مثال 1

إذا أُعطيتَ الاتّزان الأيوني الآتي للمحلول المائي فلوريد الهيدروجين (حمض الهيدروفلوريك):

$$HF_{(aq)} \rightleftharpoons H^{+}_{(aq)} + F^{-}_{(aq)}$$

اكتب تعبير ثابت الاتّزان له.

مثال 2

اكتب تعبير ثابت الاتّزان بدلالة الضغوط الجُزئية للتفاعُل الآتي:

$$2\ NOBr_{(g)} + C\ell_{2(g)} \rightleftharpoons 2\ NO_{(g)} + 2\ BrC\ell_{(g)}$$

مثال 3

احسب ثابت الاتّزان للتفاعُل الممثّل بالمُعادَلة الآتية: $N_{2(g)} + 3\ H_{2(g)} \rightleftharpoons 2\ NH_{3(g)}$، عندما تبلغ قيمة الضغط عند الاتّزان لغاز N_2 0.444 atm، ولغاز H_2 1.332 atm، ولغاز NH_3 0.112 atm.

مثال 4

يُعدّ ملح كلوريد الرصاص (II) $PbC\ell_2$ ذا قابلية ضعيفة للذوبان. ما قيمة ثابت الاتّزان من مُعادَلة إتزان المحلول المُشبَع للملح $PbC\ell_2$ الآتية:

$$PbC\ell_{2(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + 2\ C\ell^{-}_{(aq)}$$

علمًا بأنه تم وضع 0.2252g من $PbC\ell_2$ في (50 mL) من الماء في وعاء حجمه (1 L) ووجد عند الاتّزان أن تركيزمحلول Pb^{2+} يساوي 0.0159 M وتركيز محلول $C\ell^{-}$ يساوي 0.0318 M

مثال 5

في نظام مُغلَق، يتفاعُل فلز القصدير مع الأحماض لتحقيق حالة الاتّزان الآتية:

$$Sn_{(s)} + 2\ H^{+}_{(aq)} \rightleftharpoons Sn^{2+}_{(aq)} + H_{2(g)}$$

احسب قيمة ثابت الاتّزان Kc إذا تمّ قياس التركيز عند الاتّزان، فكان تركيز أيونات H^{+} يساوي 0.22 M وتركيز محلول Sn^{2+} يساوي 0.14 M، و H_2 يساوي 0.14 M

مثال 6

عند درجة حرارة مقدارها 25°C، تمّ وضع 0.0124 M من غاز الأمونيا NH_3 مع كميّه كافية من الماء في وعاء مغلق سعته 2L ، للوصول إلى حالة الاتّزان الآتية:

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

احسب ثابت الاتّزان إذا تمّ قياس قيمة تركيز أيون الهيدروكسيد (OH^-) عند الاتّزان، وكانت تساوي 4.64×10^{-4} M.

مثال 7

في نظام مُغلَق عند درجة حرارة مقدارها 1000 K، يتفكَّك ثالث أكسيد الكبريت، ويُحقِّق حالة اتّزان كما في المُعادَلة الآتية: $2\ SO_{3(g)} \rightleftharpoons 2\ SO_{2(g)} + O_{2(g)}$. احسب ثابت الاتّزان إذا تمّ بداية إضافة غاز SO_3 ضغطه 0.500 atm، وكانت قيمة الضغط الجُزئي لغاز SO_3 عند الاتّزان تساوي 0.200 atm.

مثال 8

عند درجة حرارة مقدارها 25°C، تمّ ملء وعاء التفاعُل بغاز N_2O_4 ضغطه الجُزئي 1.50 atm، وغاز NO_2 ضغطه الجُزئي 1.00 atm ، بحسب المُعادَلة الآتية:

$$N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2\ NO_{2(g)}$$

احسب ثابت الاتّزان إذا تمّ قياس قيمة الضغط الجُزئي للاتّزان لغاز NO_2، وكانت تساوي 0.512 atm.

مثال 9

أُعطيت قيَم ثوابت الاتّزان الآتية: أيٌّ منها يُشير إلى التفاعُل الذي: (a) سيحدث له إزاحة بشكل كبير نحو اليسار، (b) سيحدث له إزاحة بشكل كبير نحو اليمين، (c) سيكون قارب على الاكتمال؟

$K_{eq} = 1 \times 10^{-10}$ M, $K_{eq} = 2 \times 10^{5}$ M, $K_{eq} = 5 \times 10^{34}$ M

1. أيٌّ من الآتي يشير إلى وجود تفاعُل في حالة اتّزان؟
   a. كتل المواد المُتفاعِلة والمواد الناتجة متساوية.
   b. سرعتا التفاعُلين الطردي والعكسي متساويتان.
   c. تراكيز المواد المتفاعلة والمواد الناتجة متساوية.
   d. حجوم المواد المتفاعلة وحجوم المواد الناتجة متساوية.

