

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

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



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 – X.

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)



- **2. Гидроксид магния – Mg(OH)_2** :



- **3 . Гидроксид железа (3) – Fe(OH)_3**



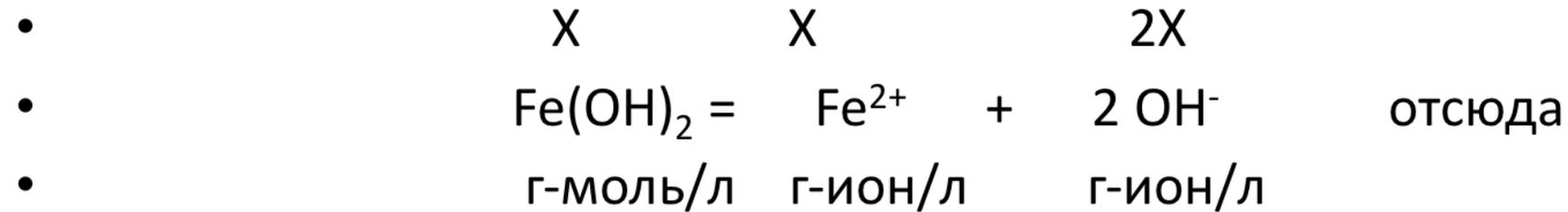
- **4. Фосфат кальция - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$**



Произведение растворимости труднорастворимых соединений

• **Задача №13.** Имеются насыщенные растворы осадков гидроксидов 2-х [Fe(OH)₂] и 3-х валентного железа [Fe(OH)₃]. $ПР_{Fe(OH)_2} = 1,64 \times 10^{-14}$; $ПР_{Fe(OH)_3} = 3,8 \times 10^{-38}$. Определите и сравните растворимость (X) этих соединений ($n_{Fe^{2+}}$), в мг-экв/л и концентрацию ($C_{Fe^{2+}}$), мг/л.

• **Решение:** Запишем уравнение диссоциации гидроксида 2-х валентного железа :



$$ПР = X \times (2X)^2 = 4 X^3 ; \quad X_{Fe^{2+}} = n_{Fe^{2+}} = \sqrt[3]{ПР/4} = \sqrt[3]{1,64 \times 10^{-14}/4} = \sqrt[3]{0,41 \times 10^{-14}}$$

$$= \sqrt[3]{4,1 \times 10^{-15}} = \sqrt[3]{4,1} \times 10^{-5} = 1,6 \times 10^{-5} \text{ г-ион/л} \times 1000 = 1,6 \times 10^{-2} \text{ мг-ион/л}$$

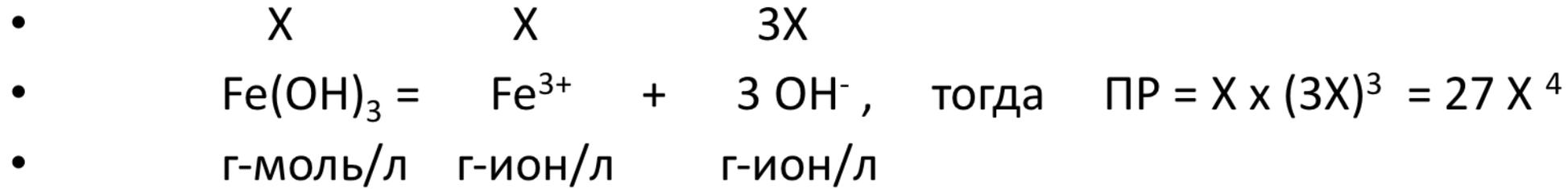
• Определим концентрацию катиона железа Fe²⁺ в мг/л :

$$C_{Fe^{2+}} = n_{Fe^{2+}} \times Э_{Fe^{2+}} = 1,6 \times 10^{-2} \text{ мг-ион/л} \times 28 \text{ мг/мг-ион} = 0,448 \text{ мг/л}$$

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

Задача №13 (продолжение):

Запишем уравнение диссоциации гидроксида 3-х валентного железа :



$$\begin{aligned} \text{Отсюда } X = n_{\text{Fe}^{3+}} &= \sqrt[4]{\text{ПР}/27} = \sqrt[4]{3,8 \times 10^{-38}/27} = \sqrt[4]{0,14 \times 10^{38}} = \sqrt[4]{14 \times 10^{40}} = \\ &= \sqrt[4]{14} \times 10^{-10} = 1,93 \times 10^{-10} \text{ г-ион/л} \end{aligned}$$

Определим концентрацию катиона железа Fe^{3+} в мг/л :

$$\begin{aligned} C_{\text{Fe}^{3+}} &= n_{\text{Fe}^{3+}} \times \text{Э}_{\text{Fe}^{3+}} = 1,93 \times 10^{-10} \text{ г-ион/л} \times 56/3 \text{ г/г-ион} \times 10^3 = 1,93 \times 10^{-7} \times 18,7 = \\ &= 3,6 \times 10^{-8} \text{ мг/л.} \end{aligned}$$

Сравним концентрацию катиона железа Fe^{2+} в мг/л и концентрацию катиона железа Fe^{3+} в мг :

$$C_{\text{Fe}^{2+}} = 0,448 \text{ мг/л} \quad \text{и} \quad C_{\text{Fe}^{3+}} = 3,6 \times 10^{-8} \text{ мг/л}$$

Видно, что растворимость Fe(OH)_3 на много порядков меньше, чем Fe(OH)_2 . Поэтому в качестве коагулянта применяют именно Fe(OH)_3 .

