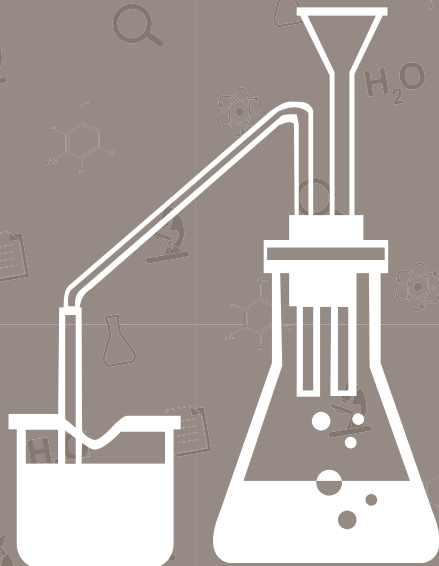


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Тольяттинский государственный университет

# АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ. РАВНОВЕСИЕ В ГОМОГЕННЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

Задачник



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2022

ISBN 978-5-8259-1085-7

УДК 543  
ББК 24.4

Составители:

*Ольга Борисовна Григорьева,  
Нина Александровна Калашникова,  
Александр Сиясатович Бунев*

Рецензенты:

канд. хим. наук, доцент кафедры физической химии  
и хроматографии Самарского национального исследовательского  
университета имени академика С.П. Королева *Н.Ю. Шумская*;  
д-р хим. наук, профессор Центра медицинской химии  
Тольяттинского государственного университета *Г.И. Остапенко*.

Аналитическая химия. Равновесие в гомогенных и гетерогенных системах: задачник / сост. О.Б. Григорьева, Н.А. Калашникова, А.С. Бунев. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2022. — 1 оптический диск. — ISBN 978-5-8259-1085-7.

Сборник содержит задачи на расчеты равновесий в гомогенных и гетерогенных системах.

Предназначен для практических занятий по аналитической химии для студентов направления подготовки 04.03.01 «Химия».

Текстовое электронное издание.

Деривативное электронное издание; в основе использовано печатное издание: Аналитическая химия. Равновесие в гомогенных и гетерогенных системах: задачник / сост. О.Б. Григорьева, Н.А. Калашникова, А.С. Бунев. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2022. — 102 с.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: ПВМ PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПИИ 500 МГц или эквивалент, 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет», 2022

Редактор **Т.М. Воропанова**  
Технический редактор **Н.П. Крюкова**  
Компьютерная верстка: **Е.В. Веселова**  
Художественное оформление,  
компьютерное проектирование: **Е.В. Веселова**

Дата подписания к использованию **12.05.2022.**

Объем издания **1,7 Мб.**

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № **1-40-22.**

Издательство **Тольяттинского государственного университета**  
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,  
тел. 8 (8482) 44-91-47, [www.tltsu.ru](http://www.tltsu.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение ..... 6

### РАВНОВЕСИЯ В ГОМОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

Равновесия в водных растворах кислот и оснований ..... 7

1. Вычисление концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов по величине рН ..... 8
2. Вычисление рН растворов сильных кислот и оснований .... 8
3. Равновесие в растворах слабых кислот и оснований ..... 13
4. Гидролиз солей ..... 23
5. Растворы кислых солей ..... 27
6. Влияние одноименного иона на степень диссоциации слабых кислот и оснований ..... 29
7. Буферные растворы ..... 36
8. Равновесия в растворах комплексных соединений ..... 45

### РАВНОВЕСИЯ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

Система «осадок – раствор» ..... 53

9. Вычисление растворимости осадков по величине произведения растворимости ..... 55
10. Вычисление ПР по данным растворимости осадков ..... 57
11. Сравнение растворимости осадков ..... 60
12. Влияние одноименного иона на растворимость осадков ..... 61
13. Условия образования осадков ..... 64
14. Влияние рН на растворимость осадков ..... 70
15. Осаждение малорастворимых солей в растворах комплексных соединений ..... 75
16. Вычисление концентрации водородных ионов в насыщенных растворах малорастворимых солей ..... 79