2. أيٌّ من الآتي يُبيّن العلاقة الصحيحة بين تراكيز المواد المُتفاعِلة والمواد الناتجة الموجودة في تعبير ثابت الاتّزان (K_c)؟
   a. [المواد الناتجة] \ [المواد المتفاعلة]
   b. [المواد المتفاعلة] \ [المواد الناتجة]
   c. [المواد الناتجة] × [المواد المتفاعلة]
   d. [المواد المتفاعلة] + [المواد الناتجة]

3. ما وحدة القياس المستخدمة للمواد الناتجة والموادّ المُتفاعِلة الموجودة في تعبيرَي ثابتَي الاتّزان K_c، وK_p، على التوالي؟
   a. moles، وtorr
   b. mol/L، وtorr
   c. moles، وatm
   d. mol/L، وatm

4. أيٌّ من الآتي يتمّ استبعاده عند كتابة تعبير ثابت اتّزان؟
   a. المواد الصلبة والغازات
   b. المواد الصلبة والمواد السائلة النقية
   c. المحاليل المائية والغازات
   d. المواد السائلة والمحاليل المائية

7. وضِّح، من حيث تعبير ثابت الاتّزان، السبب الذي يجعل تفاعُلات الاتّزان التي تكون على مدى قريب من الاكتمال تمتلك قيَم ثوابت اتّزان كبيرة جدًّا.

5. لديك التفاعُل الآتي: $Fe^{3+}_{(aq)} + SCN^{-}_{(aq)} \rightleftharpoons FeSCN^{2+}_{(aq)}$. تمّ إعداد محلول تركيز $[Fe^{3+}]$ الابتدائي فيه يساوي 1.0×10^{-3} M، وتركيز $[SCN^-]$ الابتدائي يساوي 8.0×10^{-3} M. احسب ثابت الاتّزان، إذا كان تركيز أيون $[Fe^{3+}]$ عند الاتّزان يساوي 1.7×10^{-4} M.

6. احسب قيمة K_p لحالة الاتّزان: $CO_{(g)} + 2\ H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)}$. إذا كانت قيمة الضغط الجُزئي الابتدائي لغاز $CO_{(g)}$ تساوي 7.59 atm، ولغاز $H_{2(g)}$ تساوي 9.16 atm، وقيمة الضغط الجُزئي عند الاتّزان لغاز $CH_3OH_{(g)}$ تساوي 2.14 atm.

مثال 10

أضيف غاز الميثانول (CH_3OH) إلى نظام التفاعل المغلق، للتفاعل في حالة الاتّزان الآتي:

$$CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)} \quad \Delta H = -129\ kJ/mol$$

ما تأثير ذلك في حالة اتّزان هذا النظام؟

مثال 11

تحدث حالة الاتّزان الآتية عندما يذوب كلوريد الكوبالت (II) المائي ($CoC\ell_2.H_2O$) في محلول حمض الهيدروكلوريك، بحسب المُعادلة الكيميائية الآتية:

$$\underset{\text{وردي فاتح}}{Co(H_2O)_6^{2+}{}_{(aq)}} + 4\ C\ell^-_{(aq)} \rightleftharpoons \underset{\text{أزرق داكن}}{CoC\ell_4^{2-}{}_{(aq)}} + 6\ H_2O_{(l)}$$

حيث تكون أيونات $Co(H_2O)_6^{2+}{}_{(aq)}$ ذات لون وردي فاتح، وتكون أيونات $CoC\ell_4^{2-}{}_{(aq)}$ ذات لون أزرق داكن.

(1) توقّع اتّجاه إزاحة موضع الاتّزان عند إذابة كلوريد الصوديوم ($NaC\ell$) في المحلول عند الاتّزان.

(2) وضّح: هل يتغيّر لون المحلول إلى اللون الوردي الفاتح أم إلى اللون الأزرق الداكن؟

مثال 12

ملح كلوريد الفضة شحيح الذوبان في الماء حيث يتأين بنسبة قليلة في الماء ليصل إلى حالة الاتّزان بحسب المُعادلة الكيميائية الآتية:

$$AgC\ell_{(s)} \overset{H_2O}{\rightleftharpoons} Ag^+_{(aq)} + C\ell^-_{(aq)}$$

إذا أُضيفت كمية قليلة من محلول كلوريد البوتاسيوم $KC\ell$:

(1) توقّع الإزاحة في موضع الاتّزان.

(2) توقّع: هل تزداد كتلة كلوريد الفضّة ($AgC\ell_{(s)}$) أم تقلّ، أم تبقى ثابتة دون تغيُّر عند الإتزان؟

جدول 4-5 ملخّص أنواع المؤثّرات والتأثيرات في الاتّزان.

مؤثّرات التغيُّر في التركيز

المؤثر	الإزاحة في موضع الاتزان	التأثير في k
زيادة تركيز المادة المتفاعلة	يُزاح باتجاه اليمين	لا تغير
زيادة تركيز المادة الناتجة	يُزاح باتجاه اليسار	لا تغير
نقصان تركيز المادة المتفاعلة	يُزاح باتجاه اليسار	لا تغير
نقصان تركيز المادة الناتجة	يُزاح باتجاه اليمين	لا تغير

مؤثّرات التغيُّر في درجة الحرارة

المؤثّر	نوع التفاعل	الازاحة في موضع الاتزان	التأثير في k
ارتفاع درجة الحرارة	طارد للحرارة $(\Delta H < 0)$	يُزاح باتجاه اليسار	يقلّ
انخفاض درجة الحرارة		يُزاح باتجاه اليمين	يزداد
ارتفاع درجة الحرارة	ماصّ للحرارة $(\Delta H > 0)$	يُزاح باتجاه اليمين	يزداد
انخفاض درجة الحرارة		يُزاح باتجاه اليسار	يقلّ

