الباب العاشر

« حاصل الذوبانية والترسيب »

أمثلة محلولة :

مثال (١) :

إذا وجد عملياً عند درجة حرارة الغرفة أن تركيز كلوريد الفضة الذائبة هو ٠,٠٠١٨٢ جرام / لتر ، احسب حاصل ذوبانية كلوريد الفضة .

الحل :

الجزئ الجرامى من كلوريد الفضة يزن ١٤٣,٣٢٣ جرام ، ٠,٠٠١٨٢ جرام كلوريد فضة / لتر تكافئ ١,٢٧ × ١٠$^{-٥}$ جزئ جرامى كلوريد فضة / لتر ،

$$AgCl\ (s) = Ag^{+} + Cl^{-}$$

$$K_{sp} = [Ag^{+}]\ [Cl^{-}] \qquad (\text{حاصل الذوبانية})$$

وحيث أن لدينا راسب من كلوريد الفضة فى المحلول الذى انسب منه فإن هذا المحلول يكون مركزاً بالنسبة لأيونات الراسب : Ag^{+}, Cl^{-} ويكون :

$$[Ag^{+}] = [Cl^{-}] = 1.27 \times 10^{-5}\ \text{mole/liter}$$

$$K_{sp} = [Ag^{+}]\ [Cl^{-}] = (1.27 \times 10^{-5})^{2} = 1.6 \times 10^{-10}$$

مثال (٢) :

إذا علم أن حاصل ذوبانية كرومات الفضة ($Ag_2Cr\ O_4$) يساوى ١ × ١٠ $^{-١٢}$ احسب ذوبانية كرومات الفضة بالجرام فى اللتر .

$$Ag_2CrO_4 = 2\ Ag + CrO_4^{=}$$

الحل :

نفرض أن S = عدد الجزيئات الجرامية من كرومات الفضة الذائبة فى اللتر من المحلول المركز ، فيكون :

$[Ag^+] = 2S$

$[CrO_4^{=}] = S$

(حاصل الذوبانية) $K_{sp} = [Ag^+]^2 [CrO_4^{=}] = 1 \times 10^{-12}$

$= (2S)^2 (S) = 4S^3$

$S = (0.25 \times 10^{-12})^{1/3}$

$= 6.3 \times 10^{-5}$ mole/liter

وحيث أن الجزئ الجرامى من كرومات الفضة يزن ٣٣٢ جرام فيكون :

ذوبانية كرومات الفضة = ٦,٣ × ١٠^-٥ × ٣٣٢

= ٠,٠٢١ جرام / لتر .

مثال (٣) :

احسب تركيز أيون الكبريتيد اللازم لبدء ترسيب كبريتيد النحاس من محلول يحتوى على ٠,١٠ جزئ جرامى / لتر كلوريد نحاسيك .

الحل:

حاصل ذوبانية كبريتيد النحاس :

$K_{sp} = [Cu^{++}] [S^=] = 4 \times 10^{-36}$

يبدأ كبريتيد النحاس فى الترسيب عندما يزيد الحاصل الأيونى فى المحلول عن حاصل الذوبانية وحيث أن تركيز النحاس فى المحلول هو ٠,١٠ جزئ جرامى / لتر فإن تركيز أيون الكبريتيد اللازم لبدء الترسيب هو :

$[S^=] = \frac{4 \times 10^{-36}}{0.10} = 4 \times 10^{-35}$ mole/liter

مثال (٤) :

احسب الرقم الهيدروجينى فى محلول مركز هيدروكسيد الحديديك .

