@Grade11UAE

الاتزان الكيميائي

4-1 حالة الاتزان الديناميكي

الصفحات 120 - 132

مسائل تدريبية

الصفحات 127 - 131

1. اكتب تعابير ثابت الاتزان للمعادلات الآتية:

a. $N_2O_4\,(g) \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$

$$K_{eq} = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

b. $2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons 2H_{2(g)} + S_{2(g)}$

$$K_{eq} = \frac{[H_2]^2[S_2]}{[H_2S]^2}$$

c. $CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3}$$

d. $4NH_{3(g)} + 5O_{2(g)} \rightleftharpoons 4NO_{(g)} + 6H_2O_{(g)}$

$$K_{eq} = \frac{[NO]^4[H_2O]^6}{[NH_3]^4[O_2]^5}$$

e. $CH_{4(g)} + 2H_2S_{(g)} \rightleftharpoons CS_{2(g)} + 4H_{2(g)}$

$$K_{eq} = \frac{[CS_2][H_2]^4}{[CH_4][H_2S]^2}$$

2. تحفيز اكتب المعادلة الكيميائية التي تُمثِّل تعبير ثابت الاتزان الآتي:

$$K_{eq} = \frac{[CO]^2[O_2]}{[CO_2]^2}$$

$$\mathbf{2CO_{2(g)} \rightleftharpoons 2CO_{(g)} + O_{2(g)}}$$

3. اكتب تعبير ثابت الاتزان غير المتجانس لكلٍّ ممّا يلي:

a. $C_{10}H_{8(s)} \rightleftharpoons C_{10}H_{8(g)}$

$$K_{eq} = [C_{10}H_{8(g)}]$$

b. $H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2O_{(g)}$

$$K_{eq} = [H_2O_{(g)}]$$

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

$$K_{eq} = [CO_{2(g)}]$$

d. $C_{(s)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + H_{2(g)}$

$$K_{eq} = \frac{[CO_{(g)}][H_{2(g)}]}{[H_2O_{(g)}]}$$

e. $FeO_{(s)} + CO_{(g)} \rightleftharpoons Fe_{(s)} + CO_{2(g)}$

$$K_{eq} = \frac{[CO_{2(g)}]}{[CO_{(g)}]}$$

4. **تحفيز** يتفاعل الحديد الصُّلب مع غاز الكلور لتكوين كلوريد الحديدIII $FeCl_3$. اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل.

$$\mathbf{2Fe_{(s)} + 3Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 2FeCl_{3(s)}}$$

$$K_{eq} = \frac{1}{[Cl_2]^3}$$

5. احسب قيمة K_{eq} للاتزان:

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

إذا علمت أن:

$[N_2O_4] = 0.0185\ mol/L,$

$[NO_2] = 0.0627\ mol/L$

$$K_{eq} = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{(0.0627)^2}{(0.0185)} = 0.213$$

6. احسب قيمة K_{eq} للاتزان

$$CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_{4(g)} + H_2O_{(g)}$$

إذا علمت أن:

$[CO] = 0.0613\ mol/L,$

$[H_2] = 0.1839\ mol/L,$

$[CH_4] = 0.0387\ mol/L,$

$[H_2O] = 0.0387\ mol/L$

$$K_{eq} = \frac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3} = \frac{(0.0387)(0.0387)}{(0.0613)(0.1839)^3} = 3.93$$

www.almanahj.com

7. **تحفيز** يصل التفاعل $COCl_{2(g)} \rightleftharpoons CO_{(g)} + Cl_{2(g)}$ إلى حالة الاتـزان عند درجة حرارة 900 K، فـإذا كان تركيز كلٍّ من CO و Cl_2 هو 0.150 M عند الاتزان، فما تركيز $COCl_2$ ؟ علمًا أن ثابت الاتزان K_{eq} عند درجة الحرارة نفسها يساوي 8.2×10^{-2}.

$$\frac{[CO][Cl_2]}{[COCl_2]} = 8.2\times10^{-2}$$

$$\frac{(0.150)(0.150)}{[COCl_2]} = 8.2\times10^{-2}$$

$$[COCl_2] = \frac{(0.150)(0.150)}{(8.2\times10^{-2})} = 0.27\ M$$

التقويم 4-1

الصفحة 132

8. فسر كيف ترتبط قيمة ثابت الاتزان مع كمية النواتج K_{eq}؟

كلما زادت قيمة ثابت الاتزان، زادت كمية المواد الناتجة المتكوِّنة عند الاتزان.

9. قارن بين الاتزان المتجانس والاتزان غير المتجانس.

في حالة الاتزان المتجانس، تكون جميع المواد المتفاعلة والناتجة في الحالة الفيزيائية نفسها، في حين تكون في حالات فيزيائية مختلفة في حالة الاتزان غير المتجانس.

10. عدِّد ثلاث خواص يجب أن توجد في خليط تفاعل ليصل إلى حالة اتزان.

للوصول إلى حالة الاتزان، يجب أن يكون مزيج التفاعل في وعاء مغلق، وعند درجة حرارة ثابتة، وأن تتواجد المواد المتفاعلة والناتجة جميعها في الوعاء نفسه.

11. احسب قيمة K_{eq} عند درجة حرارة 400 K للتفاعل الآتي:

$$PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)}$$

إذا علمت أنّ:

$[PCl_5] = 0.135\ mol/L, [PCl_3] = 0.550\ mol/L,$
$[Cl_2] = 0.550\ mol/L$

$$K_{eq} = \frac{[PCl_3][Cl_2]}{[PCl_5]}$$

$$K_{eq} = \frac{(0.550)(0.550)}{(0.135)} = 2.24$$

12. **فسِّر البيانات** يوضِّح الجدول الآتي قيم ثابت الاتزان عند ثلاث درجات حرارة مختلفة. في أيٍّ منها يكون تركيز النواتج أكبر؟ فسِّر إجابتك.

ثابت الاتزان ودرجات الحرارة		
373 K	273 K	263 K
4.500	0.500	0.0250

373k، بما أن المواد الناتجة تكون في بسط المعادلة. لذا، فكلما زادت قيمة K_{eq}، زاد تركيز المواد الناتجة.

4-2 العوامل المؤثِّرة في الاتزان الكيميائي

الصفحات 133 – 139

www.almanahj.com

التقويم 4-2

الصفحة 139

13. فسر كيف يستجيب النظام في حالة الاتزان إلى الجهد؟ واذكر العوامل التي تؤثِّر في نظام متَّزن.

يمكن أن يتحوَّل الاتزان نحو الاتجاه الذي يقلِّل من أثر التغيّرات ومعدّلها. ومن العوامل التي يمكن أن تؤثِّر في الاتزان: التغيّر في التركيز، والضغط (أو الحجم)، ودرجة الحرارة.

14. فسر كيف يؤثِّر تقليل حجم وعاء التفاعل في كلّ نظام اتزان ممّا يأتي؟

a. $2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)}$

ينزاح الاتزان نحو اليمين.

b. $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 2HCl_{(g)}$

ليس له أيّ تأثير في الاتزان.

15. قرِّر ما إذا كان رفع درجة الحرارة أو خفضها يُنتِج المزيد من CH_3CHO في معادلة الاتزان الآتية:
$C_2H_{2(g)} + H_2O_{(g)} \rightleftharpoons CH_3CHO_{(g)} \quad \Delta H^\circ = -151\ kJ$

قيمة ΔH° سالبة. لذا يُعدّ التفاعل طاردًا للطاقة، وانطلقت الحرارة على صورة نواتج، ويؤدي تناقص النواتج (خفض درجات الحرارة) انزياح التفاعل نحو اليمين لإنتاج مزيدٍ من المواد الناتجة. لذا، سيَنتُج مزيدٌ من CH_3CHO عند درجات الحرارة المنخفضة.

16. وضح يُظهِر الجدول تراكيز مادتين A وB في خليطي تفاعل، يتفاعلان حسب المعادلة $2A \rightleftharpoons B$ و$K_{eq} = 200$. هل المزيجان عند موضعي اتزان مختلفين؟

التركيز mol/L		
تفاعل	[A]	[B]
1	0.0100	0.0200
2	0.0500	0.400

التفاعل 1:

$$\frac{[B]}{[A]^2} = \frac{(0.0200)}{(0.0100)^2} = 200$$

التفاعل 2:

$$\frac{[B]}{[A]^2} = \frac{(0.500)}{(0.0500)^2} = 200$$

المزيجان عند موضع الاتزان نفسه.

17. صمِّم خريطة مفاهيمية توضِّح طرائق تطبيق مبدأ لوتشاتلييه لزيادة النواتج في نظام اتزان وزيادة المتفاعلات في النظام نفسه.