17. Вычисление рН насыщенных растворов, находящихся в равновесии с осадком (с учетом гидролиза) .....	79
18. Окислительно-восстановительные процессы и электронно-ионные уравнения.....	80
Ответы .....	86
Библиографический список .....	97
Приложения .....	98

## ВВЕДЕНИЕ

Цель освоения дисциплины – усвоить фундаментальные положения аналитической химии с возможностью их практического применения, сформировать способность обоснованно выбирать метод, методику и условия аналитического эксперимента.

Сборник задач составлен в соответствии с учебной программой по общему курсу аналитической химии по направлению подготовки 04.03.01 «Химия». Содержит задачи на расчеты равновесий в гомогенных и гетерогенных системах. Каждому разделу предшествует небольшое теоретическое введение, приводятся примеры решения типовых задач, необходимые справочные данные.

Цель задачника – обеспечить освоение основных теоретических положений аналитической химии; научить применять теоретические положения аналитической химии в интерпретации результатов эксперимента; приобрести навыки решения основных уравнений аналитической химии и проведения расчетов результатов количественного определения вещества и состава.

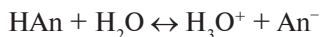
Предназначено для помощи студентам при подготовке к практическим и лабораторным занятиям по разделам курса «Аналитическая химия».

# РАВНОВЕСИЯ В ГОМОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

## Равновесия в водных растворах кислот и оснований

Согласно представлениям протолитической теории, кислотами являются химические соединения, способные отдавать протоны, а основаниями — соединения, способные присоединять протоны.

В водном растворе равновесие может быть представлено следующим образом:



или в упрощенной форме:



Вода способна к самоионизации, вследствие чего частично диссоциирует на ионы:



или в упрощенной форме:



Константа диссоциации воды на ионы равна  $1,8 \cdot 10^{-16}$  (при  $25^\circ\text{C}$ ). Можно рассчитать молярную концентрацию 1 л воды. Она составляет 55,6 моль/л. Подставив это значение в выражение для константы диссоциации, можно найти произведение концентраций ионов воды ( $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ ). Эта величина является константой и называется *ионным произведением воды*  $K_w$ . При температуре  $25^\circ\text{C}$  она равна:

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}.$$

Эта величина является постоянной не только для чистой воды, но и для разбавленных водных растворов любых веществ и связывает между собой концентрации протонов и гидроксид-ионов.

В чистой воде концентрации ионов равны между собой  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$ . Концентрацию ионов водорода удобно выражать и в логарифмической форме в виде отрицательных логарифмов величины, которые обозначаются  $p$ :

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$$

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

Тогда ионное произведение воды в логарифмическом виде:

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_{\text{H}_2\text{O}} = 14.$$

В нейтральной среде при равенстве концентраций протонов и гидроксид-ионов  $\text{pH} = 7$ .

### 1. Вычисление концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов по величине pH

Вычислите концентрации  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  по значениям pH.

1.1.  $\text{pH} = 1,55$

1.2.  $\text{pH} = 2,24$

1.3.  $\text{pH} = 5,85$

1.4.  $\text{pH} = 9,18$

1.5.  $\text{pH} = 8,90$

1.6.  $\text{pH} = 12,15$

1.7.  $\text{pH} = 3,54$

1.8.  $\text{pH} = 0,30$

1.9.  $\text{pH} = 6,70$

1.10.  $\text{pH} = 9,87$

1.11.  $\text{pH} = 1,68$

1.12.  $\text{pH} = 9,45$

1.13.  $\text{pH} = 5,49$

1.14.  $\text{pH} = 10,86$

1.15.  $\text{pH} = 8,14$

1.16.  $\text{pH} = 11,72$

1.17.  $\text{pH} = 4,50$

1.18.  $\text{pH} = 7,98$

1.19.  $\text{pH} = 3,20$

1.20.  $\text{pH} = 13,60$

### 2. Вычисление pH растворов сильных кислот и оснований

Сильные кислоты и сильные основания в водных растворах практически полностью диссоциируют на ионы. В первом приближении