مؤثّرات التغيُّر في الضغط

المؤثّر	* نوع التفاعل	الازاحة في موضع الاتزان	التأثير في k
زيادة الضغط	$n_{R(g)} < n_{P(g)}$	يُزاح باتجاه اليسار	لا تغيُّر
نقصان الضغط		يُزاح باتجاه اليمين	لا تغيُّر
زيادة الضغط	$n_{R(g)} > n_{P(g)}$	يُزاح باتجاه اليمين	لا تغيُّر
نقصان الضغط		يُزاح باتجاه اليسار	لا تغيُّر
زيادة الضغط	$n_{R(g)} = n_{P(g)}$	لا تغيُّر	لا تغيُّر
نقصان الضغط		لا تغيُّر	لا تغيُّر

$*n_{R(g)}$ = عدد المولات الكلي للمواد المتفاعلة الغازية، $n_{P(g)}$ = عدد المولات الكلي للمواد الناتجة الغازية

مثال 13

يخضع غاز رباعي أكسيد ثنائي النيتروجين (N_2O_4) إلى تفاعُل تفكُّك ماصّ للحرارة ليُحقِق حالة اتِزان مع غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، كما في المُعادلة الكيميائية الآتية:

$$N_2O_{4(g)} + 58.0\ kJ \rightleftharpoons 2\ NO_{2\ (g)}$$

فإذا انخفضت درجة الحرارة:

(1) توقَّع اتّجاه الإزاحة في موضع الاتّزان.

(2) كيف سيتغيَّر تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)؟

(3) كيف تتغير قيمة ثابت الاتّزان K للتفاعل؟

مثال 14

يُعدّ إنتاج غاز الأمونيا من عملية هابر تفاعُلًا طاردًا للحرارة، كما يُشير وجود طاقة حرارية في طرف النواتج للمُعادلة الكيميائية الآتية:

$$3\ H_{2(g)} + N_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} + 92.4\ kJ$$

حدّد: هل يجب رفع درجة الحرارة، أم خفضها لزيادة إنتاج غاز الأمونيا (NH_3)؟

مثال 15

إذا تم خفض الضغط ، مع ثبات درجة الحرارة، في حالة الاتّزان الآتية:

$$2\ NOBr_{(g)} + C\ell_{2(g)} \rightleftharpoons 2\ NO_{(g)} + 2\ BrC\ell_{(g)}$$

(1) توقَّع التغيُّر في حالة الاتّزان التي حدثت.

(2) توقَّع: هل تزداد كمّية غاز الكلور ($C\ell_2$) الموجودة في وعاء التفاعُل، أم تقلّ، أم تبقى ثابتة كما هي.

مثال 16

تتفكَّك كربونات الكالسيوم، وتُحقِق حالة اتّزان في نظام مُغلق بحسب المُعادلة الكيميائية الآتية:

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

(1) توقَّع الإزاحة في موضع الاتّزان الذي سوف يحدث عندما يزداد الضغط.

(2) وضِّح كيف تؤثّر إضافة كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) إلى وعاء التفاعل في حالة الاتّزان.

مثال 17

إذا أُعطيت النظام المتّزن الآتي:

$$SnO_{2(s)} + 2\ CO_{(g)} \rightleftharpoons Sn_{(s)} + 2\ CO_{2(g)}$$

(1) توقَّع الإزاحة في موضع الاتّزان الذي سوف يحدث إذا تغيَّر حجم وعاء التفاعُل من 1.00 L إلى 1.50 L

(2) وضّح كيف تتغيّر سرعة التفاعُلات النسبية لكلا التفاعُلين، الطردي والعكسي، استجابة للمؤثّر الذي حدث في النظام المتّزن .

1. ما المقصود بأن موضع الاتّزان لتفاعل متزن يُزاح نحو اليسار؟
   a. يحدث التفاعُل الطردي بشكل أسرع من التفاعُل العكسي.
   b. تصبح كمّية المواد المُتفاعِلة أكبر من كمّيات المواد الناتجة.
   c. تصبح كمّية المواد الناتجة مُساوية لكمّيات المواد المُتفاعِلة.
   d. تصبح كمّية المواد الناتجة أكبر من كمّيات المواد المُتفاعِلة.

2. أيّ من الآتي لا يُزاح فيه موضع الاتّزان نحو اليسار في التفاعُل المُبيَّن بالمُعادلة الآتية؟

$$SO_2C\ell_{2(g)} \rightleftharpoons SO_{2(g)} + C\ell_{2(g)}$$

   a. إضافة $He_{(g)}$
   b. إضافة كمية من غاز الكلور $C\ell_{2(g)}$
   c. إزالة كمية من $SO_2C\ell_{2(g)}$
   d. خفض الحجم

3. ماذا يحدث لتركيز $CO_{(g)}$ عندما يزداد الضغط على النظام المتّزن الآتي:

$$C_{(s)} + CO_{2(g)} \rightleftharpoons 2\ CO_{(g)}$$

4. يمكن أن يتكوّن رُباعي كلوريد التيتانيوم عن طريق تفاعُل فلزّ التيتانيوم مع غاز الكلور، وهذا التفاعُل انعكاسي، ويشكّل حالة الاتّزان الآتية:

$$Ti_{(s)} + 2\ C\ell_{2(g)} \rightleftharpoons TiC\ell_{4(l)}$$

ما الاتجاه الذي يجب أن يُزاح فيه موضع الاتّزان لزيادة كمّية $TiC\ell_4$ الناتجة؟ هل يجب إضافة كمية من غاز الكلور $C\ell_2$ إلى النظام أم إزالتها منه لحدوث هذه الإزاحة؟

5. ماذا يحدث لموضع الإتزان للتفاعل المتزن الآتي عند زيادة حجم وعاء التفاعل؟

$$4HCl_{(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2H_2O_{(g)} + 2Cl_{2(g)}$$

وضّح ذلك باستخدام مبدأ لوشاتيليه.