يجب أن تُظهِر خريطة المفاهيم أن تركيز المواد الناتجة تزداد بازدياد تركيز المواد المتفاعلة، أو بإزالة (أو تقليل) النواتج، أو برفع درجة الحرارة أو تخفيضها؛ اعتمادًا على كون التفاعل ماصًّا أو طاردًا للحرارة.

3- 4 استعمال ثوابت الاتزان

الصفحات 140 - 150

مسائل تدريبية

الصفحات 141 - 148

18. يَنتُج الميثانول عن تفاعل أول أكسيد الكربون مع الهيدروجين: $CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)}$، فإذا كان $K_{eq} = 10.5$ عند درجة حرارة محدَّدة، فاحسب التراكيز الآتية:

a. [CO] في خليط اتزان يحتوي على $0.933\ mol/L\ H_2$ و$1.32\ mol/L\ CH_3OH$

$$K_{eq} = \frac{[CH_3OH]}{[CO][H_2]^2}$$

$$10.5 = \frac{(1.32)}{[CO](0.933)^2}$$

$$[CO] = 0.144\ M$$

b. $[H_2]$ في خليط اتزان يحتوي على $1.09\ mol/L\ CO$ و$0.325\ mol/L\ CH_3OH$

$$K_{eq} = \frac{[CH_3OH]}{[CO][H_2]^2}$$

$$10.5 = \frac{(0.325)}{(1.09)[H_2]^2}$$

$$[H_2] = 0.169\ M$$

c. $[CH_3OH]$ في خليط اتزان يحتوي على $0.0661\ mol/L\ H_2$ و$3.85\ mol/L\ CO$

$$K_{eq} = \frac{[CH_3OH]}{[CO][H_2]^2}$$

$$10.5 = \frac{[CH_3OH]}{(3.85)(0.0661)^2}$$

$$[CH_3OH] = (10.5)(3.85)(0.0661)^2 = 0.177\ M$$

www.almanahj.com

19. **تحفيز** في التفاعل العام $A+B \rightleftharpoons C+D$، إذا سُمح لـ 1.0 mol/L من A بالتفاعل مع 1.0 mol/L من B في دورق حجمه 1 L إلى أن يصلا إلى حالة اتزان. فإذا كان تركيز A عند الاتزان 0.450 mol/L، فما تراكيز المواد الأخرى عند الاتزان؟ وما قيمة K_{eq}؟

استنادًا إلى الحسابات الكيميائية للمعادلة، فإن تركيز B يساوي: 0.450 M، في حين إن تركيز كلٍّ من C، وD يساوي: $1.00 - 0.450 = 0.550$ M.

$$K_{eq} = \frac{(0.550)(0.550)}{(0.450)(0.450)} = 1.49$$

20. استعمِل البيانات في **الجدول 3–4** لحساب الذائبية المولارية للمركّبات الأيونية الآتية عند درجة حرارة 298 K.

اكتب المعادلة الموزونة لكلّ تفاعل، ثُمّ احسب المولارية:

a. $PbCrO_4$

$$PbCrO_{4(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}{}_{(aq)} + CrO_4{}^{2-}{}_{(aq)}$$

s mol/L s mol/L s mol/L

$$K_{sp} = [Pb^{2+}][CrO_4{}^{2-}]$$

$$2.33\times10^{-13} = (s)(s) = s^2$$

$$s = \sqrt{2.33\times10^{-13}} = 4.8\times10^{-7}\,M$$

b. AgCl

$$AgCl_{(s)} \rightleftharpoons Ag^{+}{}_{(aq)} + Cl^{-}{}_{(aq)}$$

s mol/L s mol/L s mol/L

$$K_{sp} = [Ag^+][Cl^-]$$

$$1.8\times10^{-10} = (s)(s) = s^2$$

$$s = \sqrt{1.8\times10^{-10}} = 1.3\times10^{-5}\,M$$

c. $CaCO_3$

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons Ca^{2+}{}_{(aq)} + CO_3{}^{2-}{}_{(aq)}$$

s mol/L s mol/L s mol/L

$$K_{sp} = [Ca^{2+}][CO_3{}^{2-}]$$

$$3.4\times10^{-9} = (s)(s) = s^2$$

$$s = \sqrt{3.4\times10^{-9}} = 5.8\times10^{-5}\,M$$

21. **تحفيز** إذا علمت أن K_{sp} لكربونات الرصاص $PbCO_3$ يساوي 7.40×10^{-14} عند 298 K، فما ذائبية كربونات الرصاص g/L؟

$$K_{sp} = [Pb^{2+}][CO_3{}^{2-}] = 7.40\times10^{-14}$$

$$(s)(s) = 7.40\times10^{-14}$$

$$s = \sqrt{7.40\times10^{-14}} = 2.72\times10^{-7}\,M$$

$$s = 2.72\times10^{-7}\,mol/L \times 267.2\,g/mol$$

$$= 7.27\times10^{-5}\,g/L$$

22. استعمِل قيم K_{sp} الموجودة في **الجدول 3–4** لحساب:

a. $[Ag^+]$ في محلول AgBr عند الاتزان.

$$AgBr_{(s)} \rightleftharpoons Ag^{+}{}_{(aq)} + Br^{-}{}_{(aq)}$$

s mol/L s mol/L s mol/L

$$K_{sp} = [Ag^+][Br^-]$$

$$5.4\times10^{-13} = (s)(s) = s^2$$

$$s = \sqrt{5.4\times10^{-13}}$$

$$= 7.3\times10^{-7}\,M = [Ag^+]$$

b. $[F^-]$ في محلول مشبع من CaF_2.

$$CaF_{2(s)} \rightleftharpoons Ca^{2+}{}_{(aq)} + 2F^{-}{}_{(aq)}$$

s mol/L s mol/L 2s mol/L

$$s = \frac{1}{2}[F^-]$$

$$K_{sp} = [Ca^{2+}][F^-]^2$$

$$3.5\times10^{-11} = (s)(2s)^2 = 4s^3$$

$$s = \sqrt[3]{\frac{3.5\times10^{-11}}{4}}$$

$$= 2.1\times10^{-4}\,M$$

$$\frac{1}{2}[F^-] = 2.1\times10^{-4}\,M$$

$$[F^-] = 4.2\times10^{-4}\,M$$

www.almanahj.com

c. $[Ag^+]$ في محلول من Ag_2CrO_4 عند الاتزان.

$$Ag_2CrO_{4(s)} \rightleftharpoons 2Ag^+_{(aq)} + CrO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

$$s\ mol/L \quad 2s\ mol/L \quad s\ mol/L$$

$$s = \frac{1}{2}[Ag^+]$$

$$K_{sp} = [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}]$$

$$1.1\times10^{-12} = (2s)^2(s) = 4s^3$$

$$s = \sqrt[3]{\frac{1.1\times10^{-12}}{4}}$$

$$= 6.5\times10^{-5}\,M$$

$$\frac{1}{2}[Ag^+] = 6.5\times10^{-5}\,M$$

$$[Ag^+] = 1.3\times10^{-4}\,M$$

23. احسب ذائبية Ag_3PO_4.

$$K_{sp} = [Ag^+]^3[PO_4^{3-}] = 2.6\times10^{-18}$$

$$[PO_4^{3-}] = s,\ [Ag^+] = 3s$$

$$(3s)^3(s) = (27s^3)(s) = 27s^4 = 2.6\times10^{-18}$$

$$s = \sqrt[4]{\frac{2.6\times10^{-18}}{27}} = 1.8\times10^{-5}\ mol/L$$

24. **تحفيز** ذائبية كلوريد الفضة $(AgCl) = 1.86\times10^{-4}$ g/100 g في الماء عند درجة حرارة 298 K. احسب K_{sp} لـ AgCl.

$$s = \frac{1.86\times10^{-4}\ g}{100\ g\ H_2O}\times\frac{1000\ g\ H_2O}{1\ L}$$

$$= 1.86\times10^{-3}\ g/L$$

$$s = \frac{1.86\times10^{-3}\ g}{1\ L}\times\frac{1\ mol}{143.4\ g} = 1.30\times10^{-5}\ mol/L$$

$$K_{sp} = [Ag^+][Cl^-] = (s)(s)$$

$$K_{sp} = (1.30\times10^{-5}\ mol/L)(1.30\times10^{-5}\ mol/L)$$

$$= 1.7\times10^{-10}$$

25. استعمِل قيم K_{sp} من **الجدول 3–4** لتتوقَّع هل سيتكوَّن راسب عند خلط كميات متساوية من المحاليل الآتية أم لا:

a. 0.030 M NaF و 0.10 M $Pb(NO_3)_2$

$$PbF_{2(s)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + 2F^-_{(aq)}$$

$$Q_{sp} = [Pb^{2+}][F^-]^2 = (0.050\ M)(0.015\ M)^2$$

$$= 1.12\times10^{-5}$$

$$K_{sp} = 3.3\times10^{-8}$$

$K_{sp} < Q_{sp}$؛ لأن: سيتكوَّن راسب من PbF_2

b. 0.010 M $AgNO_3$ و 0.25 M K_2SO_4

$$Ag_2SO_{4(s)} \rightleftharpoons 2Ag^+_{(aq)} + SO_4^{2-}{}_{(aq)}$$

$$Q_{sp} = [Ag^+]^2[SO_4^{2-}] = (0.0050\ M)^2(0.125\ M)$$

$$= 3.1\times10^{-6}$$

$$K_{sp} = 1.2\times10^{-5}$$

$K_{sp} > Q_{sp}$؛ لأن: لن يتكوَّن راسب من Ag_2SO_4

26. **تحفيز** هل يتكوَّن راسب عند إضافة 250 mL من 0.20 M $MgCl_2$ إلى 750 mL من 0.0025 M NaOH؟