$Fe(OH)_3 \rightleftarrows Fe^{+3} + 3\ OH^-$

$[Fe^{+3}] = S \ ; \ [OH^-] = 3S$

ثابت حاصل ذوبانية هيدروكسيد الحديديك :

$K_{sp} = [Fe^{+3}] [OH^-]^3 = S \cdot (3S)^3$

$= 27 S^4 = 6 \times 10^{-38}$

$$\therefore S = (22 \times 10^{-40})^{1/4} = 2.17 \times 10^{-10}$$

$$[OH^-] = 3S = 6.5 \times 10^{-10} M$$

وحيث أن الماء يساهم بتركيز أيونات هيدروكسيد قدره ١٠-٧ جزئ جرام / لتر فإن هيدروكسيد الحديديك يساهم بأيونات هيدروكسيد أقل بكثير مما يساهم به الماء ويكون تركيز أيونات الهيدروكسيد فى المحلول المركز مساو تركيز أيونات الهيدروكسيد فى الماء النقى

$$[OH^-] = 1 \times 10^{-7} + 6.5 \times 10^{-10} = 1 \times 10^{-7} M$$

$$pH = -\log 10^{-7} = 7$$

مثال (٥) :

هل من الممكن ترسيب كبريتيد الرصاص PbS من محلول مركز بكبريتات الرصاص يحتوى على ١ جزئ جرامى / لتر حمض هيدروكلوريك وذلك عند تركيز المحلول بكبريتيد الهيدروجين ؟

الحل :

يحسب أولا تركيز أيونات الرصاص فى المحلول المركز بكبريتات الرصاص ثم يحسب الحاصل الأيونى لأيون الرصاص والكبريتيد عند تركيز المحلول الذى يحتوى على ٠,١٠ جزئ جرامى / لتر حمض هيدروكلوريك بكبريتيد الهيدروجين فإذا زاد الحاصل الأيونى عن حاصل الذوبانية ترسب كبريتيد الرصاص وإذا كان الحاصل الأيونى يقل عن حاصل الذوبانية لن يشاهد راسب .

$$PbSO_4 = Pb^{+2} + SO_4^{=}$$

$$K_{sp} = [Pb^{+2}][SO_4^{=}] = S^2 = 1.3 \times 10^{-8}$$

(تركيز أيونات الرصاص فى المحلول) $S = 1.14 \times 10^{-4}$ mloe/liter.

تركيز أيون الكبريتيد فى محلول ٠,١٠ جزئ جرامى يد كل / لتر مركز بكبريتيد الهيدروجين هو :

$$[S^=] = K_{12} \frac{[H_2S]}{[H^+]^2} = 1.3 \times 10^{-20} \times \frac{0.1}{0.01}$$

$$= 1.3 \times 10^{-19} \text{ mole/liter}$$

الحاصل الأيونى فى المحلول هو :

$$[Pb^{+2}][S^=] = 1.14 \times 10^{-4} \times 1.3 \times 10^{-19} = 1.48 \times 10^{-23}$$

وحيث أن الحاصل الأيونى يزيد كثيراً عن ثابت حاصل الذوبانية لكبريتيد الرصاص

($K_{s_p} = 4 \times 10^{-26}$) فإننا سنشاهد حدوث راسب .

مثال (٦) :

إذا فرض أن لدينا محلول ٠,٠٥ جزئ جرامى / لتر من كلوريد الخارصين ($ZnCl_2$) أضيف إليه ٢,٠ جزئ جرامى خلات صوديوم / لتر . ١.٠ جزئ جرامى حمض خليك / لتر لنحصل على محلول منظم : احسب تركيز أيونات الخارصين المتبقية فى هذا المحلول المنظم بعد تركيزه بكبريتيد الهيدروجين .

الحل :

يحسب أولا تركيز أيون الهيدروجين فى المحلول المنظم ثم نحسب تركيز أيون الكبريتيد بعد تركيز المحلول بكبريتيد الهيدروجين ومن معلومية ثابت حاصل ذوبانية كبريتيد الخارصين يمكننا حساب تركيز أيونات الخارصين فى المحلول الذى يتوقف عنده ترسيب كبريتيد الخارصين .

