

# АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

---

# Основные положения теории растворов электролитов

---

# Теория растворов электролитов

---

**Электролиты** – вещества, водные растворы которых проводят электрический ток

**Неэлектролиты** – вещества, водные растворы которых не проводят электрический ток

все электролиты при растворении в воде распадаются на ионы, создавая электропроводящую среду (С.А. Аррениус, 1883 – 1887)



**Количественно диссоциация электролита в растворе характеризуется степенью диссоциации  $\alpha$**

---

$$\alpha = \frac{N_{diss}}{N_{total}} = \frac{C_{diss}}{C_{total}}$$

Выражается в долях единицы или  
процентах

$$N_{diss} = 95, N_{total} = 100 \quad \alpha = 0,95 \text{ or } 95\%$$

# Классификация электролитов

---

$\alpha < 3\%$  – слабые электролиты

$\alpha > 30\%$  – сильные электролиты

# Классификация электролитов

## Сильные

- 1. Неорганические кислоты:**  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4^*$  (по первой ступени) и др.
- 2. Гидроксиды щелочных и щелочно-земельных металлов:**  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Ba(OH)}_2$ ,  $\text{Sr(OH)}_2$
- 3. Большинство солей:**  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$  и т.д.

## Слабые

- 1. Неорганические кислоты:**  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (по второй ступени),  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и др.
- 2. Большинство органических кислот:** янтарная, уксусная, щавелевая и др.
- 3. Аммиак и большинство органических оснований:** пиридин,  $\text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{NH}_2\text{OH}$ ,  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$  и др.

# Ионная сила

---

# Ионная сила

---

$$I = \frac{1}{2} \sum C_i \cdot z_i^2$$

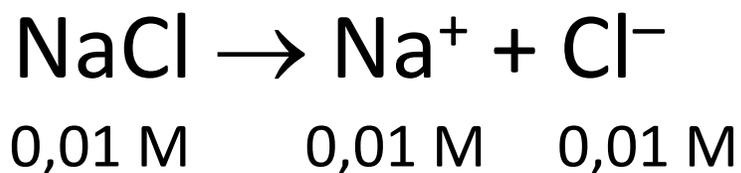
При вычислении ионной силы раствора учитываются концентрации и заряды всех ионов, находящихся в растворе (ионами слабых электролитов пренебрегают)

# Задача № 1

---

Рассчитайте ионную силу раствора натрия хлорида с концентрацией 0,01 М.

Решение:



$$I = \frac{1}{2} (0,01 \cdot 1^2 + 0,01 \cdot 1^2) = 0,01 \text{ М}$$

Ответ: 0,01 М

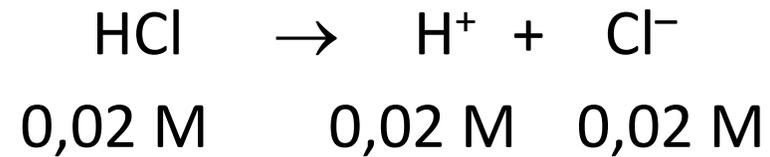
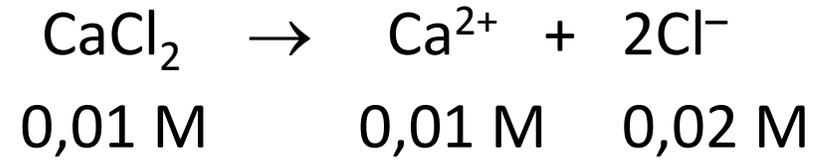
## Задача № 2.

---

Рассчитайте ионную силу раствора, содержащего 0,01 М  $\text{CaCl}_2$ , 0,02 М  $\text{HCl}$  и 0,025 М уксусной кислоты.

# Решение

---



$$C(\text{Ca}^{2+}) = 0,01 \text{ M}$$

$$C(\text{H}^+) = 0,02 \text{ M}$$

$$C(\text{Cl}^-) = 0,04 \text{ M}$$

---

$$I = \frac{1}{2} \sum C_i \cdot z_i^2$$

$$I = \frac{1}{2} (0,01 \cdot 2^2 + 0,02 \cdot 1^2 + 0,04 \cdot 1^2) = \\ = 0,05 \text{ (моль/л)}$$

Ответ: 0,05 моль/л

## Задача № 3

---

Смешали равные объемы 0,02 М раствора серной кислоты и 0,01 М раствора щавелевой кислоты. Рассчитайте ионную силу полученного раствора.