احسب تراكيز كلٍّ من Mg^+، وOH^-، ثُمّ احسب Q_{sp} وقارنه بـ K_{sp}:

$$[Mg^{2+}] = 0.20\ M\times\frac{250\ mL}{1000\ mL} = 0.050\ M$$

$$[OH^-] = 0.0025\ M\times\frac{750\ mL}{1000\ mL} = 0.0019\ M$$

$$Q_{sp} = [Mg^{2+}][OH^-]^2 = (0.050\ M)(0.0019\ M)^2$$

$$= 1.8\times10^{-7}$$

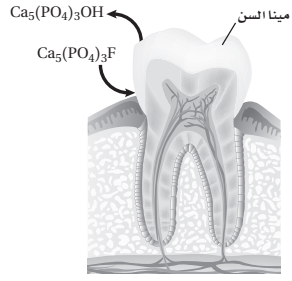
$$K_{sp} = 5.6\times10^{-12}$$

$K_{sp} < Q_{sp}$؛ لأن: سيتكوَّن راسب

www.almanahj.com

مختبر حل المشكلات

الصفحة 150



التفكير الناقد

1. **اكتب** معادلة ذوبان هيدروكسي الأباتيت وتعبير ثابت الاتزان له. كيف تختلف الظروف في الفم عن الظروف في الاتزان الفعلي؟

$$Ca_5(PO_4)_3OH_{(s)} \rightleftharpoons 5Ca^{2+}_{(aq)} + 3PO_4^{3-}{}_{(aq)} + OH^-_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Ca^{2+}]^5[PO_4^{3-}]^3[OH^-]$$

لا يُعدّ الفم نظامًا مغلقًا؛ وذلك لأن اللعاب يُنتَج ويُبلَع بانتظام.

2. **اكتب** معادلة تصف تفاعل الإحلال المزدوج الذي يحدث بين هيدروكسي الأباتيت وفلوريد الصوديوم.

$$Ca_5(PO_4)_3OH + NaF \rightleftharpoons NaOH + Ca_5(PO_4)_3F$$

3. **احسب** ذائبية هيدروكسي الأباتيت والفلوروأباتيت في الماء، ثُمّ قارن ذائبيتها.

بالنسبة إلى هيدروكسي الأباتيت:

افترض أن: (الذائبية)$s = [OH^-]$، عندئذٍ:

$$[Ca^{2+}] = 5s,\ [PO_4^{3-}] = 3s$$

$$K_{sp} = [Ca^{2+}]^5[PO_4^{3-}]^3[OH^-] = 6.8\times10^{-37}$$

$$\text{ذائبية } Ca_5(PO_4)_3OH = (5s)^5(3s)^3(s) = 6.8\times10^{-37}$$

$$84{,}375\ s^9 = 6.8\times10^{-37}$$

$$s = \sqrt[9]{\frac{6.8\times10^{-37}}{84375}} = 2.7\times10^{-5}\,M$$

$$\text{ذائبية } Ca_5(PO_4)_3OH = 2.7\times10^{-5}\,M$$

بالنسبة إلى الفلوروأباتيت:

$$(5s)^5(3s)^3(s) = 1\times10^{-60}$$

$$84374s^9 = 1\times10^{-60}$$

$$s = \sqrt[9]{\frac{1\times10^{-60}}{84375}} = 6\times10^{-8}\,M$$

$$\text{ذائبية } Ca_5(PO_4)_3F = 6\times10^{-8}\,M$$

$$\frac{2.7\times10^{-5}\,M}{6\times10^{-8}\,M} = 450$$

ذائبية هيدروكسي الأباتيت أكبر بـ 450 مرّة من ذائبية الفلوروأباتيت.

www.almanahj.com

التقويم 3-4

الصفحة 150

27. **اكتب** المعلومات التي تحتاج إليها لحساب تركيز ناتج في خليط التفاعل عند الاتزان.

سنحتاج إلى: تراكيز المتفاعلات، وتراكيز النواتج جميعها، و K_{sp}.

28. **فسر** كيف تَستخدِم ثابت حاصل الذائبية في حساب ذائبية مركّب أيوني قليل الذوبان؟

اكتب معادلة التفاعل عند الاتزان وتعبير ثابت حاصل الذوبان؛ لتساوي قيمة s الذائبية المولية للمركّب. واستبدل مضاعفات s المناسبة في تعبير ثابت حاصل الذوبان، ثُمّ جِد قيمة s.

29. **صف** كيف يُقلِّل وجود الأيون المشترك ذائبية المركّب الأيوني؟

يقلّل الأيون المشترك الذائبية بتحويل اتجاه الاتزان نحو المادة الصُلبة الراسبة.

30. وضِّح الفرق بين K_{sp} وQ_{sp}. وهل يُعدّ Q_{sp} ثابت اتزان؟

يُعدّ Q_{sp} حاصل ضرب تراكيز الأيونات التي يمكن أن تكون موجودة في محلول مركّب أيوني. وتُقاس قيمته للمقارنة بقيمة K_{sp} التي تُعبِّر عن حاصل ضرب تراكيز الأيونات الموجودة فعليًا في محلول مشبع. حيث يُعدّ K_{sp} ثابت الاتزان، في حين لا يُعدّ Q_{sp} ثابت اتزان.

31. احسب ذائبية كربونات الماغنسيوم $MgCO_3$ في الماء النقي إذا كان K_{sp} يساوي 2.6×10^{-9} .

$$[Mg^{2+}][CO_3^{2-}] = 2.6\times10^{-9}$$

$$s^2 = 2.6\times10^{-9}$$

$$s = \sqrt{2.6\times10^{-9}} = 5.1\times10^{-5}\,M$$

32. صمِّم تجربة اعتمادًا على الذائبية لتوضِّح أيّ الأيونين Mg^{2+} أو Pb^{2+} يوجد في محلول مائي.

بما أن كرومات الماغنسيوم ذائبة، وكرومات الرصاص غير ذائبة. لذا، أضف 10.0 mL من محلول كرومات البوتاسيوم تركيزه 0.10 M إلى 100.0mL من محلول مائي غير معروف. فإذا احتوى المحلول المجهول على أيون الماغنسيوم، فلن يتكوَّن راسب من $MgCrO_4$. أمّا إذا احتوى المحلول المجهول على أيون الرصاص II فسوف تترسّب الصُّلبة الصفراء اللون $PbCrO_4$.

الكيمياء والصحة

الكتابة في الكيمياء

ابحث عن أزمة الاختناق عند النوم، كيف يمكن أن يؤثِّر حدوث الاختناق في اتزان هيموجلوبين الجسم؟ للمزيد من المعلومات عن الهيموجلوبين ووظيفته في جسم الإنسان ارجع إلى الموقع www.obeikaneducation.com

قد يؤدي انقطاع التنفس في أثناء النوم إلى تقليل كمية الأكسجين في الرئتين. ويحدث الأثر نفسه الناتج عن التنفس في هواء الجبال المرتفعة. ويسبِّب الاتزانُ إنتاجَ الأكسجين بمعدل مرتفع ممّا يدفع جزيئات الأكسجين إلى البقاء في الرئتين فيؤدي ذلك إلى خروج الدم حاملًا معه كميات قليلة من الأكسجين. ويؤدي التركيز المنخفض لأكسجين هيموجلوبين الدم المؤكسَد إلى تحرير كمية أقلّ من جزيئات الأكسجين في الأجزاء الأخرى من الجسم؛ ونتيجة لذلك ستَنتُج طاقة أقلّ تؤدي إلى شعور الشخص بالإعياء والتعب.

الفصل 4 مراجعة الفصل

الصفحات 157 - 154

4-1

إتقان المفاهيم

33. صف حالة اتزان تحدث في الحياة اليومية بين عمليتين متعاكستين.