6. وضّح باستخدام مبدأ لوشاتيليه ما يحدث لكمّية O_2 عندما تنخفض درجة حرارة النظام المتّزن الآتي:

$$2\ POC\ell_{3(g)} + 507\ kJ \rightleftharpoons 2\ PC\ell_{3(g)} + O_{2(g)}$$

7. وضّح باستخدام مبدأ لوشاتيليه ما يحدث لموضع الاتزان للتفاعل المتزن الآتي عند نقص حجم وعاء التفاعل؟

$$SiO_{2(s)} + 4HF_{(g)} \rightleftharpoons SiF_{4(g)} + 2H_2O_{(g)}$$

مثال 18

حدّد أحماض وقواعد برونستيد - لوري في التفاعُل الانعكاسي الآتي:

$$CH_3NH_{2(aq)} + CH_3COOH_{(aq)} \rightleftharpoons CH_3NH_3^+{}_{(aq)} + CH_3COO^-{}_{(aq)}$$

مثال 19

حدّد الأزواج المترافقة في التفاعُل الانعكاسي الآتي:

$$HC_2O_4^-{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2C_2O_{4(aq)} + OH^-{}_{(aq)}$$

مثال 20

احسب تركيز أيون الهيدروجين في محلول مائي يبلغ تركيز أيون الهيدروكسيد فيه 4.5×10^{-4} M عند 25°C.

مثال 21

احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول حمض الهيدروكلوريك تركيزه 0.010 M.

مثال 22

احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول HBr تركيزه 7.5×10^{-5} M.

مثال 23

احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول NaOH تركيزه 0.0060 M.

مثال 24

من خلال التحليل الكمّي وُجد أن تركيز أيونات الهيدروكسيد في محلول يساوي 5.7×10^{-9} M.

(1) احسب الرقم الهيدروجيني للمحلول. (2) هل المحلول حمضي أم قاعدي، أم مُتعادِل؟ فسِّر إجابتك.

مثال 25

احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول حمض الأسيتيك (CH_3COOH) بتركيز 0.15 M إذا علمت أن K_a له يبلغ 1.8×10^{-5} M.

مثال 28

قيمة الرقم الهيدروجيني لمحلول أسيتات الصوديوم (CH_3COONa) هي 9.2. تتفكّك أسيتات الصوديوم بالكامل في المحلول لتنتج أيونات الأسيتات وأيونات الصوديوم. حدّد التركيز الابتدائي لأسيتات الصوديوم علمًا أن معادلة اتّزان تفاعل أيونات الأسيتات في الماء هي :

$$CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftarrows CH_3COOH_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

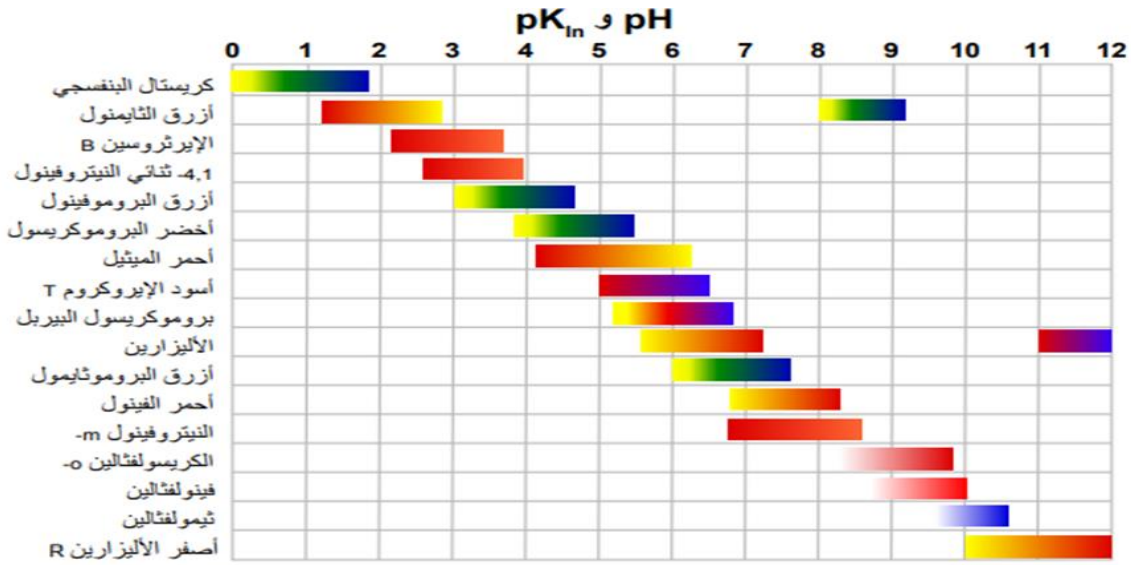
وقيمة ثابت إتزان: $K_b = 5.56 \times 10^{-10}$

مثال 29

إذا علمت أنّ قيمة $pK_a = 3.40$ لتأيُّن حمض النيتروز (HNO_2)، احسب قيمة الرقم الهيدروجيني pH لمحلول من هذا الحمض تركيزه 1.0 M.

$$HNO_2 \rightleftharpoons H^+ + NO_2^-$$

ملاحظة: يتأيَّن حمض النيتروز بسرعة كبيرة نسبيًا ، كما أنه حمض ضعيف و يُعدّ مادة متفاعلة مهمة للغاية في كيمياء الأوزون الموجود في طبقة الغلاف الجوي العلوية، ويختلف عن حمض النيتريك (HNO_3) الذي يُعدّ حمضًا قويًا.