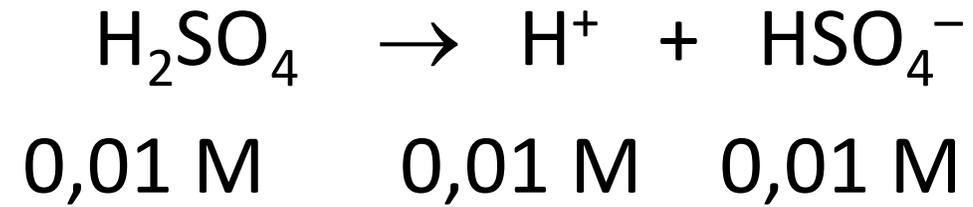
# Решение

---

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0,02 \cdot X}{2X} = 0,01 \text{ (M)}$$



$$I = \frac{1}{2} \sum C_i \cdot z_i^2$$

$$I = \frac{1}{2}(0,01 \cdot 1^2 + 0,01 \cdot 1^2) = 0,01 \text{ (M)}$$

Тип электролита	Пример	Ионная сила
1:1	NaCl, HCl, NaNO <sub>3</sub>	$C^*$
1:2	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$3C$
1:3	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> , Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$6C$
2:2	MgSO <sub>4</sub>	$4C$

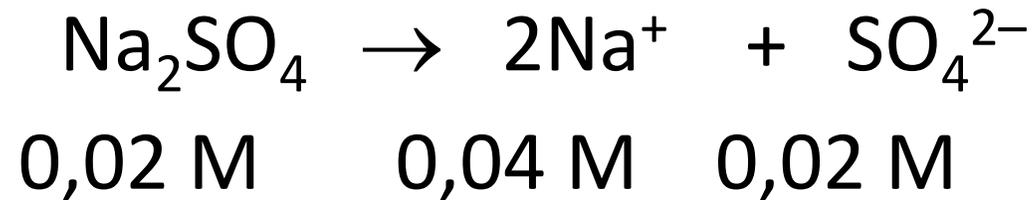
\*  $C$  – молярная концентрация соли

# Концентрация ионов в растворе

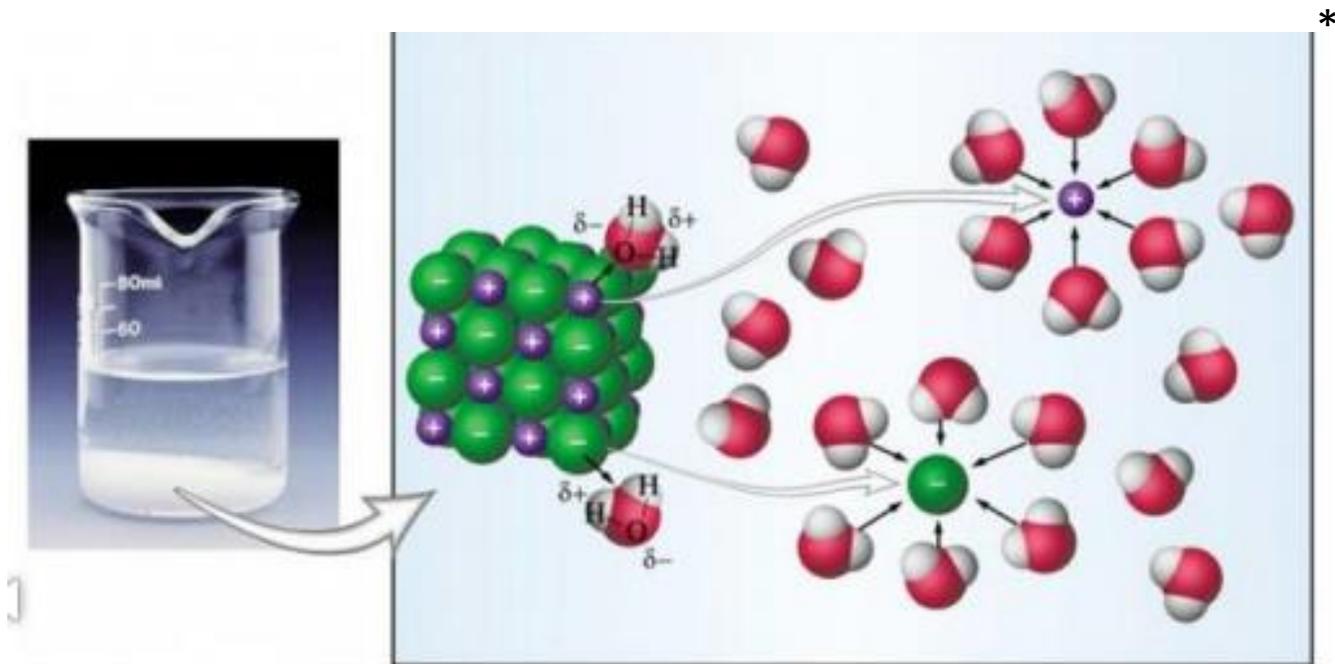
---

- Общая концентрация
- Активная концентрация (активность)

**Общая концентрация** ионов в растворе определяется молярной концентрацией растворенного электролита с учетом его степени диссоциации на ионы и числа ионов на которые диссоциирует молекула электролита в растворе



Активная концентрация (активность) – это концентрация свободных, не связанных в ассоциаты ионов (Г. Льюис, 1901)



\*

<https://thepresentation.ru/fizika/rastvory-klassifikatsiya-rastvorov-lektsiya-5>