يمكن أن تشمل الحالات مجموعة المركَبات التي تعبُر الجسر ذهابًا وإيابًا، وركوب دراجة هوائية، والتوازن على لعبة السيسو، والتوازن بالوقوف على اليدين، وغيرها.

34. إذا قيل لك إن تراكيز المتفاعلات والنواتج لا تتغيّر فلماذا تُستعمَل كلمة ديناميكي لوصف الاتزان الكيميائي؟

تستمر المتفاعلات في إنتاج النواتج، وتستمر النواتج في إنتاج المتفاعلات.

35. هل تُمثِّل المعادلة الآتية اتزانًا متجانسًا أم غير متجانس؟ فسِّر إجابتك: $H_2O_{(s)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)}$

تُمثِّل المعادلة اتزانًا غير متجانس؛ لأن المتفاعلات والنواتج متمثِّلة في أكثر من حالة فيزيائية.

36. ما المقصود بموضع الاتزان؟

موضع الاتزان مجموعة محدَّدة من تراكيز الاتزان.

37. وضِّح كيفية كتابة تعبير ثابت اتزان.

نسبة تراكيز النواتج إلى نسبة تراكيز المتفاعلات مع كلّ تركيز مرفوع إلى قوة حسب معاملها في المعادلة الموزونة.

38. لماذا يجب أن تعير انتباهك للحالات الفيزيائية للنواتج والمتفاعلات عند كتابة تعابير ثابت الاتزان؟

تُحذَف تراكيز السوائل والمواد الصُّلبة النقية من تعبير ثابت الاتزان.

www.almanahj.com

39. لماذا تعني قيمة K_{eq} الكبيرة عدديًّا أن النواتج مفضلة في نظام الاتزان؟

تعبّر قيمة K_{sp} الكبيرة عدديًّا عن أن تراكيز النواتج الموجودة في البسط أكبر من تراكيز المتفاعلات الموجودة في المقام.

40. ماذا يحدث لـ K_{eq} لنظام متَّزن، إذا تمّ إعادة كتابة معادلة التفاعل بطريقة عكسية؟

تكون القيمة الجديدة لـ K_{eq} هي مقلوب قيمتها الأصلية.

41. كيف لنظام الاتزان أن يحتوي على كميات صغيرة وغير متغيّرة من النواتج، وفي الوقت نفسه يحتوي على كميات كبيرة من المتفاعلات؟ كيف يمكن أن تبرِّر K_{eq} لمثل هذا الاتزان؟

يحدث مثل هذا الاتزان إذا تفاعلت النواتج الأولية المتكوِّنة بسرعة لدرجة تصبح معها سرعة التفاعل العكسي مساوية لسرعة التفاعل الأمامي. ويجب أن تكون قيمة K_{eq} العددية صغيرة. ولا تتغيّر تراكيز المتفاعلات والنواتج، حيث يمرّ كلّ جزيء من المتفاعلات والنواتج بتغيّر كيميائي عندما تتساوى سرعة التفاعلين الأمامي والعكسي.

إتقان حلّ المسائل

42. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكلّ اتزان متجانس فيما يأتي:

a. $2N_2H_{4(g)} + 2NO_{2(g)} \rightleftharpoons 3N_{2(g)} + 4H_2O_{(g)}$

$$K_{eq} = \frac{[N_2]^3[H_2O]^4}{[N_2H_4]^2[NO_2]^2}$$

b. $2NbCl_{4(g)} \rightleftharpoons NbCl_{3(g)} + NbCl_{5(g)}$

$$K_{eq} = \frac{[NbCl_3][NbCl_5]}{[NbCl_4]^2}$$

43. افترض أن لديك مكعبًا من فلز المنجنيز النقي طول ضلعه 5.25cm، وكتلته تساوي 1076.6 g، فما التركيز المولاري للمنجنيز في المكعب؟

احسب حجم المكعب وحوِّله إلى وحدة L:

حجم المكعب $= (5.25\ cm)^3 = 145\ cm^3$

$$145\ \cancel{cm^3} \times \frac{1\ L}{1000\ \cancel{cm^3}} = 0.145\ L$$

الكتلة المولية للمنجنيز $= 54.94\ g/mol$

احسب عدد مولات المنجنيز:

$$1076.6\ \cancel{g\ Mn} \times \frac{1\ mol\ Mn}{54.94\ \cancel{g\ Mn}} = 19.596\ mol\ Mn$$

احسب التركيز المولاري:

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

$$\frac{19.596\ mol}{0.145\ L} = 135\ mol/L\ Mn$$

44. قيمة K_{eq} للتفاعل $A + 2B \rightleftharpoons C$ تساوي 3.63، يوضِّح **الجدول 5–4** تراكيز المتفاعلات والنواتج في خليط تفاعلين مختلفين عند درجة الحرارة نفسها. حدِّد ما إذا كان التفاعلان في حالة اتزان.

الجدول 5–4 تراكيز A وB وC

A (mol/L)	B (mol/L)	C (mol/L)
0.500	0.621	0.700
0.250	0.525	0.250

احسب K_{eq} باستعمال البيانات الواردة في الجدول أعلاه:

$$K_{eq} = \frac{[C]}{[A][B]^2} = 3.63$$

$$\frac{(0.700)}{(0.500)\ (0.621)^2} = 3.63$$

$$\frac{(0.250)}{(0.250)\ (0.525)^2} = 3.63$$

التفاعلان في حالة اتزان.

45. إذا مرَّ بخار ماء من خلال برادة حديد فسيَنتُج أكسيد الحديد III الصُّلب وغاز الهيدروجين عن التفاعل العكسي. اكتب معادلة كيميائية موزونة وتعبير ثابت الاتزان للتفاعل الذي يُنتِج أكسيد الحديد III وغاز الهيدروجين.

$$2Fe_{(s)} + 3H_2O_{(g)} \leftrightharpoons Fe_2O_{3(s)} + 3H_{2(g)}$$

$$K_{eq} = \frac{[H_2]^3}{[H_2O]^3}$$

www.almanahj.com

4-2

إتقان المفاهيم

46. ما المقصود بالشغل المبذول على تفاعلٍ ما عند الاتزان؟

التأثير الواقع على التفاعل عند الاتزان هو أيّ تغيّر في التركيز، الحجم، الضغط، أو درجة الحرارة، ويؤدي إلى إزاحة اتجاه الاتزان نحو اليمين أو اليسار.

47. كيف يصف مبدأ لوتشاتلييه استجابة الاتزان للإجهاد؟

ينصُّ مبدأ لوتشاتلييه على أن الاتزان ينزاح في الاتجاه الذي يقلّل من التأثير الواقع عليه.

48. لماذا يسبِّب إزالة المتفاعل إزاحة الاتزان نحو اليسار؟

لكي نعيد نسبة الاتزان للمتفاعلات والنواتج، ينزاح الاتزان نحو المتفاعلات.

49. عند إزاحة الاتزان نحو اليمين، ماذا يحدث لكلٍّ من:

a. تراكيز المتفاعلات

b. تراكيز النواتج

يقلّ تركيز المتفاعلات، في حين يزداد تركيز النواتج.

50. كيف يمكن للتغيّرات الآتية التأثير في موضع الاتزان للتفاعل المُستعمَل لإنتاج الميثانول من أول أكسيد الكربون والهيدروجين؟

$$CO_{(g)} + 2H_{2(g)} \rightleftharpoons CH_3OH_{(g)} + \text{حرارة}$$

a. إضافة CO

ينزاح الاتزان نحو اليمين

b. خفض درجة الحرارة

ينزاح الاتزان نحو اليمين

c. إضافة عامل محفِّز

لا ينزاح الاتزان نحو أي اتجاه.

d. إزالة CH_3OH

ينزاح الاتزان نحو اليمين

e. تقليل حجم وعاء التفاعل

ينزاح الاتزان نحو اليمين

51. **المشروبات الغازية** استعمِل مبدأ لوتشاتلييه لشرح كيف تسبِّب إزاحة الاتزان الآتي فقدانَ الشراب طعمه عند ترك غطاء القارورة مفتوحًا $H_2CO_{3(aq)} \rightleftharpoons H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$؟

بما أن $CO_{2(g)}$ يتحرَّر باستمرار فور فتح غطاء القارورة، لذا يستمر الاتزان في تغيير اتجاهه إلى اليمين إلى أن يُستنفَد $H_2CO_{3(aq)}$.

52. فسر كيف تؤثِّر زيادة درجة الحرارة في الاتزان الموضَّح في المعادلة الآتية: $PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} + \text{حرارة}$

تميل عملية التسخين إلى تفضيل التفاعل العكسي (الماصّ للحرارة) وذلك بتحويل الاتزان نحو اليسار.