مثال 31

باستخدام **الجدول 5-6**، حدّد الدليل الذي يجب استخدامه للوصول إلى نقطة نهاية مُناسِبة للمُعايَرة، حيث يكون الرقم الهيدروجيني عند نقطة التكافؤ 4.0

مثال 34

يتكوَّن خلّ المائدة الأبيض (**الشكل 5-40**) من 5.0 % حمض خلّيك (أسيتيك) تقريبًا. وهذا يُعادل تركيز مولاري مقداره 0.83 M.

احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول مُنظِّم تركيزه 0.83 M من حمض الأسيتيك و0.95 M من أسيتات الصوديوم CH_3COONa. مع العلم بأنَّ K_a حمض الأسيتيك

الشكل 5-40 الخلّ هو محلول حمض الخلّيك

مثال 32

كم يبلغ الرقم الهيدروجيني لمحلول مُنظِّم يتكوَّن من 0.12 M حمض اللاكتيك $HC_3H_5O_3$ و 0.10 M لاكتات الصوديوم $NaC_3H_5O_3$؟ يبلغ K_a لحمض اللاكتيك 1.4×10^{-4}.

مثال 33

ما قيمة الرقم الهيدروجيني pH لمحلول منظم يتكوّن من حمض اللاكتيك نفسه $HC_3H_5O_3$ تركيزه 0.12 M، ولكن مع وجود لاكتات الكالسيوم $Ca(C_3H_5O_3)_2$ تركيزها 0.10 M عوضًا عنه؟ لاحظ أنَّ لاكتات الكالسيوم تتفكَّك إلى أيوني لاكتات.

$$HC_3H_5O_3 \rightleftharpoons H^+ + C_3H_5O_3^- \qquad Ca(C_3H_5O_3)_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2C_3H_5O_3^-$$

1. أيٌّ من الآتي هو الحمض المُرافِق لـ HPO_4^{2-} ؟

a. PO_4^{3-} c. HPO_4^-

b. H_3PO_4 d. $H_2PO_4^-$

2. أيٌّ من تراكيز أيون الهيدروجين (H^+) الآتية يُشير إلى المحلول ذي الرقم الهيدروجيني الأصغر ؟

a. 2.3×10^{-5} c. 7.2×10^{-8}

b. 1.0×10^{-7} d. 4.9×10^{-12}

3. كم يبلغ تركيز أيون الهيدروجين (H^+) لمحلول له تركيز أيون الهيدروكسيد (OH^-) يساوي 6.80×10^{-11} M؟

a. 1.47×10^{-4} c. 1.00×10^{-7}

b. 6.80×10^{-4} d. 6.80×10^{-11}

4. أيٌّ من الآتي يمثّل قيمة الرقم الهيدروجيني لمحلول من حمض أحادي البروتون تركيزه 0.10 M وله K_a يساوي 3.6×10^{-9}؟

a. 1.00 c. 4.22

b. 3.60 d. 4.72

5. كم يبلغ الرقم الهيدروجيني لمحلول له pOH يساوي 4.05؟

6. احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول قاعدة ضعيفة أحادية الهيدروكسيد تركيزها 0.084 M وثابت تفكُّكها $K_b = 2.1 \times 10^{-7}$؟

7. البيريدين قاعدة ضعيفة. صيغتها الكيميائية C_5H_5N وثابت اتّزانها K_b يساوي 1.7×10^{-9}. احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول تركيزه 0.21 M بيريدين و0.15 M من حمضه المُرافِق $C_5H_5NH^+$.

8. احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول مُنظّم يحتوي على 0.14 M حمض البنزويك ($HC_7H_5O_2$) و0.02 M أيونات بنزوات ($C_7H_5O_2^-$) مع العلم بأن ثابت تأيُّن K_a حمض البنزويك يبلغ 6.3×10^{-5}.

ملخّص العلاقات الرياضية التي تتضمّن الرقم الهيدروجيني pH

الرقم الهيدروجيني pH	$pH = -\log_{10}[H^+]$
الرقم الهيدروكسيلي pOH	$pOH = -\log_{10}[OH^-]$
العلاقة بين pH و pOH عند درجة حرارة 25°C	$pH + pOH = 14$
التأيّن الطبيعي للماء عند درجة حرارة 25°C	$K_w = [H^+] \times [OH^-] = 1 \times 10^{-14}$
حساب تركيز أيون الهيدروجين للحمض الضعيف (تقريبي)	$[H^+] \approx \sqrt{K_a[HA]}$ إذا كان $K_a << 1$ والمعادلة $HA_{(aq)} \rightleftharpoons H^+_{(aq)} + A^-_{(aq)}$
حساب تركيز أيون الهيدروكسيد للقاعدة الضعيفة (تقريبي)	$[OH^-] \approx \sqrt{K_b[B]}$ إذا كان $K_b << 1$ والمعادلة $B_{(aq)} + H_2O \rightleftharpoons B^+_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$
pK_a	$pK_a = -\log_{10} K_a$ $K_a = 10^{(-pK_a)}$
pK_b	$pK_b = -\log_{10} K_b$ $K_b = 10^{(-pK_b)}$
العلاقات بين K_a, K_b, pK_a, pK_b عند درجة حرارة 25°C	$K_a \times K_b = 1 \times 10^{-14}$ $pK_a + pK_b = 14$
معادلة هندرسون-هاسيلبالش لمحلول منظّم حمضي	$pH = pK_a + \log_{10}\left(\frac{[\text{القاعدة المرافقة}]}{[\text{حمض ضعيف}]}\right)$
معادلة هندرسون-هاسيلبالش لمحلول منظّم قاعدي	$pOH = pK_b + \log_{10}\left(\frac{[\text{الحمض المرافق}]}{[\text{قاعدة ضعيفة}]}\right)$