можно считать, что концентрация протонов в растворах сильной кислоты и гидроксид-ионов в растворах сильного основания равна исходной концентрации вещества:

$$[\text{H}^+] \cong C_{\text{HAn}}, \text{pH} = -\lg C_{\text{HAn}}$$

$$[\text{OH}^-] \cong C_{\text{вон}}, \text{pOH} = -\lg C_{\text{вон}}$$

Для более строгих расчетов, особенно для растворов с высокой концентрацией сильных электролитов, расчет следует вести через активности.

Активность  $a$  – «действующая» концентрация. Активность всегда меньше внесенной в раствор концентрации вещества А:  $a \leq [A]$ . Долю концентрации, которая является «действующей», показывает коэффициент активности  $f$ :

$$a = f[A],$$

$f$  характеризует степень отклонения системы от идеальной за счет электростатического взаимодействия ионов.

В идеальной системе  $f = 1$ .

Формула Дебая – Хюккеля:

$$-\lg f_i = \frac{AZ_i^2\sqrt{\mu}}{1 + Ba\sqrt{\mu}} \text{ при } \mu < 0,1$$

$$-\lg f_i = AZ_i^2\sqrt{\mu} \text{ при } \mu < 0,01,$$

где  $\mu$  – ионная сила раствора;  $Z$  – заряд иона; А, В – константы, зависящие от температуры и диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) растворителя. Для воды при 20 °С  $A \cong 0,5$ ;  $B \cong 0,3$ ;  $a$  – расстояние максимального сближения ионов,  $a = 3\text{\AA}$ , тогда

$$-\lg f_i = \frac{0,5Z_i^2\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$$

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [i] Z_i^2.$$

Для более точных расчетов используют уравнение Дэвиса:

$$-\lg f_i = \frac{0,5Z_i^2\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} - 0,1Z_i^2\mu$$

$$-\lg f_i = \frac{0,5Z_i^2\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} - 0,1Z_AZ_B\mu.$$

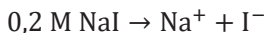
Коэффициент активности индивидуального иона нельзя измерить экспериментально, так как нельзя получить раствор, содержащий ионы только одного заряда.

Экспериментально определяется лишь средний коэффициент активности  $f_{\pm}$ :

$$\text{для АВ } f_{\pm} = \sqrt{f_A f_B},$$

$$\text{для } A_m B_n \quad f_{\pm} = \sqrt[m+n]{f_A^m f_B^n}.$$

*Пример 1.* Рассчитайте средний коэффициент активности иодида натрия в 0,2 М растворе. Сравните с экспериментальной величиной 0,751.



$$\mu = \frac{1}{2}(0,2 \cdot 1^2 + 0,2 \cdot 1^2) = 0,2$$

$$-\lg f_{\pm} = \frac{0,5Z_A Z_B \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} = \frac{0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,2}}{1 + \sqrt{0,2}} = \frac{0,5 \cdot 0,45}{1 + 0,45} = 0,155$$

$$\lg f_{\pm} = -0,155 \quad f_{\pm} = 0,7$$

$$-\lg f_{\pm} = \frac{0,5Z_A Z_B \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} - 0,1Z_A Z_B \mu$$

$$-\lg f_{\pm} = 0,155 - 0,02 = 0,135 \quad f_{\pm} = 0,733.$$

*Пример 2.* Вычислите ионную силу и активность катиона алюминия в 0,005 М растворе хлорида алюминия.