53. إذا أُضيف مذيب سائل من الكلور إلى دورق يحتوي تفاعل الاتزان الآتي: $PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} + \text{حرارة}$، فكيف يتأثَّر الاتزان عند ذوبان كمية من غاز الكلور؟

يتجه الاتزان نحو اليمين لإنتاج المزيد من الكلور.

54. إذا أُعطيت التفاعلين الآتيين عند الاتزان:

a. $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$

b. $H_{2(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons 2HCl_{(g)}$

ففسِّر لماذا يسبِّب تغيّر حجم وعاء التفاعلين تغيّر موضع الاتزان لـ a ولا يؤثِّر في b؟

يختلف عدد مولات الغاز للمتفاعلات والنواتج في المعادلة a، في حين يتساوى عدد مولات الغاز على طرفي المعادلة b. فعندما يتساوى عدد مولات الغاز على طرفي المعادلة، فلن يكون لتغيُّر الحجم أيّ تأثير في الاتزان.

55. هل تتوقَّع أن تزداد أم تقلّ قيمة K_{eq} العددية عند زيادة درجة الحرارة في الاتزان الآتي؟ فسِّر إجابتك:

$$PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)} + Cl_{2(g)} + \text{حرارة}$$

ستقلّ قيمة K_{eq} العددية عندما يتحوَّل اتجاه الاتزان نحو اليسار، ويحدث امتصاص للحرارة.

www.almanahj.com

56. فسِّر كيف يمكن أن تُنظِّم الضغط لتُعزِّز تكوين النواتج في نظام الاتزان الآتي: $MgCO_{3(s)} \rightleftharpoons MgO_{(s)} + CO_{2(g)}$

يعزِّز تقليل الضغط تكوين MgO وCO_2؛ لأن الناتج الغازي يميل إلى إعادة الضغط واسترجاعه.

57. يتفاعل الإيثيلين C_2H_4 مع الهيدروجين لإنتاج الإيثان C_2H_6 وفق المعادلة: حرارة + $C_2H_{4(g)} + H_{2(g)} \rightleftharpoons C_2H_{6(g)}$

كيف يمكنك تنظيم درجة الحرارة لهذا الاتزان لكي:

a. تزيد كمية الإيثان الناتج.

خفض درجة الحرارة.

b. تُقلِّل تركيز الإيثيلين.

خفض درجة الحرارة.

c. تزيد كمية الهيدروجين في وعاء التفاعل.

رفع درجة الحرارة.

4-3 إتقان المفاهيم

58. ماذا تعني بقولك إن لدى محلولين أيونًا مشتركًا؟ اذكر مثالًا يوضِّح ذلك.

إذا كان في المحلولين أيون مشترك، فإن ذلك يعني أن كليهما يحتوي على الأيون نفسه. فمثلًا $NaCl_{(aq)}$ و $KCl_{(aq)}$ يحتويان على $Cl^-_{(aq)}$.

59. لماذا لا تُعطى بعض المركّبات مثل كلوريد الصوديوم قيم K_{sp}؟

لا تعطى المركبات الذائبة في الأغلب قيم K_{sp} لأنها ستكوِّن أعدادًا كبيرة. وبالإضافة إلى ذلك، نادرًا ما تترسّب مثل هذه المركّبات من محاليلها إلا إذا كانت تراكيز الأيونات مرتفعة بصورة كبيرة.

60. **الأشعة السينية** لماذا يُعدّ استعمال كبريتات الباريوم أفضل من كلوريد الباريوم عند التعرُّض للأشعة السينية؟ علمًا أنه عند درجة حرارة 26°C فإن 37.5 g من $BaCl_2$ يمكن أن تذوب في 100 mL من الماء.

تُعدّ أيونات الباريوم مادة سامّة للإنسان. أمّا كبريتيات الباريوم فيمكن تناولها بأمان؛ لأن ذائبيتها منخفضة جدًّا. وبسبب ذائبية كلوريد الباريوم العالية؛ فذلك يجعل تناوله غاية في الخطورة.

61. فسِّر ما يحدث في **الشكل 23–4** اعتمادًا على Q_{sp} وK_{sp}.

سيتكوَّن راسب؛ لأن $Q_{sp} > K_{sp}$.

62. صف المحلول الناتج عن خلط محلولين لهما $Q_{sp} = K_{sp}$، هل يتكوَّن راسب؟

سيكون المحلول الجديد مشبعًا، ولا يتكوَّن راسب.

www.almanahj.com

إتقان حلّ المسائل

63. اكتب تعبير K_{sp} لكرومات الرصاص $PbCrO_4$، واحسب ذائبيته بوحدة mol/L ، علمًا أن $K_{sp} = 2.3\times10^{-13}$.

$$K_{sp} = [Pb^{2+}]\,[CrO_4^{2-}] = 2.3\times10^{-13}$$

$$s = [Pb^{2+}] = [CrO_4^{2-}]$$

$$s^2 = 2.3\times10^{-13}$$

$$s = 4.8\times10^{-7}\ M$$

64. K_{sp} لفلوريد الإسكانديوم ScF_3 عند درجة حرارة 298 K يساوي 4.2×10^{-8}. اكتب معادلة الاتزان الكيميائية لذائبية فلوريد الإسكانديوم في الماء. ما تركيز أيونات Sc^{3+} اللازمة لتكوين راسب إذا كان تركيز أيون الفلوريد 0.076 M؟

$$ScF_{3(s)} \rightleftharpoons Sc^{3+}_{(aq)} + 3F^-_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Sc^{3+}]\,[F^-]^3;$$

$$4.2\times10^{-18} = [Sc^{3+}][0.076]^3$$

$$[Sc^{3+}] = \frac{4.2\times10^{-18}}{(0.076)^3} = 9.6\times10^{-15}\ M$$

65. هل يتكوَّن راسب عند خلط 62.6 mL من $CaCl_2$ الذي تركيزه 0.0322 M مع 31.3 mL من NaOH الذي تركيزه 0.0145 M؟ استعمِل البيانات الموجودة في **الجدول 4–4**. وضِّح إجابتك.

$$CaCl_{2(aq)} + 2NaOH \longrightarrow Ca(OH)_{2(s)} + 2NaCl_{(aq)}$$

$$Ca(OH)_{2(s)} \rightleftharpoons Ca^{2+}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Ca^{2+}]\,[OH^-]^2 = 5.0\times10^{-6}$$

$$[Ca^{2+}] = \frac{(0.0626\ L)\,(0.0322\ mol/L)}{(0.0626\ L + 0.0313\ L)} = 2.15\times10^{-2}\ M$$

$$[OH^-] = \frac{(0.0313\ L)\,(0.0145\ mol/L)}{(0.0626\ L + 0.0313\ L)} = 4.83\times10^{-3}\ M$$

$$Q_{sp} = [2.15\times10^{-2}]\,[4.83\times10^{-3}]^2 = [5.02\times10^{-7}]$$

لا، لا يتكوَّن راسب؛ لأن $Q_{sp} = 5.02\times10^{-7}$، وهذا أقلّ من قيمة K_{sp} لهيدروكسيد الكالسيوم التي تساوي 5.0×10^{-6}.

66. **صناعة** إيثانوات الإيثيل $CH_3COOCH_2CH_3$ مذيب يُستعمَل في صناعة الورنيش، ويمكن إنتاجه بتفاعل الإيثانول وحمض الإيثانويك (الخلّيك)، ويمكن وصف الاتزان بالمعادلة الآتية:

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

احسب K_{eq} باستعمال تراكيز الاتزان الآتية:

$[CH_3COOCH_2CH_3] = 2.90\ M,$

$[CH_3COOH] = 0.316\ M,$

$[CH_3CH_2OH] = 0.313\ M, [H_2O] = 0.114$

$$K_{eq} = \frac{[CH_3COOCH_2CH_3][H_2O]}{[CH_3COOH][CH_3CH_2OH]}$$

$$= \frac{(2.90\ M)\,(0.114\ M)}{(0.316\ M)\,(0.313\ M)}$$

$$= 3.34$$

مراجعة عامة

67. تَنتُج إيثانوات الإيثيل $CH_3COOCH_2CH_3$ من الاتزان الموصوف في المعادلة الآتية:

$$CH_3COOH + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$$

لماذا تسبِّب إزالة الماء إنتاج المزيد من إيثانوات الإيثيل؟

تؤدي إزالة H_2O إلى إزاحة الاتزان نحو اليمين، وإنتاج المزيد من إيثانوات الإيثيل.

68. كيف يتأثَّر كلّ اتزان فيما يلي بانخفاض درجة الحرارة؟

a. $2O_{3(g)} \rightleftharpoons 3O_{2(g)}$ + حرارة

سينزاح التفاعل نحو اليمين.

b. $H_{2(g)} + F_{2(g)} \rightleftharpoons 2HF_{(g)}$ + حرارة

سينزاح التفاعل نحو اليسار.