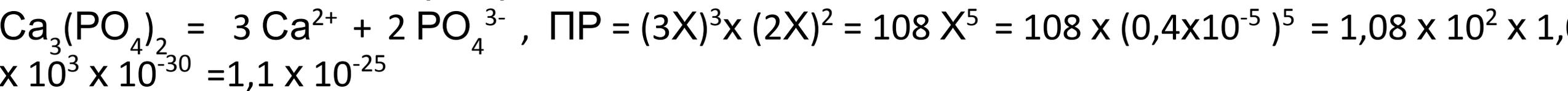
Произведение растворимости труднорастворимых соединений

- **Задача № 14** Имеется 1 л насыщенного раствора, содержащего CaCO_3 с растворимостью $X = 9,64 \times 10^{-5}$ г-моль/л и 1 л насыщенного раствора $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ в концентрации $1,23 \times 10^{-3}$ г/л. Необходимо определить $\text{ПР}_{\text{CaCO}_3}$ и $\text{ПР}_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2}$ и сравнить эти величины между собой и сделать соответствующие выводы.
- **Решение :** Определяем $\text{ПР}_{\text{CaCO}_3}$:
 - X , г-моль/л X , г-ион/л X , г-ион/л
 - $\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$
 - $\text{ПР}_{\text{CaCO}_3} = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{CO}_3^{2-}] = X^2$
 - $\text{ПР}_{\text{CaCO}_3} = (9,64 \times 10^{-5})^2 = 9,3 \times 10^{-9}$.
- Определяем $\text{ПР}_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2}$:
 - Для этого сначала переведем г/л в г-моль/л, предварительно определив молекулярную массу $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 3 \times 40 + 2 (31 + 16 \times 4) = 310$ г-моль.
 - Далее вычисляем молярную растворимость: $X_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = 1,23 \times 10^{-3}$ г/л / 310 г-моль = $0,4 \times 10^{-5}$ г-моль/л
 - Реакция диссоциации $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$:

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

• Задача № 14 (продолжение):

Реакция диссоциации фосфата кальция:



Сравним величины произведения растворимости этих соединений:

$$\text{ПР}_{\text{CaCO}_3} = 9,3 \times 10^{-9}$$

$$\text{ПР}_{\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2} = 1,1 \times 10^{-25}$$

Вывод: Произведение растворимости фосфата кальция ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) имеет значительно меньшее значение, а значит, и растворимость, по сравнению с карбонатом кальция (CaCO_3). Поэтому возможно производить фосфатное доумягчение после известково-содового (Na_2CO_3) умягчения.

Произведение растворимости труднорастворимых соединений

• Задача № 15

• Рассчитать растворимость (X) сульфата серебра (Ag_2SO_4), если $\text{ПР}_{\text{Ag}_2\text{SO}_4} = 1,2 \times 10^{-5}$

• **Решение:** Приведем реакцию диссоциации сульфата серебра:

• X , г-моль/л $2X$, г-ион/л X , г-ион/л

• $\text{Ag}_2\text{SO}_4 = 2\text{Ag}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ $\text{ПР} = (2X)^2 \times X = 4 X^3$, отсюда

:

• $X = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{1,2 \times 10^{-5}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{12 \times 10^{-6}}{4}} = \sqrt[3]{3} \times 10^{-2} = 1,3 \times 10^{-2}$, г-моль/л .

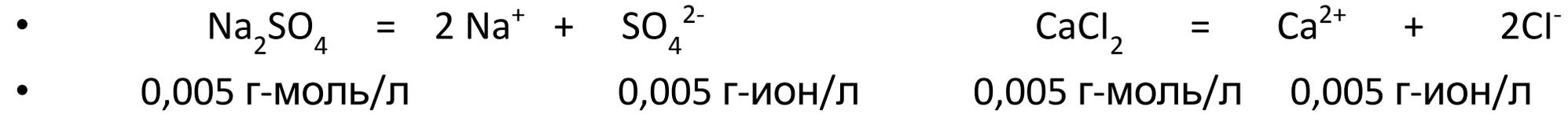
Прогнозирование выпадения осадка на основе произведения растворимости (ПР) и произведения ионов (ПИ)

- 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 ? $\text{ПР}_{\text{CaSO}_4} = 1,3 \times 10^{-4}$
- **Решение:** Запишем уравнение реакции взаимодействия данных веществ, при взаимодействии которых
- есть вероятность образования трудно растворимого соединения CaSO_4 :
- $$\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCl}_2 = \text{CaSO}_4 + 2\text{NaCl}$$
- $$0,01\text{н} \quad 0,01\text{н}$$
- 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:



- Далее находим произведение ионов CaSO_4 и сравниваем с произведением растворимости CaSO_4 :

- $$\text{ПИ}_{\text{CaSO}_4} = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{SO}_4^{2-}] = (5 \times 10^{-3})^2 = 2,5 \times 10^{-5} \qquad \text{ПР}_{\text{CaSO}_4} = 1,3 \times 10^{-4}$$

- **Вывод:**

- $\text{ПИ}_{\text{CaSO}_4}$ меньше $\text{ПР}_{\text{CaSO}_4}$, т.е. осадка не будет.
- Изменив исходную концентрацию реагирующих веществ можно на основании расчетов показать, что осадок будет образовываться.