$$0,005 \quad 0,005 \quad 0,015$$

$$\mu = \frac{1}{2}(0,005 \cdot 3^2 + 0,015 \cdot 1^2) = 0,03$$

$$-\lg f_{\text{Al}^{3+}} = \frac{0,5 \cdot 9 \cdot \sqrt{0,03}}{1 + \sqrt{0,03}} = \frac{4,5 \cdot 0,173}{1,173} = 0,664$$

$$\lg f_{\text{Al}^{3+}} = -0,664 \quad f_{\text{Al}^{3+}} = 0,217$$

$$a_{\text{Al}^{3+}} = 0,217 \cdot 0,005 = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

$$a_{\text{Al}^{3+}} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

- 2.1. Вычислить pH 0,1%-го раствора хлороводородной кислоты.
- 2.2. В 1 л содержится 0,1 г HCl. Вычислить pH раствора.
- 2.3. Вычислить pH 0,027%-го раствора соляной кислоты.
- 2.4. Вычислить pH 0,1%-го раствора азотной кислоты.
- 2.5. Раствор содержит 0,05 г HNO<sub>3</sub> в 150 мл. Вычислить pH раствора.
- 2.6. Вычислить pH 0,01%-го раствора бромистоводородной кислоты.
- 2.7. Раствор содержит 0,25 г HBr в 500 мл. Вычислить pH раствора.
- 2.8. Вычислить pH 0,1%-го раствора хлорной кислоты.
- 2.9. В 250 мл содержится 0,5 г HClO<sub>4</sub>. Вычислить pH раствора.
- 2.10. Вычислить pH 0,25%-го раствора иодистоводородной кислоты.
- 2.11. В 250 мл раствора содержится 0,05 г HI. Вычислить pH раствора.
- 2.12. Вычислить pH 0,15%-го раствора гидроксида натрия.
- 2.13. В 300 мл раствора содержится 0,2 г гидроксида натрия. Вычислить pH раствора.
- 2.14. Вычислить pH 0,035%-го раствора едкого натра.
- 2.15. Вычислить pH 0,15%-го раствора гидроксида калия.
- 2.16. В 250 мл раствора содержится 0,2 г гидроксида калия. Вычислить pH раствора.
- 2.17. В 200 мл раствора содержится 0,15 г гидроксида цезия. Вычислить pH раствора.
- 2.18. Вычислить pH 0,1%-го раствора гидроксида цезия.
- 2.19. Вычислить pH 0,15%-го раствора гидроксида лития.
- 2.20. Вычислить pH 0,023 М раствора гидроксида лития.
- 2.21. Вычислить pH 0,014%-го раствора гидроксида лития.
- 2.22. В 300 мл раствора содержится 0,5 г гидроксида лития. Вычислить pH раствора.
- 2.23. Вычислить pH 0,15%-го раствора гидроксида рубидия.
- 2.24. Вычислить pH 0,1 М раствора гидроксида рубидия.

**2.25.** В 250 мл раствора содержится 0,21 г гидроксида рубидия. Вычислить рН раствора.

**2.26.** Вычислить рН раствора, полученного прибавлением 1 капли (0,05 мл) 0,01 М раствора NaOH к 90 мл чистой воды.

**2.27.** Вычислить рН раствора, полученного прибавлением 1 капли (0,05 мл) 1%-го раствора КОН к 75 мл чистой воды.

**2.28.** Вычислить рН раствора, полученного прибавлением 1 капли (0,05 мл) 0,05%-го раствора NaOH к 117 мл чистой воды.

**2.29.** Вычислить рН раствора, полученного прибавлением 1 капли (0,05 мл) 0,05%-го раствора NaOH к 183 мл чистой воды.

**2.30.** Вычислить рН раствора, полученного прибавлением 3 капли (0,05 мл · 3) 0,04%-го раствора КОН к 1059 мл чистой воды.