69. كيف يتأثَّر كلّ اتزان فيما يلي بارتفاع كُلٍّ من درجة الحرارة والحجم في الوقت نفسه؟

a. $2O_{3(g)} \rightleftharpoons 3O_{2(g)}$ + حرارة

ستؤدي زيادة درجة الحرارة إلى تغيّر الاتجاه نحو اليسار، وتؤدي زيادة الحجم إلى تغيّر الاتجاه نحو اليمين.

b. $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO_{(g)}$ + حرارة

ستؤدي زيادة درجة الحرارة إلى تغيّر الاتجاه نحو اليمين. كما لا تؤدي زيادة الحجم إلى أيّ تغيّر؛ لأن هناك أعدادًا متساوية من جزيئات المتفاعلات والنواتج. وسيتجه الاتزان نحو اليمين.

70. ثابت حاصل الذائبية لزرنيخات الرصاص II $Pb_3(AsO_4)_2$ هو 4.0×10^{-36} في درجة حرارة 298 k احسب الذائبية بوحدة mol/L لهذا المركّب عند درجة الحرارة نفسها.

$$Pb_3(AsO_4)_{2(s)} \rightleftharpoons 3Pb^{2+}_{(aq)} + 2AsO_4^{3-}{}_{(aq)}$$

$$s\ mol/L \rightleftharpoons 3s\ mol/L + 2s\ mol/L$$

$$K_{sp} = [Pb^{2+}]^3\,[AsO_4^{3-}]^2$$

$$4.0\times10^{-36} = (3s)^3(2s)^2$$

$$4.0\times10^{-36} = 108\ s^5$$

$$s^5 = \frac{4.0\times10^{-36}}{108} = 3.7\times10^{-38}$$

$$s = \sqrt[5]{3.7\times10^{-38}} = 3.3\times10^{-8}\ M$$

www.almanahj.com

71. صحِّح الجملة الآتية: القيمة المنخفضة لثابت الاتزان K_{eq} تعني أن كِلا التفاعلين الأمامي والعكسي يحدثان ببطء.

الجملة ليست صحيحة، إذ إن قيمة K_{eq} لا تعطي أيّ معلومات حول سرعة حدوث التفاعل أو بطئه. وتعني القيمة المنخفضة لـ K_{eq} فقط احتواء نظام الاتزان على تراكيز من المتفاعلات أعلى من النواتج عند حدوث التفاعلات الأمامية والعكسية بنسبة متساوية.

72. في نظام الاتزان $N_2O_{4(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2(g)}$، لون NO_2 بني غامق. فسِّر اختلاف اللون للاتزان كما هو موضَّح في الشكل 4–22.

الشكل 4–22

عند وجود ضغط عالٍ (حجم أقل) يتجه الاتزان نحو الطرف الذي يقلِّل من قيمة الضغط، ويتمّ ذلك بالاتجاه نحو اليسار مستهلكًا المزيد من NO_2 ذي اللون البني المحمرّ اللون، ومنتجًا المزيد من N_2O_4 العديم اللون.

73. إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم إلى محلول هيدروكسيد الألومنيوم المشبع يُقلِّل من تركيز أيونات الألومنيوم. اكتب معادلة اتزان الذائبية وتعبير ثابت حاصل الذائبية لمحلول مائي مشبع لهيدروكسيد الألومنيوم.

$$Al(OH)_{3(s)} \rightleftharpoons Al^{3+}_{(aq)} + 3OH^-_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Al^{3+}][OH^-]^3$$

تؤدي إضافة هيدروكسيد البوتاسيوم إلى زيادة تركيز أيونات الهيدروكسيد في المحلول. لذا، يتطلَّب K_{sp} الثابت تخفيض تركيز أيونات الألمنيوم موضِّحًا أثر الأيون المشترك.

التفكير الناقد

74. **تحليل** افترض أن نظام اتزان عند درجة حرارة معيَّنة K_{eq} له تساوي 1.000، ما احتمال أن هذا النظام يتكوَّن من 50% متفاعلات و 50% نواتج؟ فسِّر إجابتك.

من الممكن أن يتكوّن النظام من 50% من المتفاعلات و50% من النواتج، ولكن ليس من الضروري أن يكون الحال كذلك، حيث يتطلَّب ثابت حاصل الذائبية عندما تكون قيمته 1.000، أن تكون القيمة العددية لنسبة تركيز النواتج إلى تركيز المتفاعلات مساوية للقيمة 1.00، وذلك عندما تُرفَع قيمة كلّ تركيز إلى قوة تساوي معاملها في المعادلة الموزونة.

75. **تطبيق** يُستعمَل تنشُّق الأملاح أحيانًا لإعادة إنعاش شخص فاقد للوعي؛ إذ تتكوَّن هذه الأملاح من كربونات الأمونيوم. فإذا كانت معادلة تفكّك كربونات الأمونيوم الماصّ للحرارة كما يأتي:

$$(NH_4)_2CO_{3(s)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(g)}$$

فهل تتوقَّع أن استنشاق الأملاح يعطي مفعولًا في أيام الشتاء الباردة كما في أيام الصيف الحارة؟ فسِّر إجابتك.

لا؛ لأن تحلُّل كربونات الأمونيوم ماصّ للحرارة. وعليه، يتحلَّل المركّب بسرعة أكبر عند درجة حرارة أكبر.

76. إذا علمت أنَ K_{sp} ليوديدات الكادميوم $Cd(IO_3)_2$ يساوي 2.3×10^{-8} عند درجة حرارة 298 K، فما تركيز (mol/L) كلٍّ من أيونات الكادميوم وأيونات اليوديدات في محلول مشبع مع يوديدات الكادميوم عند درجة حرارة 298 K ؟

$$Cd(IO_3)_{2(s)} \rightleftharpoons Cd^{2+}_{(aq)} + 2IO_3^-{}_{(aq)}$$

s mol/L $Cd(IO_3)_2$

$[Cd^{2+}] = s$ mol/L

$[IO_3^-] = 2s$ mol/L

$K_{sp} = [Cd^{2+}][IO_3^-]^2$

$2.3\times10^{-8} = s(2s)^2 = 4s^3$

$$s = \sqrt[3]{\frac{2.3\times10^{-8}}{4}} = 1.8\times10^{-3}$$

$[Cd^{2+}] = s$ mol/L $= 1.8\times10^{-3}$ mol/L

$[IO_3^-] = 2s$ mol/L $= 3.6\times10^{-3}$ mol/L

www.almanahj.com

77. تفسير البيانات أيّ المركّبات يترسَّب أولًا إذا تمّت إضافة محلول فلوريد الصوديوم الذي تركيزه 0.500 M بشكل تدريجي إلى محلول يحتوي على تركيز 0.500 M من أيونات الباريوم والماغنيسيوم؟ استعمِل **الجدول 6–4** واكتب معادلات اتزان الذائبية وتعابير ثابت حاصل الذائبية لكِلا المركّبين، مفسّرًا إجابتك.

الجدول 6 — 4 بيانات المركّبين

المركّب	الكتلة المولية g/mol	الذائبية عند 25°C g/L
BaF_2	175.33	1.1
MgF_2	62.30	0.13

$$BaF_{2(s)} \rightleftharpoons Ba^{2+}_{(aq)} + 2F^-_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Ba^{2+}][F^-]^2$$

$$\text{الذائبية المولارية لـ } BaF_2 = s = \frac{1.1\ g/L}{175.33\ g/mol}$$

$$= 6.3\times10^{-3}\ mol/L$$

$$K_{sp} = [Ba^{2+}][F^-]^2 = 4s^3 = 4(6.3\times10^{-3})^3 = 1.0\times10^{-6}$$

$$MgF_{2(s)} \rightleftharpoons Mg^{2+}_{(aq)} + 2F^-_{(aq)}$$

$$K_{sp} = [Mg^{2+}][F^-]^2$$

$$\text{الذائبية المولارية لـ } MgF_2 = s = \frac{0.13\ g/L}{62.30\ g/mol}$$

$$= 2.1\times10^{-3}\ mol/L$$

$$K_{sp} = [Ba^{2+}][F^-]^2 = 4s^3 = 4(2.1\times10^{-3})^3 = 3.7\times10^{-8}$$

سيترسب فلوريد الماغنسيوم أولًا؛ لأن قيمة K_{sp} المحسوبة له التي تساوي 3.7×10^{-8} أقلّ من قيمة K_{sp} لفلوريد الباريوم التي تساوي 1.0×10^{-6}.

78. السبب والنتيجة افترض أن لديك 12.56 g من خليط مكوَّن من كلوريد الصوديوم وكلوريد الباريوم. فسِّر كيف يمكن استعمال تفاعل الترسيب لتحديد مقدار كلّ مركّب في الخليط.