1. ما الشرطان اللازمان لوصول تفاعُل إلى حالة اتّزان ؟
   a. التفاعُل قابل للانعكاس والنظام مُغلَق.
   b. التفاعُل غير قابل للانعكاس والنظام مُغلَق
   c. التفاعُل قابل للانعكاس والنظام غير مُغلَق.
   d. التفاعُل غير قابل للانعكاس والنظام غير مُغلَق.

2. أيٌّ مما يأتي يصف نظامًا في حالة اتّزان؟
   a. تتساوى كمّيات الموادّ المُتفاعِلة والناتجة.
   b. تتساوى مُعدّلات سرعة التفاعُلات الطردية والعكسية.
   c. تتّصف مُعدّلات سرعة التفاعُلات الطردية والعكسية بأنها بطيئة.
   d. تتوقّف التفاعُلات الطردية والعكسية عن الحدوث عند الوصول إلى حالة اتّزان.

3. أيٌّ من الجمل الآتية تُعبّر بشكل صحيح عن نظام متزن يقترب من الاكتمال تقريبًا؟
   a. يحدث التفاعُل الطردي فقط.
   b. يُزاح اتّجاه الاتّزان لدرجة كبيرة إلى اليسار.
   c. يُزاح اتّجاه الاتّزان لدرجة كبيرة إلى اليمين.
   d. التفاعُل الطردي أسرع من التفاعُل العكسي.

4. ماذا يحدث إذا ارتفعت درجة الحرارة لنظام في حالة اتّزان؟
   a. يصبح التفاعُل أكثر برودة.
   b. يصبح التفاعُل الماصّ للحرارة أسرع، ويصبح التفاعُل الطارد للحرارة أبطأ.
   c. يصبح التفاعُل الماصّ للحرارة أبطأ ويصبح التفاعُل الطارد للحرارة أسرع.
   d. تزداد سرعة كل من التفاعُل الطردي والتفاعُل العكسي، ولكنّ التفاعُل الماصّ للحرارة سيكون أسرع من التفاعُل الطارد للحرارة.

5. ماذا يحدث لكمّيات المادة المتفاعلة B والمادة الناتجة D إذا أُزيل بعض من الناتج C من هذا النظام؟ $A + B \rightleftharpoons C + D$
   a. ستزداد كمّيات كلّ من B و D .
   b. ستنخفض كمّيات كلّ من B و D .
   c. ستنخفض كمّيات B وتزداد كمّيات D .
   d. ستزداد كمّيات B وتنخفض كمّيات D .

6. أيٌّ ما يأتي يُعرَّف بشكل صحيح ثابت الاتّزان (K_{eq})؟
   a. مجموع تراكيز الموادّ المتفاعلة في البسط ومجموع تراكيز النواتج في المقام.
   b. مجموع تراكيز النواتج في البسط، ومجموع تراكيز الموادّ المتفاعِلة في المقام.
   c. حاصل ضرب تراكيز الموادّ المتفاعِلة في البسط، وحاصل ضرب تراكيز النواتج في المقام.
   d. حاصل ضرب تراكيز النواتج في البسط، وحاصل ضرب تراكيز الموادّ المتفاعِلة في المقام.

7. ما الذي يصحّ في دور معاملات الاتّزان لمُعادلة كيميائية في تعبير ثابت الاتّزان K_c؟
   a. لا تُستخدَم المُعامِلات في التعبير.
   b. تُرفَع التراكيز إلى قوة مُعامِلاتها.
   c. تُقسَم المُعامِلات على تراكيز الأنواع الخاصّة بكل منها.
   d. تُضرَب المُعاملات في تراكيز الأنواع الخاصّة بكل منها.

8. أي مما يأتي ينطبق على تعبير ثابت الاتّزان لنظام تكون جميع مكوّناته هي موادّ غازيّة؟
   a. يمكن استخدام التراكيز المولية فقط، ويجب استخدام الوحدة mol/L.
   b. يمكن استعمال الضغط الجُزئي بوحدات الضغط الجوي أو التركيز بوحدة mol/L.
   c. يمكن استخدام الضغوط الجُزئية فقط، ويجب استخدام وحدات الضغط الجوي.
   d. يمكن استخدام الضغوط الجُزئية فقط، ولكن يمكن أن تكون الوحدة بأي من وحدات الضغط.

9. إلامَ يُشير ثابت الاتّزان ذو القيمة الصغيرة؟
   a. [المُتفاعِلات] < [النواتج]
   b. [المُتفاعِلات] > [النواتج]
   c. [المُتفاعِلات] = [النواتج]
   d. التفاعُل الطردي قريب من الاكتمال.