$$[H^+] = Ka \times \frac{[acid]}{[salt]} = 1.8 \times 10^{-5} \times \frac{1.0}{2.0}$$

$$= 0.9 \times 10^{-5} \text{ mole/liter}$$

$$[S^{=}] = K_{12} \frac{[H_2S]}{[H^+]^2} = 1.3 \times 10^{-20} \times \frac{0.1}{0.81 \times 10^{-10}}$$

$$= 1.6 \times 10^{-11} \text{ mole/liter}$$

$$K_{sp} = [Zn^{++}]\,[S^{=}] = 1 \times 10^{-23}$$

$$[Zn^{+2}] = \frac{1 \times 10^{-23}}{1.6 \times 10^{-11}} = 6.2 \times 10^{-13} \text{ mole/liter}$$

أسئلة وتمارين إضافية :

١ – إذا علم أن ذوبانية كبريتات الباريوم هى ٢.٤ × ١٠ $^{-٤}$ جرام فى ١٠٠ مل . وفوسفات الفضة هى ٨,٥ × ١٠ $^{-٤}$ جرام فى ١٠٠ مل من المحلول .

احسب حاصل الذوبانية لكل مادة .

(الجواب : ١,٠٦ × ١٠ $^{-١٠}$. ٤.٥٤ × ١٠ $^{-١٨}$)

٢ – إذا علم أن حاصل ذوبانية يوديد الرصاص (PbI_2) وكبريتيد الزئبقيك (HgS) تساوى ٨,٣ × ١٠ $^{-٩}$. ١ × ١٠ $^{-٥٠}$ على التوالى . احسب الذوبانية بالجزئ الجرامى الحجمى لكل مادة .

(الجواب : ١,٣١ × ١٠ $^{-٣}$ ج ح . ١ × ١٠ $^{-٢٧}$ ج ح)

٣ – احسب تركيز أيون الكبريتيد اللازم لبدء ترسيب كبريتيد البزموت Bi_2S_3 من محلول يحتوى على 10^{-3} جزئ جرامى نترات بزموت Bi_2S_3 فى اللتر .

(الجواب : 1×10^{-21} جزئ جرامى / لتر)

٤ – إذا علم أن حاصل ذوبانية كبريتات وأكسالات الكالسيوم هى 2.4×10^{-5} و 1.3×10^{-9} على التوالى ، احسب تركيز أيون الاكسالات اللازم لبدء ترسيب الكالسيوم من محلول مركز بكبريتات الكالسيوم .

(الجواب : 4.08×10^{-7} جزئ جرامى / لتر)

٥ – إذا علم أن حاصل ذوبانية كرومات الرصاص والباريوم هى 2.0×10^{-12} و 8.5×10^{-10} على التوالى ، وإذا أضيف محلول كرومات البوتاسيوم ببطء إلى محلول يحتوى اللتر منه ٠.٠٢ جزئ جرامى نترات رصاص + ٠.٠٢ جزئ جرامى نترات باريوم . ما هو الأيون الذى يترسب أولا ؟ احسب التركيز الذى يبدأ عنده الأيون الثانى فى الترسيب .

(الجواب : Pb^{++} يترسب أولا ، التركيز 2×10^{-6} جزئ جرامى كرومات بوتاسيوم / / لتر) .

٦ – أراد كيمائى تحليل الكالسيوم بترسيبه على هيئة اكسالات . وإذا كانت العينة تحتوى على ٥٠ مجم Ca^{++} فى ٢٥٠ مل من المحلول وأن أكسالات الأمونيوم قد أضيفت حتى أصبح تركيز أيون الأكسالات فى المحلول ٠.٥٠ جزئ جرامى / لتر . احسب النسبة المئوية لأيونات الأكسالات التى لم تترسب وبقيت فى المحلول .

(الجواب : 8×10^{-5} ٪)

٧ – احسب تركيز هيدروكسيد الأمونيوم اللازم لبدء ترسيب هيدروكسيد المغنسيوم $Mg(OH)_2$ من محلول يحتوى ٠.٠٢ مول Mg^{++} / لتر ، ٠.١٠ مول نترات أمونيوم / لتر علماً بأن حاصل ذوبانية هيدروكسيد المغنسيوم = 8.9×10^{-12} .