# Активная концентрация

---

$$a_i = f_i \cdot [i]$$

$a_i$  – активная концентрация иона

$f_i$  – коэффициент активности

$[i]$  – общая концентрация иона

# Расчет коэффициента активности

---

**1 способ.** Расчетный путь (по уравнению Дебая-Хюккеля)

**2 способ.** Используя справочные данные

# 1 способ

---

Уравнение Дебая-Хюккеля:

$$\lg f_i = -0,509 \cdot z_i^2 \cdot \frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

Применимо для растворов с  $I = 0,01 - 0,2 \text{ M}$  ( $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Если  $I < 0,01 \text{ M}$

$$\lg f_i = -0,509 \cdot z_i^2 \cdot \sqrt{I}$$

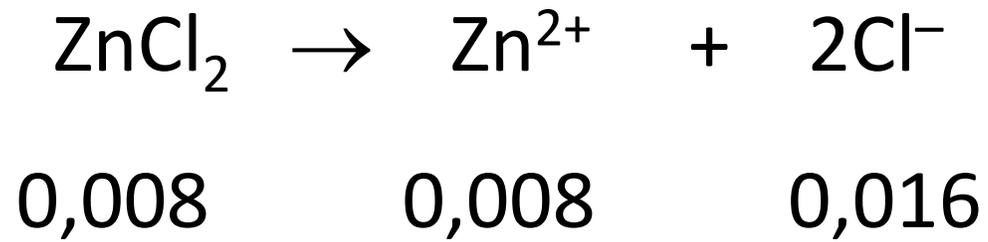
# Задача № 4

---

0,3264 г хлорида цинка растворили в 300 мл воды. Рассчитайте активность ионов в растворе.

Решение:

$$C(\text{ZnCl}_2) = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0.3264}{136 \cdot 0.3} = 0.008\text{M}$$



$$I = \frac{1}{2}(0,008 \cdot 2^2 + 0,016 \cdot 1^2) = 0,024 \text{ (M)}$$

$$\lg f(\text{Zn}^{2+}) = -0,509 \cdot 2^2 \cdot \frac{\sqrt{0,024}}{1 + \sqrt{0,024}} = -0,2731$$

$$f(\text{Zn}^{2+}) = 0,533$$

$$\lg f(\text{Cl}^-) = -0,509 \cdot 1^2 \cdot \frac{\sqrt{0,024}}{1 + \sqrt{0,024}} = -0,0683$$