**2.31.** К 3,5 л воды прибавлен 1 мл соляной кислоты плотностью 1,12 г/мл. Чему равен рН раствора?

**2.32.** К 3,5 л воды прибавлен 1 г азотной кислоты плотностью 1,4 г/мл. Чему равен рН раствора?

**2.33.** К 3,5 л воды прибавлен 1 мл азотной кислоты плотностью 1,4 г/мл. Чему равен рН раствора?

**2.34.** Чему равен рН раствора, если к 1500 мл воды прибавить 5 капель (0,05 мл · 5) 10%-й соляной кислоты?

**2.35.** Чему будет равен рН раствора, если к 1750 мл воды прибавить 2 г 5%-й азотной кислоты?

**2.36.** К 1750 мл воды прибавлено 2 г 5%-й соляной кислоты. Чему будет равен рН этого раствора?

**2.37.** К 50 мл 0,01 М раствора гидроксида калия добавлено 50,05 мл 0,01 М раствора соляной кислоты. Найти рН этого раствора.

**2.38.** Смешано 25 мл 0,22 М раствора соляной кислоты и 24 мл 0,25 М раствора гидроксида калия. Найти рН полученного раствора.

#### Расчет коэффициентов активности и активности ионов

**2.39.** Рассчитайте средний коэффициент активности хлорида кальция в 0,01 М растворе и сравните с экспериментальной величиной 0,751.

**2.40.** Рассчитайте средний коэффициент активности хлорида алюминия в 0,10 М растворе и сравните с экспериментальной величиной 0,340.

**2.41.** Рассчитайте коэффициент активности хлорид-иона в 0,02 М растворе хлорида кальция и сравните с табличным значением.

**2.42.** Рассчитайте активность иона водорода в 0,010 М растворе соляной кислоты.

**2.43.** Рассчитайте активность иона водорода в 0,010 М растворе соляной кислоты в присутствии 0,05 М раствора сульфата натрия.

### 3. Равновесие в растворах слабых кислот и оснований

В случае слабых электролитов диссоциация протекает не полностью, поэтому для количественных расчетов используют константы устанавливающегося равновесия: константу диссоциации кислоты или основания.

$$K_{\text{HAn}} = \frac{[\text{H}^+][\text{An}^-]}{[\text{HAn}]},$$

если общую концентрацию кислоты обозначить  $C_{\text{HAn}}$ , то в момент равновесия

$$[\text{HAn}] = C_{\text{HAn}} - [\text{H}^+]$$

$$K_{\text{HAn}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_{\text{HAn}} - [\text{H}^+]}$$

Если константа диссоциации намного меньше  $1 \cdot 10^{-3}$ , то  $[\text{H}^+] \ll \ll C_{\text{HAn}}$ , тогда

$$K_{\text{HAn}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_{\text{HAn}}},$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{\text{HAn}} \cdot C_{\text{HAn}}}.$$

Соответственно для оснований:  $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_{\text{вон}} \cdot C_{\text{вон}}}$ .

Диссоциация слабых электролитов количественно характеризуется также степенью диссоциации  $\alpha$ .

$\alpha$  – это отношение концентрации вещества, распавшегося на ионы, к общей его концентрации в растворе:

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{C_{\text{HAn}}}.$$

Между константой диссоциации и степенью диссоциации существует зависимость:

$$K_{\text{HAn}} = \frac{C^2 \alpha^2}{C - C\alpha} = \frac{C \alpha^2}{1 - \alpha},$$

если  $\alpha < 5\%$ , то  $K_{\text{HAn}} = C\alpha^2$ , тогда

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{HAn}}}{C}}.$$

В растворах многоосновных кислот последние диссоциируют ступенчато (последовательно). В справочниках приводятся константы диссоциации кислот по каждой ступени. Суммарная константа диссоциации многоосновных кислот равна произведению ступенчатых констант.



$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HAn}^-]}{[\text{H}_2\text{An}]}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{An}^{2-}]}{[\text{HAn}^-]}.$$

Если  $K_1 \geq 10^4 \cdot K_2$ , то концентрация ионов водорода определяется главным образом диссоциацией кислоты по первой ступени.