10. أيٌّ ممّا يأتي هو القاعدة المُرافِقة لـ $(HC_2O_4^-)$؟
   a. $C_2O_4^{2-}$
   b. HC_2O_4
   c. $H_2C_2O_4$
   d. $HC_2O_4^{2-}$

11. أيٌّ من مجموعات الجُسيمات الآتية توجد جميعها في الماء النقي؟
   a. OH^- و H_2O
   b. H^+ و OH^-
   c. H_2O و H^+
   d. H_2O و H^+ و OH^-

12. أيٌّ مما يأتي ينطبق على K_w الماء؟
   a. $K_w = [H^+] \times [OH^-]$ وتتغيَّر قيمته مع تغيُّر درجة الحرارة.
   b. $K_w = [H^+] \div [OH^-]$ وتتغيَّر قيمته مع تغيُّر درجة الحرارة.
   c. $K_w = [H^+] \div [OH^-]$ وقيمته تبقى ثابتة مهما اختلفت درجة الحرارة.
   d. $K_w = [H^+] \times [OH^-]$ وقيمته تبقى ثابتة مهما اختلفت درجة الحرارة.

13. أيٌّ مما يأتي يمثل قيمة pH لمحلول حمض HBr تركيزه 6×10^{-5} M؟
   a. 4.2
   b. 4.5
   c. 5.8
   d. 9.8

14. ما نوع المحلول الذي يتكوَّن عند تعادُل حمض ضعيف مع قاعدة قوية؟
   a. قاعدي
   b. حمضي
   c. مُتعادِل
   d. نوع المحلول يعتمد على قيمة K_b و K_a.

15. أيٌّ ممّا يأتي هو الشكل الحمضي لمُعادلة هندرسون-هاسلبالش؟
   a. $pH = pK_a \times \log_{10}$ [حمض ضعيف] / [قاعدة مُرافقة]
   b. $pH = pK_a \times \log_{10}$ [قاعدة مُرافقة] / [حمض ضعيف]
   c. $pH = pK_a + \log_{10}$ [حمض ضعيف] / [قاعدة مُرافقة]
   d. $pH = pK_a + \log_{10}$ [قاعدة مُرافقة] / [حمض ضعيف]

16. صِفْ، من حيث كمّيات الموادّ المتفاعلة والناتجة، ما تعنيه إزاحة موضع الاتّزان نحو اليمين.

17. وصل خليط من H_2 و Br_2 إلى حالة اتّزان بحسب المُعادلة الكيميائية الآتية:

$H_{2(g)} + Br_{2(g)} \rightleftarrows 2\,HBr_{(g)}$. أُضيف إلى وعاء التفاعُل في البداية 0.340 M من H_2 و0.220 M من Br_2 . إذا وُجد أن تركيز H_2 عند الاتّزان قد بلغ 0.140 M، احسب K_c .

18. تُبيّن المُعادلة الكيميائية التفاعُل الانعكاسي الآتي: $CO_{2(g)} + H_{2(g)} \rightleftarrows CO_{(g)} + H_2O_{(g)}$.

احتوى وعاء التفاعُل في البداية على خليط من الضغوط الجُزئية الآتية: 4.10 atm من غاز ثاني أكسيد الكربون، و2.05 atm من غاز H_2، و 3.28 atm من بُخار الماء. و 1.04 atm من غاز CO. احسب K_p إذا وُجد أن الضغط الجُزئي لبُخار الماء عند الاتّزان يساوي 3.51 atm .

19. ثابت الاتّزان للتفاعُل المُبيّن بالمُعادلة الكيميائية الآتية: $2IBr_{(g)} \rightleftarrows I_{2(g)} + Br_{2(g)}$ يساوي $K_c = 280$ عند درجة الحرارة 150°C. إذا احتوى وعاء التفاعُل ذو الحجم 1.00 L على كمّية ابتدائية من 0.500 mol من IBr، احسب تراكيز الموادّ جميعها عند الاتّزان.

20. اكتب تعبير K_p للتفاعُل المُمثَّل بالمُعادلة الآتية :

$$6CO_{2(g)} + 6\,H_2O_{(l)} \rightleftarrows C_6H_{12}O_{6(s)} + 6\,O_{2(g)}$$

21. مُعادَلة حالة الاتّزان التي تكوَّنت عند تشكُّل HI من عناصر مُعطاة كالآتي: $H_{2(g)} + I_{2(g)} \rightleftarrows 2\,HI_{(g)}$.
تمّ ملء وعاء تفاعُل حجمه 1 L بكمّية من غاز $H_{2(g)}$ مقدارها 0.50 moles، وكمّية من غاز $I_{2(g)}$ مقدارها 0.50 moles. احسب قيمة K_c إذا تمّ قياس تركيز الاتّزان لغاز $H_{2(g)}$، وكانت تساوي 0.11 M.

22. إذا أُعطيت المُعادَلة الآتية: $2\,NO_{(g)} + Br_{2(g)} \rightleftarrows 2\,NOBr_{(g)}$. وتمّ ملء وعاء التفاعُل بغاز $NO_{(g)}$ ضغطه 0.400 atm، وغاز $Br_{2(g)}$ ضغطه 0.200 atm، وإذا تمّ قياس قيمة الضغط الجزئي لحالة الاتّزان لغاز $NOBr_{(g)}$ وكانت تساوي 0.240 atm، احسب قيمة K_p.

23. احسب قيمة ثابت الإتزان K_p لحالة الاتّزان الآتية عند درجة حرارة 500 K:

$$SO_2C\ell_{2(g)} \rightleftarrows SO_{2(g)} + C\ell_{2(g)}$$

إذا كان وعاء التفاعُل يحتوي في البداية على $SO_2C\ell_{2(g)}$ فقط عند ضغط جُزئي يساوي 0.444 atm، وأصبح الضغط الجُزئي عند الاتّزان لكلتا المادَّتَين الناتجتَين 0.00233 atm .