---

$$f(\text{Cl}^-) = 0,854$$

$$a(\text{Zn}^{2+}) = 0,533 \cdot 0,008 = 0,004 \text{ (моль/л)}$$

$$a(\text{Cl}^-) = 0,854 \cdot 0,016 = 0,014 \text{ (моль/л)}$$

# 2 способ

Значения коэффициентов активности различных ионов

Ионы	Ионная сила раствора							
	0,0005	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
Ионы неорганических соединений								
H <sup>+</sup>	0,975	0,976	0,950	0,933	0,914	0,88	0,86	0,83
Li <sup>+</sup>	0,975	0,965	0,948	0,929	0,907	0,87	0,835	0,80
Rb <sup>+</sup> , Cs <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Ag <sup>+</sup> , Tl <sup>+</sup>	0,975	0,964	0,945	0,924	0,898	0,85	0,80	0,75
K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , I <sup>-</sup> , CN <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,975	0,964	0,945	0,925	0,899	0,85	0,805	0,755
OH <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , HS <sup>-</sup> , ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , IO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , OCN <sup>-</sup> , SCN <sup>-</sup>	0,975	0,964	0,946	0,926	0,900	0,855	0,81	0,76
Na <sup>+</sup> , ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , IO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> AsO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,975	0,964	0,947	0,928	0,902	0,86	0,82	0,775
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , SeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,903	0,867	0,803	0,740	0,660	0,545	0,445	0,355
Pb <sup>2+</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,903	0,868	0,805	0,742	0,665	0,55	0,455	0,37
Sr <sup>2+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> , S <sup>2-</sup> , WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,903	0,868	0,805	0,744	0,67	0,555	0,465	0,38
Ca <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Sn <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Ni <sup>2+</sup> , Co <sup>2+</sup>	0,905	0,870	0,809	0,749	0,675	0,57	0,485	0,405
Mg <sup>2+</sup> , Be <sup>2+</sup>	0,906	0,872	0,813	0,755	0,69	0,595	0,52	0,45
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup>	0,796	0,725	0,612	0,505	0,395	0,25	0,16	0,095
Al <sup>3+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , Ce <sup>3+</sup>	0,802	0,738	0,632	0,54	0,445	0,325	0,245	0,18
[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup>	0,668	0,57	0,425	0,31	0,20	0,10	0,048	0,021
Zr <sup>4+</sup> , Ce <sup>4+</sup> , Sn <sup>4+</sup>	0,678	0,588	0,455	0,35	0,255	0,155	0,10	0,065
Ионы органических соединений								

## Задача № 5

---

Рассчитать (по справочнику) коэффициент активности иона калия для ионной силы 0,015 моль/л.

Значения коэффициентов активности различных ионов

Ионы	Ионная сила раствора							
	0,0005	0,001	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1
Ионы неорганических соединений								
H <sup>+</sup>	0,975	0,976	0,950	0,933	0,914	0,88	0,86	0,83
Li <sup>+</sup>	0,975	0,965	0,948	0,929	0,907	0,87	0,835	0,80
Rb <sup>+</sup> , Cs <sup>+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Ag <sup>+</sup> , Tl <sup>+</sup>	0,975	0,964	0,945	0,924	0,898	0,85	0,80	0,75
K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , I <sup>-</sup> , CN <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,975	0,964	0,945	0,925	0,899	0,85	0,805	0,755
OH <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , HS <sup>-</sup> , ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , IO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , OCN <sup>-</sup> , SCN <sup>-</sup>	0,975	0,964	0,946	0,926	0,900	0,855	0,81	0,76
Na <sup>+</sup> , ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , IO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> AsO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,975	0,964	0,947	0,928	0,902	0,86	0,82	0,775
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , SeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,903	0,867	0,803	0,740	0,660	0,545	0,445	0,355
Pb <sup>2+</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,903	0,868	0,805	0,742	0,665	0,55	0,455	0,37
Sr <sup>2+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Hg <sup>2+</sup> , S <sup>2-</sup> , WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,903	0,868	0,805	0,744	0,67	0,555	0,465	0,38
Ca <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Sn <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , Ni <sup>2+</sup> , Co <sup>2+</sup>	0,905	0,870	0,809	0,749	0,675	0,57	0,485	0,405
Mg <sup>2+</sup> , Be <sup>2+</sup>	0,906	0,872	0,813	0,755	0,69	0,595	0,52	0,45
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup>	0,796	0,725	0,612	0,505	0,395	0,25	0,16	0,095
Al <sup>3+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , Ce <sup>3+</sup>	0,802	0,738	0,632	0,54	0,445	0,325	0,245	0,18
[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>2-</sup>	0,668	0,57	0,425	0,31	0,20	0,10	0,048	0,021
Zr <sup>4+</sup> , Ce <sup>4+</sup> , Sn <sup>4+</sup>	0,678	0,588	0,455	0,35	0,255	0,155	0,10	0,065
Ионы органических соединений								