Поскольку  $[\text{H}^+] \cong [\text{HAn}^-]$ , то

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{An}^{2-}]}{[\text{HAn}^-]} \cong [\text{An}^{2-}].$$

Необходимые для расчетов значения констант диссоциации приведены в прил. 1.

*Пример 1.* Вычислите pH раствора муравьиной кислоты с массовой долей 5%.

$$K_{\text{HAn}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_{\text{HAn}}} = 1,87 \cdot 10^{-4}.$$

Рассчитаем молярную концентрацию муравьиной кислоты ( $M = 46$  г/моль):

$$C_{\text{НСООН}} = \frac{w(\%) \cdot \rho \cdot 1000}{100 \cdot M} = \frac{5 \cdot 1 \cdot 1000}{100 \cdot 46} = 1,087 \text{ моль/л.}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{1,87 \cdot 10^{-4} \cdot 1,087} = 1,399 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = 1,85.$$

Ответ: 1,85.

*Пример 2.* Уксусная кислота в растворе с массовой долей 0,76% диссоциирована на 1,17%. Вычислите константу диссоциации.

$$C_{\text{СН}_3\text{СООН}} = \frac{w(\%) \cdot \rho \cdot 1000}{100 \cdot M} = \frac{0,76 \cdot 1 \cdot 1000}{100 \cdot 60,05} = 0,1266 \text{ моль/л}$$

$$K_{\text{HAc}} = C\alpha^2 = 0,1266 \cdot (0,0117)^2 = 1,73 \cdot 10^{-5}.$$

Ответ:  $1,73 \cdot 10^{-5}$ .

*Пример 3.* В 0,206 М растворе уксусной кислоты  $\text{pH} = 2,72$ . Вычислите константу диссоциации.

$$[\text{H}^+] = 10^{-2,72} = 1,905 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

$$K_{\text{HAc}} = \frac{[\text{H}^+]^2}{C_{\text{HAc}}} = \frac{(1,905 \cdot 10^{-3})^2}{0,206} = 1,76 \cdot 10^{-5}.$$

Ответ:  $1,76 \cdot 10^{-5}$ .

*Пример 4.* Вычислите концентрации  $\text{HS}^-$  и  $\text{S}^{2-}$  в 0,1 М растворе  $\text{H}_2\text{S}$ .

$$K_1 = 1,0 \cdot 10^{-7}$$

$$K_2 = 2,5 \cdot 10^{-13}$$

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} = \frac{[\text{HS}^-]^2}{C - [\text{HS}^-]} \cong \frac{[\text{HS}^-]^2}{C}$$

$$[\text{HS}^-] = \sqrt{C \cdot K_1} = \sqrt{0,1 \cdot 1 \cdot 10^{-7}} = \sqrt{10^{-8}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]} \cong [\text{S}^{2-}] = 2,5 \cdot 10^{-13}$$

$$[\text{S}^{2-}] = 2,5 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л.}$$

*Пример 5.* Вычислите рН 0,1 М раствора серной кислоты.

Особенностью серной кислоты является то, что это сильная кислота по первой ступени (диссоциирует по ней нацело) и имеет константу диссоциации по второй ступени. Величина второй константы больше чем  $10^{-3}$ , следовательно, пренебрегать ее распадом по этой ступени нельзя.

$$K_2 = 1,15 \cdot 10^{-2}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{HSO}_4^-]}$$

После диссоциации по первой ступени в растворе 0,1 М протонов и 0,1 М гидросульфат-ионов. Пусть по второй ступени распалось  $x$  моль гидросульфат-иона, тогда в момент равновесия  $[\text{HSO}_4^-] = 0,1 - x$ ;  $[\text{H}^+] = 0,1 + x$ ;  $[\text{SO}_4^{2-}] = x$ .