إجابة محتملة:

1. أذب المخلوط في ماء مقطّر.

2. أضف محلولًا إضافيًا يحتوي على الأنيون مثل الكربونات، الكرومات والكبريتات التي تُرسِّب أيونات الباريوم جميعها.

3. رشِّح الراسب وجفِّفه وقس كتلته.

4. احسب عدد مولات مركّب الباريوم المتكوِّن، الذي يساوي عدد مولات كلوريد الباريوم في المخلوط الأصلي.

5. احسب كتلة كلوريد الباريوم في المخلوط الأصلي، فيكون المتبقي من الخليط الأصلي هو كلوريد الصوديوم.

79. قارن أيّ المادتين الصُّلبتين: فوسفات الكالسيوم وفوسفات الحديد III لها ذائبية مولارية أكبر؟ إذا علمت أن $K_{sp}\ Ca_3(PO_4)_2 = 1.2\times10^{-29}$ و $K_{sp}\ FePO_4 = 1.0\times10^{-22}$. أيّهما له ذائبية g/L أعلى؟

$$K_{sp}(Ca_3(PO_4)_2) = 1.2\times10^{-29}$$

$$[Ca^{2+}]^3[PO_4^{3-}]^2 = 1.2\times10^{-29}$$

$$s = mol/L\ Ca_3(PO_4)_2$$

$$[Ca^{2+}] = 3s;\ [PO_4^{3-}] = 2s$$

$$(3s)^3(2s)^2 = 1.2\times10^{-29}$$

$$108\ s^5 = 1.2\times10^{-29}$$

$$s^5 = \frac{1.2\times10^{-29}}{108} = 1.1\times10^{-31}$$

$$s = \sqrt[5]{1.1\times10^{-31}} = 6.4\times10^{-7}\ mol/L$$

$$K_{sp}\ (FePO_4) = 1.0\times10^{-22}$$

$$[Fe^{3+}][PO_4^{3-}] = 1.0\times10^{-22}$$

$$s = mol/L\ of\ FePO_4$$

$$[Fe^{3+}] = [PO_4^{3-}] = s$$

$$s^2 = 1.0\times10^{-22}$$

$$s = \sqrt{1.0\times10^{-22}} = 1.0\times10^{-11}\ mol/L$$

www.almanahj.com

فوسفات الكالسيوم لها ذائبية مولارية أعلى من فوسفات الحديد III.

$$\text{ذائبية } Ca_3(PO_4)_2\,(g/L) = 6.4\times10^{-7}\,mol/L \times 310.2\,g/mol$$

$$= 2.0\times10^{4-}\,g/L$$

$$\text{ذائبية } FePO_4(g/L) = 1.0\times10^{-11}\,mol/L \times 150.6\,g/mol$$

$$= 1.5\times10^{-9}\,g/L$$

ذائبية فوسفات الكالسيوم أعلى من ذائبية فوسفات الحديد III معبَّرًا عنها بوحدة (g/L)

مسألة تحفيز

80. **تحضير الفوسجين** الفوسجين $COCl_2$ غاز سام يُستعمَل في تصنيع بعض الأصباغ والأدوية والمبيدات الحشرية. ويمكن تحضيره بتفاعل أول أكسيد الكربون مع غاز الكلور وفق المعادلة:

$$CO_{(g)} + Cl_{2(g)} \rightleftharpoons COCl_{2(g)}$$

بدايةً وُضِع 1.0000 mol من كِلا الغازين في وعاء حجمه 10.00 L وعند وصولهما إلى حالة الاتزان وجد أنَّ تركيز كلٍّ منهما 0.0086 mol /L. ما تركيز الفوسجين عند الاتزان؟ وما K_{eq} للنظام؟

التركيز المولاري الابتدائي لكلٍّ من CO و Cl_2 هو:

$$1.0000\ mol/10.00\ L = 0.1000\ mol/L$$

وإذا كان تركيز CO و Cl_2 عند الاتزان يساوي 0.0086 mol/L فإن تركيز $COCl_2$:

$$0.1000\ mol/L - 0.0086\ mol/L = 0.0914\ mol/L$$

لذلك، فإن هذه القيمة قد نتجت من خلال التفاعل حيث تُمثِّل قيمة $COCl_2$.

$$K_{eq} = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]} = \frac{(0.0914)}{(0.0086)(0.0086)} = 1.2\times10^{3}$$

مراجعة تراكمية

81. عندما تقوم بعكس معادلة كيميائية حرارية لماذا يجب عكس إشارة ΔH؟

عكس المعادلة الكيميائية الحرارية الطاردة للحرارة يجعلها ماصّة للحرارة، وعليه، فبدلًا من أن تكون الطاقة ناتجة عن التفاعل، ستصبح ممتصّة. لذا، يجب تغيير إشارة ΔH.

تقويم إضافي

الكتابة في الكيمياء

82. **مركّب جديد** تخيَّل أنك عالِم، وقد قمت بتركيب سائل فريد وجديد أسميته يولان ومختصره يو. يولان سائل غير سام، وتحضيره غير مكلف، وله القدرة على إذابة كمية كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون وفق معادلة الاتزان:

$$CO_{2(g)} \rightleftharpoons CO_2(yo),\ K_{eq} = 3.4\times10^{6}$$

لدى الطلاب الكثير من المعلومات الإيجابية لاستعمالها. لذا، يتعيّن عليهم أن يلاحظوا أن ثابت اتزان التفاعل — حيث يُمتصُّ ثاني أكسيد الكربون — هو رقم كبير، وعليه فالتفاعل ذو كفاءة عالية في إزالة كمية ثاني أكسيد الكربون الزائدة من الغلاف الجوي. بالإضافة إلى أن مادة اليولين نفسها لا تضر البيئة.

83. اكتب مقالة لمجلة أو صحيفة تفسِّر فيها ميزة يولان في مكافحة الارتفاع في درجات الحرارة عالميًّا.

ستتنوَّع تقارير الطلاب.

84. **عسر الماء** يسبِّب وجود أيونات الماغنسيوم والكالسيوم في الماء عسره. فسِّر بالاعتماد على الذائبية لماذا يُعدّ وجود هذين الأيونين أحيانًا غير مرغوب فيه، ثُمّ أوجد الطرائق التي يمكن اتخاذها للحدِّ منها.

ستتنوَّع تقارير الطلاب. ويمكن أن تتضمَّن:

- تؤدي قلة ذائبية بعض مركّبات الماغنسيوم والكالسيوم إلى إتلاف التمديدات الصحية، وتقليل فاعليتها.
- ستؤدي قلة ذائبية $CaSO_4$ في الماء الساخن إلى إتلاف الأنابيب الناقلة لها.

www.almanahj.com

- **تتفاعل أيونات الماغنسيوم والكالسيوم مع الصابون مكوِّنة مركّبات غيرذائبة، جاعلة الصابون أقلّ فاعلية، ومكوِّنة ترسبات على المغاسل والحمّامات.**
- **يمكن إزالة أيونات الكالسيوم والماغنسيوم من خلال التنقية، أو تفاعلات الاستبدال، أو إضافة $Ca(OH)_2$ — soda (Na_2CO_3).**
- **يمكن معالجة الماء الساخن بإضافة كربونات الصوديوم، ممّا يؤدي إلى ترسيب كربونات الكالسيوم، ومنع تكوين $CaSO_4$ في الأنابيب الناقلة.**

أسئلة المستندات

التلوُّث تحتوي عوادم السيارات على الملوِّثات الخطرة ومنها: أول أكسيد النيتروجين NO وأول أكسيد الكربون CO. ويمكن أن تقلَّل كمية هذين الغازين في الهواء الجوي بتمريرهما فوق سبيكة (عامل محفِّز). وعندما يمر غازا NO و CO فوق هذا المحفِّز ينشأ الاتزان الآتي:

$$2NO_{(g)} + 2CO_{(g)} \rightleftharpoons N_{2(g)} + 2CO_{2(g)}$$

ويتأثَّر ثابت الاتزان بدرجة الحرارة، كما هو موضَّح في **الجدول 4—7**.

جدول 4—7 K_{eq} مقابل درجة الحرارة

1000 K	900 K	800 K	700 K
3.27×10^{45}	4.66×10^{54}	1.04×10^{66}	9.10×10^{97}

85. اكتب تعبير ثابت الاتزان لهذا الاتزان.

$$K_{eq} = \frac{[N_2][CO_2]^2}{[NO]^2[CO]^2}$$

86. ادرس العلاقة بين K_{eq} ودرجة الحرارة. استعمِل مبدأ لوتشاتلييه لاستنتاج ما إذا كان التفاعل الأمامي ماصًّا أم طاردًا للطاقة.