l		f
0,01	–	0,899

---

0,025	–	0,850
-------	---	-------

$$\Delta l' = -0,015 \qquad \Delta f' = 0,049$$

0,01	–	0,899
------	---	-------

0,015	–	x
-------	---	---

---


$$\Delta l'' = -0,005 \qquad \Delta f'' = 0,899 - x$$

---

$$\frac{\Delta I'}{\Delta I''} = \frac{\Delta f'}{\Delta f''}$$

$$\frac{-0,015}{-0,005} = \frac{0,049}{0,899 - x}$$

---

$$X = 0,899 - \frac{(-0,005) \cdot 0,049}{(-0,015)} = 0,883$$

$$I = 0,015 \text{ моль/л}$$

$$f(\text{K}^+) = 0,883$$

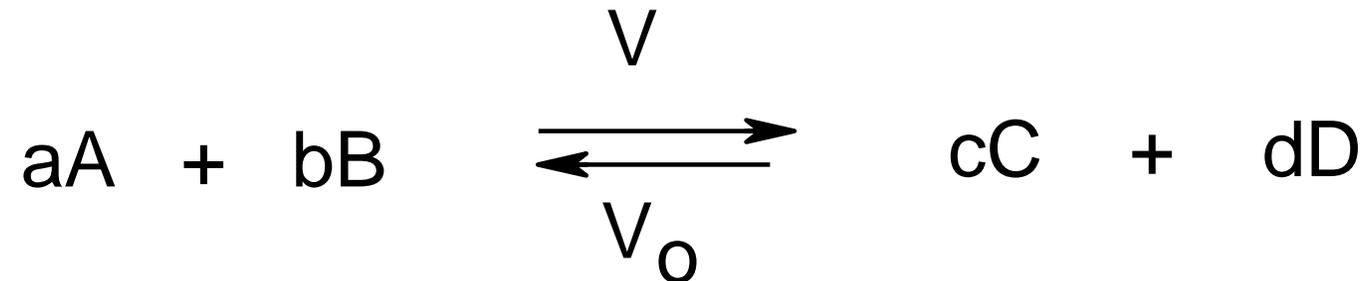
Ответ:  $f(\text{K}^+) = 0,883$

# Закон действующих масс

---

# Химическое равновесие

---



$$V_o = k_o \cdot [C]^c \cdot [D]^d$$

$k_o$  – константа скорости обратной реакции

$$V_n = k_n \cdot [A]^a \cdot [B]^b$$

$k_n$  – константа скорости прямой реакции

При установившемся химическом равновесии

$$V_n = V_o$$

$$k_n \cdot [A]^a \cdot [B]^b = k_o \cdot [C]^c \cdot [D]^d$$

$$1 = \frac{k_o \cdot [C]^c \cdot [D]^d}{k_n \cdot [A]^a \cdot [B]^b}$$

---

$$K_p = \frac{k_n}{k_o} = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

$$K_p = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$$

# Константа химического равновесия

---

При установившемся химическом равновесии произведение концентраций продуктов реакции, деленное на произведение концентраций исходных веществ, есть величина постоянная (для данной реакции, при данной температуре), называемая **константой химического равновесия**

Константа равновесия зависит от температуры и давления и не зависит от концентрации реагирующих веществ

