

٦. ضع دائرة حول القيمة عند قيمة 4 mL المضافة من هيدروكسيد الصوديوم. لا تقع هذه النقطة على المنحنى. وربما تم تسجيل هذه القيمة من pH قبل تقليب المخلوط، لذلك كانت قيمة pH مرتفعة نسبيًا، وبالتالي يجب تجاهل هذه النقطة.



الشكل ٥–٥

المعلم الإلكتروني الشامل

٧. عندما يبدأ تغير قيمة pH بالزيادة بسرعة أكبر (على سبيل المثال، تكون الزيادة أكثر من 0.5 وحدة pH)، يجب إضافة هيدروكسيد الصوديوم بكميّات أصغر (على سبيل المثال 0.05 mL).

٨. قد يؤدي إخراجهما إلى فقد بعض المحلول أيضًا، فيقل عدد مولات الحمض الذي تتم معايرته. إذا تم إخراجهما مرة واحدة فقط، فسيكون الحجم الذي تمت خسارته صغيرًا جدًا مقارنة بالحجم الكلي للمحلول، وبالتالي لن يحدث ذلك فرقًا كبيرًا في النتيجة النهائية. أمّا إذا تمّ إخراجهما بعد كل إضافة لهيدروكسيد الصوديوم، فقد تُحدث الكمية المفقودة فرقًا في النتيجة النهائية.

إجابات أسئلة نهاية الوحدة

السؤال ١

أ. زيادة تركيز الهيدروجين (أو أحادي أكسيد الكربون أو إزالة الميثانول)/زيادة الضغط/خفض درجة الحرارة.

ب. ١. تتحوّل المواد الناتجة إلى مواد متفاعلة في الوقت نفسه الذي تتحوّل فيه المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة.

أو يبقى تركيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة ثابتًا عند ظروف محددة.

أو يتساوى معدل سرعة التفاعل الأمامي ومعدل سرعة التفاعل العكسي.

٢. النظام الذي لا تتسرب منه المواد المتفاعلة أو المواد الناتجة من مخلوط التفاعل.

ج. لا تأثير/فقط يزيد من معدل سرعة التفاعل.

د. ١. $K_p = \frac{P_{CH_3OH}}{P^2_{H_2} \times P_{CO}}$

٢. $(9.92 \times 10^1)/(6.67 \times 10^4)^2 \times (3.33 \times 10^4)$

$= 6.7 \times 10^{-13}\ Pa^{-2}$

هـ. الضغط الجزئي للهيدروجين:

$$\frac{16.8}{7.2 + 16.8} \times 5.00 \times 10^4 = 3.50 \times 10^4\ Pa$$

السؤال ٢

أ. ١. ينزاح موضع الاتزان إلى الطرف الأيسر، للحد من تأثير إزالة الكبريت ولاستعادة الاتزان.

٢. **ملاحظة:** على المعلم أن يوضح للطلبة أن هذا التفاعل طارد للحرارة.

ينزاح موضع الاتزان إلى الطرف الأيمن، لأنه في حال كان هناك انخفاض في درجة الحرارة، فإن التفاعل سوف ينزاح في اتجاه إنتاج مزيد من الحرارة.

الإجابة: لأن التفاعل طارد للحرارة

٣. ينزاح موضع الاتزان إلى الطرف الأيمن، إذ يتجه نحو تقليل عدد المولات/الجزيئات للحد من تأثير ازدياد الضغط.

ب. $K = \frac{[H_2S]^2}{[H_2]^2[S_2]}$

ج. ١. L/mol

٢. $9.40 \times 10^5 = \frac{(0.442)^2}{(0.234)^2 \times [S_2]}$

$[S_2] = \frac{(0.442)^2}{(0.234)^2} \times (9.40 \times 10^5)$

$= 3.80 \times 10^{-6}\ (mol/L)$

د. ١. $K_p = \frac{P^2_{SO_3}}{P^2_{SO_2} \times P_{O_2}}$

٢. $K_p = \frac{(80100)^2}{(10100)^2 \times (68800)}$

$= 9.14 \times 10^{-4}\ Pa^{-1}$

هـ. ١. ينزاح موضع الاتزان إلى الطرف الأيمن/يسير في اتجاه إنتاج المزيد من المواد الناتجة.

٢. الضغط العالي خطِر/تصبح المواد أكالة أكثر عند الضغط العالي/الضغوط الأعلى أكثر تكلفة.

يتجه التفاعل كثيرًا إلى الطرف الأيمن.

٣. تدعم درجة الحرارة المرتفعة التفاعل الماص للحرارة (التفاعل العكسي/نحو الطرف الأيسر) فيصبح المردود أقل.

عند درجات الحرارة المنخفضة يكون معدل التفاعل بطيئًا جدًا.

و. عامل حفاز من الحديد.

درجة الحرارة: 450 °C (تقبل مع ±20 °C)

الضغط: 200 atm (تقبل مع ± 2000 kPa / 20 atm)

المعلم الالكتروني الشامل

السؤال ٣

أ. يتأين حمض الإيثانويك جزئيًا في الماء.
يتأين حمض النيتريك كليًا في الماء.

ب. ١. $K_c = \frac{[CH_3CO_2^-][H^+]}{[CH_3CO_2H]}$

الإجابة المقبولة: $\frac{[CH_3CO_2^-][H_3O^+]}{[CH_3CO_2H][H_2O]}$

٢. H^+ تُعدّ مثل H_3O^+ لأن أيون الهيدروجين يتحد مع جزيء الماء. لا يمكن أن يوجد أيون الهيدروجين في محلول مائي حيث تتجذب شحنته الموجبة إلى الشحنة السالبة على جزيء الماء ويستخدم H_3O^+ لتمثيل ذلك. يعد استخدام H^+ بدلًا من H_3O^+ تبسيطًا.

ج. يمتلك حمض النيتريك تركيزًا أكبر من أيونات الهيدروجين من حمض الإيثانويك.
لذا تكون سرعة تفاعل حمض النيتريك مع شريط الماغنيسيوم أكبر مقارنة بحمض الإيثانويك، حيث إن عدد التصادمات في الثانية الواحدة يكون أكبر.
الإجابة المقبولة: حمض النيتريك حمض مؤكسِد.

د. $H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$

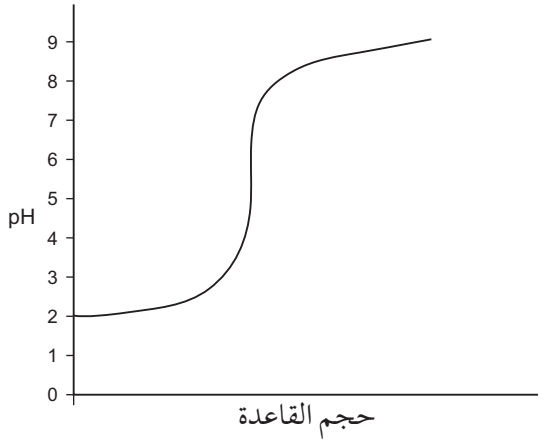
السؤال ٤

أ. $CH_3COOH + OH^- \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_2O$

ب. ١. الفينولفثالين/أو الميثيل الأحمر.

٢. لا يتطابق مدى تغيّر ألوانه مع التغير المفاجئ في pH

ج.



المرشد الإلكتروني الشامل