24. اذكر إن كانت كل قيمة من قيَم ثوابت الاتّزان الآتية، تُشير إلى تفاعُل يحدث له ازاحة الى اليسار، أو نحو اليمين، أو لا يحدث له أيُّ ازاحة .

a. 2.8×10^{-9}

b. 1.0×10^{34}

c. 7.7×10^{1}

d. 6.1×10^{-11}

e. 8.3×10^{15}

25. بالنظر إلى المُعادلة:

$$CO_{(g)} + C\ell_{2(g)} \rightleftharpoons COC\ell_{2(g)}$$

إلى أيّ اتّجاه يُزاح موضع الاتّزان في النظام إذا تم سحب غاز الكلور ($C\ell_2$) منه؟ وماذا سيحدث لتركيز غاز أول أكسيد الكربون في هذه الحالة؟

26. في نظام مُتَّزن مُبيَّن بالمُعادلة الكيميائية الآتية: $PC\ell_{5(g)} + 87.9\ kJ \rightleftharpoons PC\ell_{3(g)} + C\ell_{2(g)}$،
ما هو اتّجاه إزاحة موضع الاتّزان إذا:

a. انخفضت درجة الحرارة.

b. أُضيفت كمّية من غاز $C\ell_2$ إلى النظام.

c. سُحبت كمّية من $PC\ell_3$ من النظام.

d. ازداد حجم النظام.

27. إذا أُضيف فلز النيكل (Ni) إلى الاتّزان الآتي: $Ni(CO)_{4(aq)} \rightleftharpoons Ni_{(s)} + 4\ CO_{(g)}$، فما اتّجاه إزاحة موضع الاتّزان؟ وماذا سيحدث لتركيز غاز أوّل أكسيد الكربون (CO)؟

28. في النظام المتّزن المُبيَّن في المُعادلة الآتية: $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2\ NO_{(g)}$، ما اتّجاه إزاحة موضع الاتّزان إذا ازداد حجم الوعاء؟ ما الذي سيحدث لتركيز غاز النيتروجين N_2؟

29. عرّف حمض برونستيد - لوري وقاعدته.

30. ما هما الحمض والقاعدة المُرافِقان للماء؟

31. مستخدمًا المُعادلة الآتية: $HCHO_{2(aq)} + PO_4^{3-}{}_{(aq)} \rightleftharpoons CHO_2^-{}_{(aq)} + HPO_4^{2-}{}_{(aq)}$، حدّد أحماض برونستيد-لوري وقواعده في التفاعُل الطردي والتفاعُل العكسي، ثم حدّد مجموعتَيْن من الأزواج المترافقة.

32. يُعدّ أيون الكبريتات الهيدروجينية HSO_4^- أيونًا أمفوتيريًّا.

a. اكتب صيغة الحمض المُرافِق الخاص به.

b. اكتب صيغة قاعدته المُرافِقة.

33. إذا أعطيَت التفاعُل الانعكاسي الآتي: $NH_3 + H_2S \rightleftharpoons NH_4^+ + HS^-$

a. حدّد أحماض برونستيد-لوري وقواعده في التفاعُل الطردي والتفاعُل العكسي.

b. حدّد مجموعتَين من الأزواج المترافقة.

34. احسب الرقم الهيدروجيني pH لمحلول 0.00061 M من حمض الهيدروكلوريك ($HC\ell$) القوي.

35. كم يبلغ تركيز أيون الهيدروكسيد (OH^-) لمحلول إذا كان تركيز أيون الهيدروجين فيه 2.7×10^{-1} M؟

36. كم يبلغ الرقم الهيدروجيني لمحلول فينول (HC_6H_5O) تركيزه 0.037 M، إذا علمت أن قيمة ثابت اتّزان الحمض K_a للفينول يساوي 1.3×10^{-10} .

37. ما الرقم الهيدروجيني لمحلول هيدروكسيل أمين (القاعدة الضعيفة) ($HONH_2$) تركيزه 0.07 M؟ ثابت اتّزان القاعدة : $K_b = 1.1 \times 10^{-8}$.

38. كم تبلغ pK_a التقريبية لدليل ما إذا تم اختياره لتحديد نقطة التكافؤ في عملية مُعايَرة، علمًا بأن الرقم الهيدروجيني عند نقطة التعادُل يساوي $pH = 4.75$؟

39. احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول مُنظّم يتكوَّن من HF (0.20 M) وNaF (0.43 M). pK_a لـ HF يبلغ 3.17.

40. احسب الرقم الهيدروجيني لمحلول تركيزه 0.094 M من ثلاثي ميثيل أمين قاعدة ضعيفة، $(CH_3)_3N$ و0.017 M من حمضها المُرافِق. ثابت الاتّزان K_b لثلاثي ميثيل أمين يساوي 6.4×10^{-5}.

41. ما هو الحمض وقاعدته المُرافِقة اللذان يشكّلان نظام المحلول المُنظّم في دم الإنسان؟

44. محلول منظم يتكون من حمض البروبانويك CH_3CH_2COOH تركيزه 0.09M وبروبانوات الصوديوم CH_3CH_2COONa تركيزه 0.29M احسب الرقم الهيدروجيني لهذا المحلول، إذا علمت أن K_a حمض البروبانويك يبلغ 1.3×10^{-5}.