# Константа химического равновесия

---

$K_p > 1$  – преобладает прямая реакция

$K_p < 1$  – преобладает обратная реакция

$$pK = - \lg K_p$$

$\lg K_p < 0$  – преобладает прямая реакция

$\lg K_p > 0$  – преобладает обратная реакция

## Types of Equilibrium Constants in Analytical Chemistry

**TABLE 9-2**

Equilibria and Equilibrium Constants Important in Analytical Chemistry

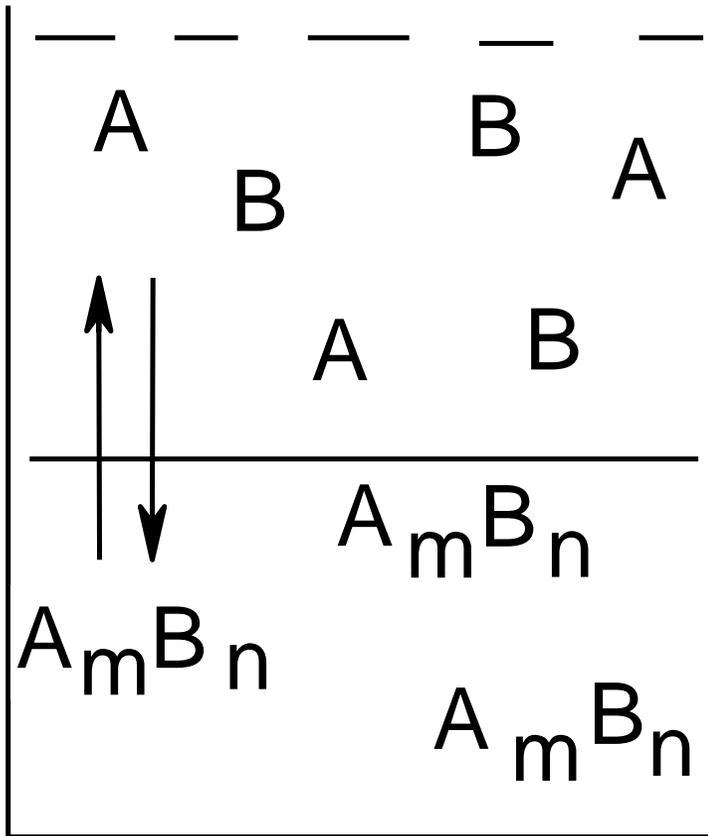
Type of Equilibrium	Name and Symbol of Equilibrium-Constant	Typical Example	Equilibrium-Constant Expression
Dissociation of water	Ion-product constant, $K_w$	$2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$	$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$
Heterogeneous equilibrium between a slightly soluble substance and its ions in a saturated solution	Solubility product, $K_{sp}$	$\text{BaSO}_4(s) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	$K_{sp} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$
Dissociation of a weak acid or base	Dissociation constant, $K_a$ or $K_b$	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$ $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{OH}^- + \text{CH}_3\text{COOH}$	$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ $K_b = \frac{[\text{OH}^-][\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$
Formation of a complex ion	Formation constant, $\beta_n$	$\text{Ni}^{2+} + 4\text{CN}^- \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$	$\beta_4 = \frac{[\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}]}{[\text{Ni}^{2+}][\text{CN}^-]^4}$
Oxidation/reduction equilibrium	$K_{\text{redox}}$	$\text{MnO}_4^- + 5\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 5\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	$K_{\text{redox}} = \frac{[\text{Mn}^{2+}][\text{Fe}^{3+}]^5}{[\text{MnO}_4^-][\text{Fe}^{2+}]^5[\text{H}^+]^8}$
Distribution equilibrium for a solute between immiscible solvents	$K_d$	$\text{I}_2(aq) \rightleftharpoons \text{I}_2(org)$	$K_d = \frac{[\text{I}_2]_{org}}{[\text{I}_2]_{aq}}$

# Гетерогенные равновесия

---

Гетерогенное равновесие – равновесие между осадком и его насыщенным раствором

---



# Произведение растворимости

---

ПР – константа равновесия гетерогенной реакции (осадок -  $A_m B_n$ )

$$ПР = [A]^m [B]^n$$

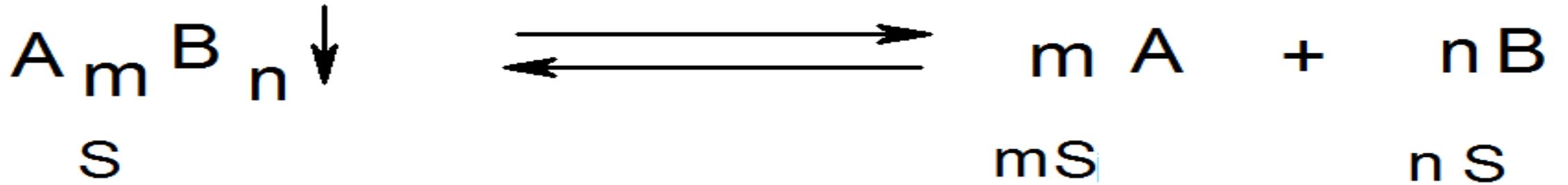
# Растворимость

---

**Растворимость** – общая концентрация вещества в его насыщенном растворе.

**Молярная растворимость  $S$**  – число молей растворенного вещества, содержащихся в 1 л насыщенного раствора (моль/л)

**Массовая растворимость  $C_m$**  – масса растворенного вещества, содержащаяся в 1 л насыщенного раствора (г/л)



$$\text{ПР}^K(A_m B_n) = [A]^m \cdot [B]^n = (mS)^m \cdot (nS)^n = m^m n^n S^{m+n}$$

$$\text{ПР}^K(A_m B_n) = m^m n^n S^{m+n}$$

$$S_{A_m B_n} = \sqrt[m+n]{\frac{\text{ПР}^K_{A_m B_n}}{m^m n^n}} = \sqrt[m+n]{\frac{\text{ПР}^T_{A_m B_n}}{m^m n^n f_A^m f_B^n}}$$

