Произведение растворимости труднорастворимых соединений

Насыщенные растворы труднорастворимых соединений представляют собой равновесную систему, которая может быть представлена следующей реакцией:

$$K_m A_n = m K^{n+} + n A^{m-}$$

Здесь $K_m A_n$ - осадок труднорастворимого соединения, например, $Ca_3(PO_4)_2$ - осадок фосфата кальция с концентрацией, выраженной в г-моль/л,

$m K^{n+}$ и $n A^{m-}$ - концентрации катионов кальция и фосфатных анионов в г-ионах/л.

Концентрация насыщенного раствора характеризует растворимость данного труднорастворимого соединения при данной температуре. Обозначим величину растворимости через – Х.

Растворимость труднорастворимых соединений так же характеризуют величиной произведения растворимости (ПР), которая записывается следующим образом:

$$ПР = [K^{n+}]^m \times [A^{m-}]^n$$

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

- Представим произведение растворимости (ПР) некоторых труднорастворимых соединений :
- 1. **Карбонат кальция – $CaCO_3$** (Аналогично $PbCO_3$). Запишем уравнение диссоциации данного соединения с учетом его растворимости (X) и с учетом того, что из одного (г-моль /л) $CaCO_3$ получается один (г-ион/л) Ca^{2+} и один (г-ион/л) CO_3^{2-}:
- X (г-моль /л) X (г-ион/л) X (г-ион/л)
- $CaCO_3 = Ca^{2+} + CO_3^{2-}$ $ПР_{CaCO_3} = X^2$
- 2. **Гидроксид магния – $Mg(OH)_2$** :
- $Mg(OH)_2 = Mg^{2+} + 2\ OH^-$ $ПР_{Mg(OH)2} = X \times (2X)^2 = 4X^3$
- 3 . **Гидроксид железа (3) – $Fe(OH)_3$**
- $Fe(OH)_3 = Fe^{3+} + 3\ OH^-$ $ПР_{Fe(OH)3} = X \times (3X)^3 = 27X^4$
- 4. **Фосфат кальция - $Ca_3(PO_4)_2$**
- $Ca_3(PO4)_2 = 3\ Ca^{2+} + 2\ PO_4^{3-}$ $ПР = (3X)^3 \times (2X)^2 = 108X^5$

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

- **Задача №13.** Имеются насыщенные растворы осадков гидроксидов 2-х [$Fe(OH)_2$] и 3-х валентного железа [$Fe(OH)_3$] . ПР $_{Fe(OH)2}$ = 1,64 x 10^{-14} ; ПР $_{Fe(OH)3}$ = 3,8x10^{-38} . Определите и сравните растворимость (X) этих соединений (n_{Fe2+}), в мг-экв/л и концентрацию (C_{Fe2+}), мг/л.
- **Решение:** Запишем уравнение диссоциации гидроксида 2-х валентного железа :
- X X 2X
- $Fe(OH)_2$ = Fe^{2+} + 2 OH^- отсюда
- г-моль/л г-ион/л г-ион/л
- ПР = X x $(2X)^2$ = 4 X^3 ; $X_{Fe2+} = n_{Fe2+} = \sqrt[3]{ПР/4} = \sqrt[3]{1{,}64x10^{14}}/4 = \sqrt[3]{0{,}41x10^{14}}$ =
- = $\sqrt[3]{4{,}1x10^{15}} = \sqrt[3]{4{,}1}$ x 10^{-5} = 1,6 x 10^{-5} г-ион/л x 1000 = 1,6 x 10^{-2} мг-ион/л
- Определим концентрацию катиона железа Fe^{2+} в мг/л :
- $C_{Fe2+} = n_{Fe2+}$ x $Э_{Fe2+}$ = 1,6 x 10^{-2} мг-ион/л x 28 мг/мг-ион = 0,448 мг/л

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

- **Задача №13** (продолжение):
- Запишем уравнение диссоциации гидроксида 3-х валентного железа :
- X X 3X
- $Fe(OH)_3$ = Fe^{3+} + 3 OH^- , тогда ПР = X x $(3X)^3$ = 27 X^4
- г-моль/л г-ион/л г-ион/л
- Отсюда X = n_{Fe3+} = $\sqrt[4]{ПР/27}$ = $\sqrt[4]{3{,}8x10^{-38}/27}$ = $\sqrt[4]{0{,}14x10^{38}}$ = $\sqrt[4]{14x10^{40}}$ =
- = $\sqrt[4]{14}$ x 10^{-10} = 1,93x 10^{-10} г-ион/л
- Определим концентрацию катиона железа Fe^{3+} в мг/л :
- C_{Fe3+} = n_{Fe3+} x $Э_{Fe3+}$ = 1,93 x 10^{-10} г-ион/л x 56/3 г/г-ион x 10^3 = 1,93 x 10^{-7} x 18,7=
- = 3,6 x10^{-8} мг/л.
- **Сравним концентрацию** катиона железа Fe^{2+} в мг/л и концентрацию катиона железа Fe^{3+} в мг :
- C_{Fe2+} = 0,448 мг/л и C_{Fe3+} = 3,6 x10^{-8} мг/л
- Видно, что растворимость $Fe(OH)_3$ на много порядков меньше, чем $Fe(OH)_2$. Поэтому в качестве коагулянта применяют именно $Fe(OH)_3$.

