

# 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 –  $\text{CaCO}_3$**  (Аналогично  $\text{PbCO}_3$ ). Запишем уравнение диссоциации данного соединения с учетом его растворимости ( $X$ ) и с учетом того, что из одного (г-моль /л)  $\text{CaCO}_3$  получается один (г-ион/л)  $\text{Ca}^{2+}$  и один (г-ион/л)  $\text{CO}_3^{2-}$ :

- $X$  (г-моль /л)       $X$  (г-ион/л)       $X$  (г-ион/л)



- **2. Гидроксид магния –  $\text{Mg(OH)}_2$**  :



- **3 . Гидроксид железа (3) –  $\text{Fe(OH)}_3$**



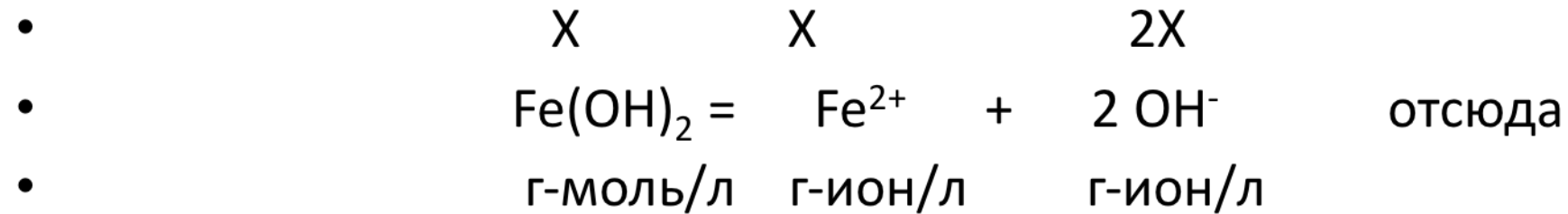
- **4. Фосфат кальция -  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$**



## Произведение растворимости труднорастворимых соединений

• **Задача №13.** Имеются насыщенные растворы осадков гидроксидов 2-х [Fe(OH)<sub>2</sub>] и 3-х валентного железа [Fe(OH)<sub>3</sub>].  $ПР_{Fe(OH)_2} = 1,64 \times 10^{-14}$ ;  $ПР_{Fe(OH)_3} = 3,8 \times 10^{-38}$ . 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 :



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

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

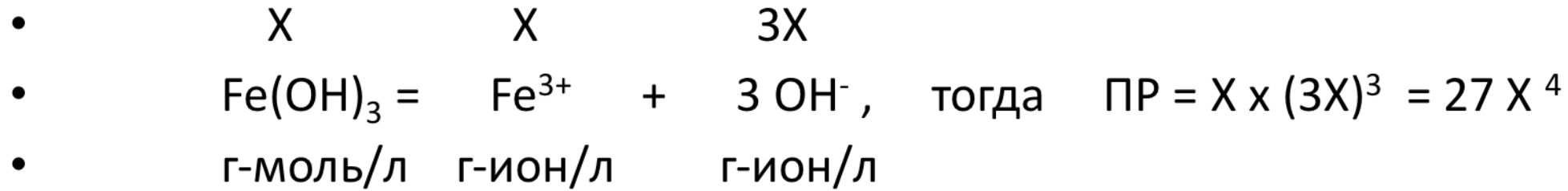
• Определим концентрацию катиона железа Fe<sup>2+</sup> в мг/л :

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

# Произведение растворимости труднорастворимых соединений

## • Задача №13 (продолжение):

• Запишем уравнение диссоциации гидроксида 3-х валентного железа :



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

• Определим концентрацию катиона железа  $\text{Fe}^{3+}$  в мг/л :

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

• **Сравним концентрацию** катиона железа  $\text{Fe}^{2+}$  в мг/л и концентрацию катиона железа  $\text{Fe}^{3+}$  в мг :

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

• Видно, что растворимость  $\text{Fe(OH)}_3$  на много порядков меньше, чем  $\text{Fe(OH)}_2$  . Поэтому в качестве коагулянта применяют именно  $\text{Fe(OH)}_3$  .

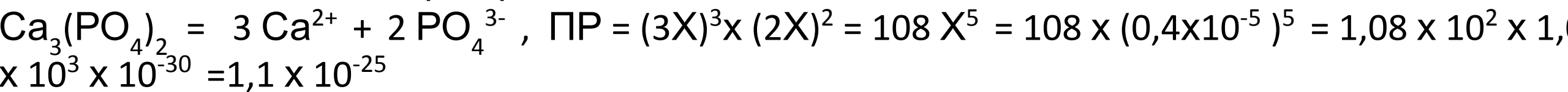
## Произведение растворимости труднорастворимых соединений

- **Задача № 14** Имеется 1 л насыщенного раствора, содержащего  $\text{CaCO}_3$  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 ( $\text{CaCO}_3$ ). Поэтому возможно производить фосфатное доумягчение после известково-содового ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) умягчения.

# Произведение растворимости труднорастворимых соединений

## • Задача № 15

• Рассчитать растворимость ( $X$ ) сульфата серебра ( $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ), 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 .

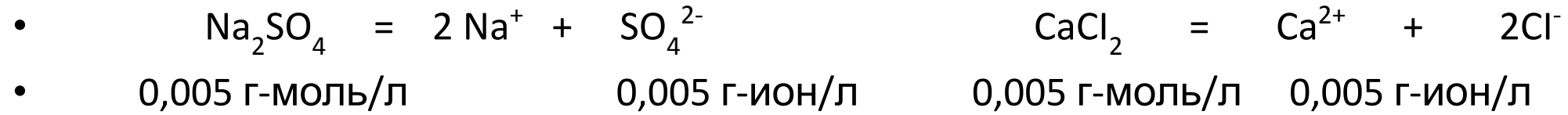
## Прогнозирование выпадения осадка на основе произведения растворимости (ПР) и произведения ионов (ПИ)

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



- Далее находим произведение ионов  $\text{CaSO}_4$  и сравниваем с произведением растворимости  $\text{CaSO}_4$ :

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

- **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.