В чистой воде

В растворе электролита (с учетом ионной силы)

# Солевой эффект

---

Солевой эффект проявляется в увеличении растворимости малорастворимого сильного электролита с увеличением ионной силы раствора

## Задача № 6

---

Вычислить растворимость  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  в чистой воде, в 0,01 М растворе  $\text{NaNO}_3$

# Решение

---

В чистой воде  $I \approx 0, f = 1$

$$S_{A_m B_n} = \sqrt[m+n]{\frac{\text{ПР}_{A_m B_n}}{m^m n^n}}$$



$$m=2$$

$$n=1$$

$$\text{ПР}=1,1 \cdot 10^{-12}$$

$$S_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = \sqrt[2+1]{\frac{1,1 \cdot 10^{-12}}{2^2 \cdot 1^1}} = 6,50 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$


---

в растворе 0,01 М NaNO<sub>3</sub> I = 0,01 моль/л

$$f(\text{Ag}^+) = 0,898 \quad f(\text{CrO}_4^{2-}) = 0,660$$

$$S_{\text{A}_m\text{B}_n} = \sqrt[m+n]{\frac{\text{ПР}_{\text{A}_m\text{B}_n}}{m^m n^n f_{\text{A}}^m f_{\text{B}}^n}}$$

$$S_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = \sqrt[2+1]{\frac{1,1 \cdot 10^{-12}}{2^2 \cdot 1^1 \cdot 0,898^2 \cdot 0,660^1}} = 8,02 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

## Задача № 7

---

Сколько г роданида серебра растворяется в 250 мл воды?  $PP(\text{AgSCN}) = 1,1 \cdot 10^{-12}$

# Решение

---

$$S_{AB} = \sqrt{PR^T}$$

$$S_{AgSCN} = \sqrt{1,1 \cdot 10^{-12}} = 1,05 \cdot 10^{-6}$$

$$S_{\text{AgSCN}} = \frac{m}{M(\text{AgSCN}) \cdot V} \quad (\text{моль/л})$$

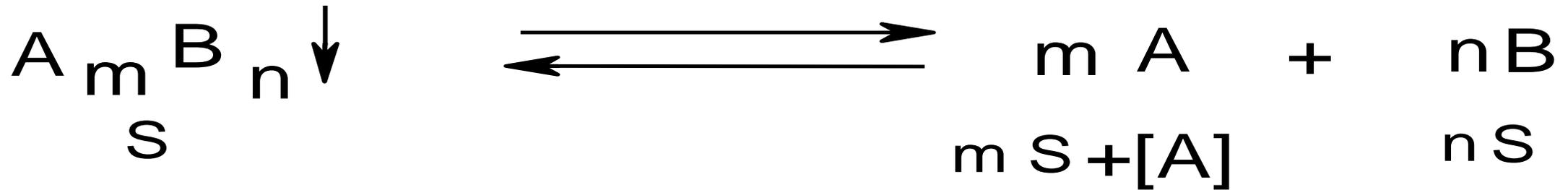
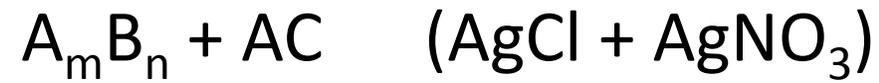
---

$$m(\text{AgSCN}) = S(\text{AgSCN}) \cdot M(\text{AgSCN}) \cdot V$$

$$m(\text{AgSCN}) = 1,05 \cdot 10^{-6} \cdot 165,94 \cdot 0,25 = 4,35 \cdot 10^{-5}$$