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

- **Задача № 14** Имеется 1 л насыщенного раствора, содержащего $CaCO_3$ с растворимостью X = 9,64 x10^{-5} г-моль/л и 1 л насыщенного раствора $Ca_3(PO_4)_2$ в концентрации 1,23x10^{-3} г/л. Необходимо определить $ПР_{CaCO3}$ и $ПР_{Ca3(PO4)2}$ и сравнить эти величины между собой и сделать соответствующие выводы.
- **Решение :** Определяем $ПР_{CaCO3}$:
- X, г-моль/л X, г-ион/л X, г-ион/л
- $CaCO_3$ = Ca^{2+} + CO_3^{2-}
- $ПР_{CaCO3}$ = [Ca^{2+}] x [CO_3^{2-}] = X^2
- $ПР_{CaCO3}$ = (9,64x10^{-5})^2 = 9,3 x 10^{-9} .
- Определяем $ПР_{Ca3(PO4)2}$:
- Для этого сначала переведем г/л в г-моль/л, предварительно определив молекулярную массу $Ca_3(PO_4)_2$ = =3x40 + 2 (31+16x4) = 310 г-моль.
- Далее вычисляем молярную растворимость: $X_{Ca3(PO4)2}$ = 1,23x10^{-3} г/л /310 г-моль = 0,4x10^{-5} г-моль/л
- Реакция диссоциации $Ca_3(PO_4)_2$:

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

- **Задача № 14** (продолжение):

Реакция диссоциации фосфата кальция:

$Ca_3(PO_4)_2 = 3\ Ca^{2+} + 2\ PO_4^{3-}$, ПР = $(3X)^3 x\ (2X)^2 = 108\ X^5 = 108 x\ (0,4x10^{-5})^5 = 1,08 x\ 10^2 x\ 1,$
$x\ 10^3 x\ 10^{-30} = 1,1 x\ 10^{-25}$

Сравним величины произведения растворимости этих соединений:

$ПР_{CaCO3} = 9,3 x\ 10^{-9}$

$ПР_{Ca3(PO4)2} = 1,1 x\ 10^{-25}$

Вывод : Произведение растворимости фосфата кальция($Ca_3(PO_4)_2$) имеет значительн меньшее значение, а значит, и растворимость, по сравнению с карбонатом кальция ($CaCO_3$). Поэтому возможно производить фосфатное доумягчение после известково [C $(OH)_2$] содового (Na_2CO_3) умягчения.

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

- **Задача № 15**
- Рассчитать растворимость (X) сульфата серебра (Ag_2SO_4), если ПР $_{Ag2SO4}$ = 1,2 x 10^{-5}
- **Решение:** Приведем реакцию диссоциации сульфата серебра:
- X, г-моль/л 2X, г-ион/л X, г-ион/л
- Ag_2SO_4 = $2Ag^+$ + SO_4^{2-} ПР = $(2X)^2$ x X = 4 X^3 , отсюда :
- $X = \sqrt[3]{\frac{ПР}{4}} = \sqrt[3]{\frac{1{,}2x10^{-5}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{12x10^{-6}}{4}} = \sqrt[3]{3}$ x 10^{-2} = 1,3 x 10^{-2} , г-моль/л .

Прогнозирование выпадения осадка на основе произведения растворимости (ПР) и произведения ионов (ПИ)

- Прогнозирование выпадения осадка основывается на следующих очевидных положениях:
- 1. Если произведение ионов (ПИ) меньше произведения растворимости (ПР) – осадок не образуется.
- Это следует из **определения ПР** – это произведение тех минимальных концентраций ионов, при которых осадок образуется. А если эта величина не достигнута, то совершенно очевидно, что осадка не будет.
- 2. И, наоборот, если произведение ионов (ПИ) больше произведения растворимости (ПР) – осадок образуется.
- **Задача №16.** Выпадет ли осадок при смешении 0,01 н растворов Na_2SO_4 и $CaCl_2$? ПР $_{CaSO4}$ = $1,3x10^{-4}$
- **Решение:** Запишем уравнение реакций взаимодействия данных веществ, при взаимодействии которых
- есть вероятность образования трудно растворимого соединения $CaSO_4$:
- $Na_2SO_4 + CaCl_2 = CaSO_4 + 2NaCl$
- 0,01н 0,01н
- Переведем концентрации ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} из нормальной концентрации в молярную. Причем молярная концентрация будет в 2 раза меньше нормальной, исходя из соотношения молекулярной и эквивалентной массы этих соединений:
-

(ПР) и произведения ионов (ПИ)

- **Задача № 16** (продолжение): для нахождения концентрации ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} запишем уравнение диссоциации этих соединений:
- $Na_2SO_4 = 2\,Na^+ + SO_4^{2-}$ $CaCl_2 = Ca^{2+} + 2Cl^-$
- 0,005 г-моль/л 0,005 г-ион/л 0,005 г-моль/л 0,005 г-ион/л
- Далее находим произведение ионов $CaSO_4$ и сравниваем с произведением растворимости $CaSO_4$:
- ПИ $_{CaSO4}$ = $[Ca^{2+}] \times [SO_4^{2-}] = (5 \times 10^{-3})^2 = 2{,}5 \times 10^{-5}$ ПР $_{CaSO4}$ = $1{,}3 \times 10^{-4}$
- **Вывод:**
- ПИ $_{CaSO4}$ меньше ПР $_{CaSO4}$, т.е. осадка не будет.
- Изменив исходную концентрацию реагирующих веществ можно на основании расчетов показать, что осадок будет образовываться.