(الجواب : ٠.١٢٤ جزئ جرامى/لتر)

٨ – احسب الرقم الهيدروجينى اللازم لترسيب كبريتيد الكادميوم (CdS) دون البدء فى ترسيب كبريتيد الخارصين (ZnS) فى محلول يحتوى على ٠.٠٢ مول / لتر من كل من أيونات الكادميوم والخارصين . ثم أوجد تركيز الكادميوم المتبقى فى المحلول عند البدء فى ترسيب حاصل ذوبانية كبريتيد الكادميوم والخارصين تساوى 6×10^{-7} و 1×10^{-23} على التوالى :

الجواب : الرقم الهيدروجينى = ٠.٢١ . تركيز الكادميوم = 2×10^{-7} مول / لتر)

٩ – احسب الحد الأدنى للرقم الهيدروجينى الذى يضمن ترسيب الكوبلت من محلول مركز بغاز كبريتيد الهيدروجين ويحتوى $١٠^{-٤}$ مول Co^{++} / لتر . ثوابت تأين كبريتيد الهيدروجين $K_1 = ١.٠ \times ١٠^{-٧}$ ، $K_2 = ١.٣ \times ١٠^{-١٣}$ وحاصل ذوبانية كبريتيد الكوبلت $١٠^{-٢١}$.

(الجواب : ١.٩٤)

١٠ – اشرح بالتفصيل إمكانية حدوث راسب تحت الظروف المبينة فى كل حالة من الحالات التالية :

(أ) إذا أضيف ١.٠ جرام من نترات الرصاص إلى ١٠٠ مل من محلول يحتوى على ٠.٠١ جزئ جرامى حمض هيدروكلوريك / لتر ، علماً بأن حاصل ذوبانية كلوريد الرصاص = ١.٦×١٠^{-٥} .

(ب) إذا أضيف ١.٠ مل من محلول يحتوى على ١.٠٠ جزئ جرامى هيدروكسيد صوديوم / لتر إلى ١ لتر من محلول يحتوى $١٠^{-٤}$ جزئ جرامى نترات مغنسيوم / لتر علماً بأن حاصل ذوبانية هيدروكسيد المغنسيوم = ٨.٩×١٠^{-١٢} .

(الجواب : (أ) لا يحدث راسب ، (ب) يحدث راسب)

١١ – إذا بدأنا فى إضافة محلول من نترات الفضة إلى محلول يحتوى على ٠.٠١ مول Cl^- / لتر ، ٠.٠٠١ مول $CrO_4^=$ / لتر :

(أ) ما الذى يترسب أولا – كلوريد الفضة أو كرومات الفضة ؟

(ب) احسب تركيز أيون الكلوريد فى المحلول عندما تبدأ كرومات الفضة فى الترسيب ؟

(ح) احسب النسبة بين تركيز أيون الكلوريد الموجود فى المحلول عند البدء فى ترسيب كرومات الفضة إلى ما كان موجوداً أصلا بالمحلول ؟

(الجواب : (أ) كلوريد الفضة يترسب أولا ، (ب) $[Cl^-] = ٦.٤٤ \times ١٠^{-٦}$ ج ح ، (ح) النسبة المئوية لأيون الكلوريد = ٠.٠٦٤٤ ٪)

١٢ – احسب عدد الأوزان الجزيئية الجرامية من كلوريد الأمونيوم التى يلزم إضافتها إلى ١٠٠ مل من محلول يحتوى على ٠.١٠ جزئ جرامى هيدروكسيد أمونيوم / لتر كى تمنع ترسيب $Mn(OH)_2$ عندما يضاف هذا المحلول إلى ١٠٠ مل من محلول يحتوى على ٠.٠٢ جزئ جرامى كلوريد منجنيز / لتر . حاصل ذوبانية هيدروكسيد المنجنيز = ٢×١٠^{-١٣} .

(الجواب : ٠.٠٤ جزئ جرامى كلوريد أمونيوم)