# Растворимость малорастворимого электролита в присутствии одноименных ионов

---

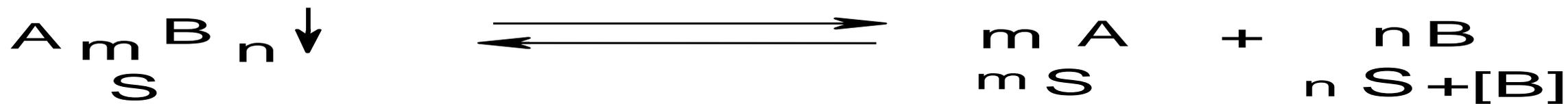


$$\Pi P^K(A_m B_n) = [A]^m \cdot [B]^n = [A]^m \cdot (nS)^n = n^n \cdot S^n \cdot [A]^m$$

$$\Pi P^K(A_m B_n) = n^n \cdot S^n \cdot [A]^m$$

Одноименный катион

$$S_{A_m B_n} = \sqrt[n]{\frac{\text{ПР}_{A_m B_n}^T}{n^n [A]^m f_A^m f_B^n}}$$



$$\text{ПР}^K(A_m B_n) = [A]^m \cdot [B]^n = [B]^n \cdot (mS)^m = m^m \cdot S^m \cdot [B]^n$$

$$\text{ПР}^K(A_m B_n) = m^m \cdot S^m \cdot [B]^n$$

Одноименный анион

$$S_{A_m B_n} = \sqrt[m]{\frac{\text{ПР}_{A_m B_n}^T}{m^m [B]^n f_A^m f_B^n}}$$

## Задача № 8

---

Вычислить растворимость гидроксида железа(III) в чистой воде и 0,025 М растворе гидроксида натрия.

# Решение

---

В чистой воде:



$$m = 1$$

$$n = 3$$

$$S_{\text{Fe(OH)}_3} = \sqrt[1+3]{\frac{6,3 \cdot 10^{-38}}{1^1 \cdot 3^3 \cdot 1^1 \cdot 1^3}} = 2,9 \cdot 10^{-10}$$

# Решение

---

В 0,025 М растворе NaOH

$$I = 0,025 \text{ М} \quad f_{\text{Fe}^{3+}} = 0,325 \quad f_{\text{OH}^-} = 0,855$$

$$S_{\text{Fe(OH)}_3} = \frac{6,3 \cdot 10^{-38}}{1^1 \cdot (0,025)^3 \cdot 0,325^1 \cdot 0,855^3} = 1,9 \cdot 10^{-32}$$

Ответ:  $2,9 \cdot 10^{-10}$  – в чистой воде;

$1,9 \cdot 10^{-32}$  – в 0,025 М

растворе NaOH

# Условие образования осадков малорастворимых электролитов

---

**Ионное произведение (ИП)** – произведение концентраций ионов малорастворимого электролита в данном растворе



ПР =  $[A]^m \cdot [B]^n$  для насыщенного раствора

ИП =  $[A]^m \cdot [B]^n$  для данного раствора

**ИП > ПР осадок выпадет**

**ИП < ПР осадок не выпадет**

**ИП = ПР система в состоянии равновесия**

## Задача № 9

---

Выпадет ли осадок при смешивании 10 мл 0,01 М раствора  $\text{CaCl}_2$  и 5 мл 0,05 М раствора  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ .

# Решение

---



$$\text{ИП}(\text{CaCrO}_4) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CrO}_4^{2-}]$$

$$\text{ИП}(\text{CaCrO}_4) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CrO}_4^{2-}]$$

$$\text{ИП}(\text{CaCrO}_4) = 6,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,7 \cdot 10^{-2} = 1,1 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{ПР}(\text{CaCrO}_4) = 7,1 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{ИП}(\text{CaCrO}_4) \quad ? \quad \text{ПР}(\text{CaCrO}_4)$$

$$1,1 \cdot 10^{-4} \quad < \quad 7,1 \cdot 10^{-4}$$

Ответ: Осадок не выпадет.

# Задача № 10

---

При какой концентрации ионов кальция будет образовываться осадок гидроксида кальция из раствора с  $\text{pH} = 9$ .

# Решение

---

$$ПР(\text{Ca}(\text{OH})_2) = [\text{Ca}] \cdot [\text{OH}]^2 = 6,5 \cdot 10^{-6}$$

$$[\text{Ca}] = \frac{ПР(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{[\text{OH}]^2}$$

$$[\text{OH}] = 10^{-\text{pOH}}$$

$$\text{т.к. } \text{pH} + \text{pOH} = 14 \Rightarrow \text{pOH} = 14 - 9 = 5$$

# Решение

---

$$[\text{Ca}] = \frac{\text{ПР}(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{[\text{OH}]^2} = \frac{6,5 \cdot 10^{-6}}{(10^{-5})^2} = 6,5 \cdot 10^3$$

Ответ: При pH=9 осадок  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  выпадет, если концентрация  $\text{Ca}^{2+}$  будет  $6,5 \cdot 10^3$  М и выше.