وحيث إن قيمة K_{eq} تتناقص عند ازدياد درجة الحرارة، لذا، يُعدّ التفاعل الأمامي طاردًا للحرارة.

87. فسِّر كيف أن مُبَرِّد السيارة (الراديتر) المطلي بالسبيكة يمكن أن يساعد على تقليل تركيز NO و CO في الغلاف الجوي؟

يعمل مُبَرِّد السيارة عند درجات حرارة مرتفعة، وتمسح السيارات كميات كبيرة من الهواء عندما تنتقل من مكان إلى آخر، لذا فإن مُبَرِّد السيارة المطلي بالسبيكة يمكن أن يحوّل حجمًا ملحوظًا من ملوِّثات NO وCO إلى مواد أقلّ ضررًا هي N_2 وCO_2.

اختبار مُقنَّن

الصفحتان 159 – 158

أسئلة الاختيار من متعدِّد

1. أيٌّ ممّا يأتي يصف نظامًا وصل إلى حالة الاتزان الكيميائي؟

a. لا يوجد ناتج جديد يتكوَّن بفعل التفاعل الأمامي.

b. لا يحدث التفاعل العكسي في النظام.

c. تركيز المتفاعلات في النظام يساوي تركيز النواتج.

d. سرعة حدوث التفاعل الأمامي تساوي سرعة حدوث التفاعل العكسي.

ⓓ

2. يستطيع الطلاب إجراء التفاعل بين أيونات $S_2O_8^{2-}$ وأيونات اليوديد I^-؛ لأنه يسير ببطء كافٍ لقياس سرعته.

$$S_2O_8^{2-}{}_{(aq)} + 2I^-_{(aq)} \rightarrow 2SO_4^{2-}{}_{(aq)} + I_{2(aq)}$$

تمّ تحديد رتبة هذا التفاعل في المختبر لتكون الرتبة الأولى في $S_2O_8^{2-}$ والرتبة الأولى في I^-. ما قانون السرعة الكلي لهذا التفاعل؟

a. $R = k[S_2O_8^{-2}]^2[I^-]$

b. $R = k[S_2O_8^{-2}][I^-]$

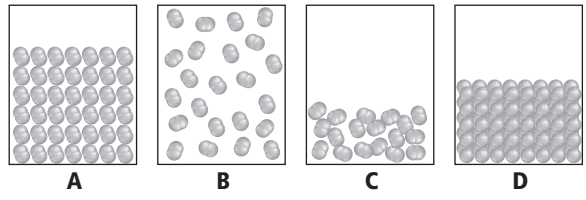
c. $R = k[S_2O_8^{-2}][I^-]^2$

d. $R = k[S_2O_8^{-2}]^2[I^-]^2$

ⓑ

www.almanahj.com

استعمِل الرسوم الآتية للإجابة عن السؤال 3.



3. أيّ الرسوم الأربعة يُبيِّن المادة التي لها أضعف قوى بين جزيئية؟
   a. A
   b. B
   c. C
   d. D

ⓑ

4. أيّ نوع من القوى بين الجزيئية يَنتُج عن عدم توازن مؤقَّت في الكثافة الإلكترونية حول نواة الذرة؟
   a. الروابط الأيونية
   b. قوى التشتُّت
   c. قوى ثنائية القطب
   d. الروابط الهيدروجينية

ⓑ

استعمِل الجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة من 5 إلى 7.

بيانات التركيز للاتزان الآتي
$MnCO_3(s) \rightarrow Mn^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$ (عند 298 K)

المحاولة	$[Mn^{2+}]$ الابتدائي	$[CO_3^{2-}]$	$[Mn^{2+}]$ عند الاتزان	$[CO_3^{2-}]$ عند الاتزان
1	0.0000	0.00400	5.60×10^{-9}	4.00×10^{-3}
2	0.0100	0.0000	1.00×10^{-2}	2.24×10^{-9}
3	0.0000	0.0200	1.12×10^{-9}	2.00×10^{-2}

5. ما قيمة K_{sp} لـ $MnCO_3$ عند درجة حرارة 298K؟
   a. 2.24×10^{-11}
   b. 4.00×10^{-11}
   c. 1.12×10^{-9}
   d. 5.60×10^{-9}

ⓐ

$MnCO_3 \rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + CO_3^{2-}_{(aq)}$

$K_{sp} = [Mn^{2+}][CO_3^{2-}] = (5.60\times10^{-9})(4.00\times10^{-3})$

$= 2.24\times10^{-11}$

6. ما ذائبية $MnCO_3$ عند درجة حرارة 298 K ؟
   a. 4.73×10^{-6} M
   b. 6.32×10^{-2} M
   c. 7.48×10^{-5} M
   d. 3.35×10^{-5} M

ⓐ

$MnCO_3 \rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + CO_3^{2-}_{(aq)}$

الذائبية $= s = [Mn^{2+}] = [CO_3^{2-}]$

$(s)(s) = s^2 = 2.24\times10^{-11}$

$s = \sqrt{2.24\times10^{-11}} = 4.73\times10^{-6}\,M$

7. عند خلط 50 mL من K_2CO_3 الذي تركيزه 3.00×10^{-6} M مع 50 mL من $MnCl_2$ ، سيتكوَّن راسب من $MnCO_3$ فقط عندما يكون تركيز محلول $MnCl_2$ أكبر من :
   a. 7.47×10^{-6} M
   b. 1.49×10^{-5} M
   c. 2.99×10^{-5} M
   d. 1.02×10^{-5} M

ⓒ

بما أن حجم المحلول قد تتضاعف، فإن تركيز $[CO_3^{2-}]$ في الخليط:

$\frac{3.00\times10^{-6}\,M}{2} = 1.5\times10^{-6}\,M$

$[Mn^{2+}][CO_3^{2-}] = [Mn^{2+}][1.5\times10^{-6}] = 2.24\times10^{-11}\,M$

تركيز أيون $[Mn^{2+}]$ يساوي $1.49\times10^{-5}\,M$ ويساوي تركيز أيون $[Mn^{2+}]$ في الخليط. ولتكوين راسب يجب أن يكون تركيز محلول $MnCl_2$ الأصلي كما يلي:

$= 2(x) = 2(1.49\times10^{-5}\,M) = 2.99\times10^{-5}\,M$

www.almanahj.com

أسئلة الإجابات القصيرة

8. اكتب تعبير ثابت الاتزان لكلّ اتزان غير متجانس فيما يلي:

a. $2NaHCO_{3(s)} \rightleftharpoons Na_2CO_{3(s)} + H_2O_{(g)} + CO_{2(g)}$

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

b. $C_6H_{6(l)} \rightleftharpoons C_6H_{6(g)}$

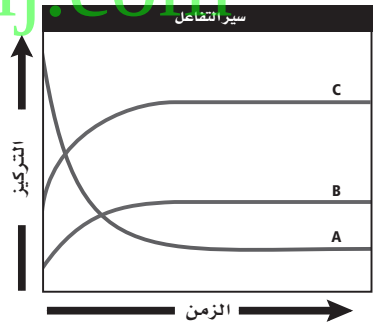
$K_{eq} = [C_6H_6]$

9. يَنتجُ عن تسخين الحجرِ الجيري $CaCO_{3(s)}$ الجير الحي $CaO_{(s)}$ وغاز ثاني أكسيد الكربون. اكتب تعبير ثابت الاتزان للتفاعل العكسي.

$K_{eq} = [CO_2]$

أسئلة الإجابات المفتوحة

استعمِل المخطَّط الآتي للإجابة عن الأسئلة من **10** إلى **12**.



10. صف شكل الرسم البياني عند حدوث الاتزان.

يحدث الاتزان عندما تصبح الخطوط أفقية، حيث تبقى تراكيز المتفاعلات والنواتج ثابتة عند هذه النقطة.

11. فسِّر لماذا لا يساوي تركيز المتفاعلات صفرًا عند نهاية هذا التفاعل؟

لا يساوي تركيز المتفاعلات صفرًا في نهاية التفاعل؛ لأن التفاعل في حالة اتزان. وحتى يُنتج التفاعل العكسي مزيدًا من النواتج، يجب أن تكون سرعته مساوية لسرعة التفاعل الأمامي الذي يَستهلِك المتفاعلات.

12. صنِّف نوع التفاعل الكيميائي الذي يَظهَر في هذا الرسم البياني، وكيف تدعم البيانات فيه استنتاجك؟

يُعدّ هذا التفاعل — على الأغلب — تفاعل تفكّك. حيث يوجد هناك متفاعل واحد يُظهره المنحنى A، وتقلّ ذائبيته كلما استُهلك. كما أن هناك ناتجَين مُمثَّلين في الخطين B وC، تزداد ذائبيتها بازدياد الزمن، حيث إنهما يتكوّنان من تفكّك A.

www.almanahj.com