Составим и решим уравнение относительно  $x$ :

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{HSO}_4^-]} = \frac{(0,1 + x)x}{0,1 - x} = 1,15 \cdot 10^{-2}$$

$$x^2 + 0,112x - 1,15 \cdot 10^{-3} = 0$$

$$x = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

$$[\text{H}^+] = 0,1 + 0,0088 = 0,1088 \quad \text{рН} = 0,96.$$

Ответ: рН = 0,96.

*Если в растворе со слабыми электролитами находятся сильные, создающие в растворе заметную ионную силу, расчет следует вести с учетом коэффициентов активности.*

*Пример 6.* Рассчитайте равновесную концентрацию и активность ацетат-иона в 0,100 М растворе уксусной кислоты в присутствии 0,050 М раствора хлорида натрия.



$$K_a = \frac{a_{\text{CH}_3\text{COO}^-} \cdot a_{\text{H}^+}}{a_{\text{CH}_3\text{COOH}}}$$

$$\mu = \frac{1}{2}(0,05 \cdot 1^2 + 0,05 \cdot 1^2) = 0,05$$



$$-\lg f_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = \frac{0,5Z^2\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} = \frac{0,5 \cdot 1^2 \sqrt{0,05}}{1 + \sqrt{0,05}} = \frac{0,5 \cdot 0,224}{1 + 0,224} = 0,092$$

$$\lg f = -0,092 \quad f_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 0,809.$$

Вычислим реальную константу диссоциации:

$$K_T = K_p \frac{f_{\text{CH}_3\text{COO}^-} \cdot f_{\text{H}^+}}{1}$$

$$K_p = \frac{K_T}{f_{\text{CH}_3\text{COO}^-} \cdot f_{\text{H}^+}} = \frac{1,74 \cdot 10^{-5}}{(0,809)^2} = 2,66 \cdot 10^{-5}$$

$$K_p = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]^2}{C}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \sqrt{K_p \cdot C} = \sqrt{2,66 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1} = 1,63 \cdot 10^{-3} \text{ М}$$

$$a_{\text{CH}_3\text{COO}^-} = 0,809 \cdot 1,63 \cdot 10^{-3} = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

- 3.1. Вычислить pH 5%-го раствора муравьиной кислоты.
- 3.2. Вычислить pH 3,7%-го раствора муравьиной кислоты.
- 3.3. Вычислить pH 0,01%-го раствора уксусной кислоты.
- 3.4. Вычислить pH 0,7%-го раствора уксусной кислоты.
- 3.5. Вычислить pH 0,001%-го раствора аммиака.
- 3.6. Вычислить pH 0,5%-го раствора синильной кислоты.
- 3.7. Вычислить pH 0,14%-го раствора аммиака.
- 3.8. Вычислить pH 1%-го раствора метаборной кислоты.
- 3.9. Раствор содержит 2,5 г синильной кислоты в 1000 мл. Рассчитайте pH этого раствора.
- 3.10. Раствор содержит 2,5 г азотистоводородной кислоты в 1000 мл. Рассчитайте pH раствора.
- 3.11. Чему равна концентрация формиат-иона, если в 100 мл раствора содержится 3,7 г муравьиной кислоты?
- 3.12. Чему равна концентрация формиат-иона, если в 100 мл раствора содержится 0,24 г муравьиной кислоты?
- 3.13. Чему равна концентрация ацетат-иона, если в 100 мл раствора содержится 0,7 г уксусной кислоты?
- 3.14. Чему равна концентрация иона аммония, если в 100 мл раствора содержится 0,01 г аммиака?

**3.15.** Чему равна концентрация иона аммония, если в 1000 мл раствора содержится 0,3 г аммиака?

**3.16.** Чему равен рН раствора, если в 1 л чистой воды растворить аммиак, полученный из 1 г сернистого аммония?

**3.17.** Чему равен рН раствора, если в 1,5 л чистой воды растворить аммиак, полученный из 2,38 г бромистого аммония?

**3.18.** Чему равен рН раствора, если 3%-й раствор аммиака разбавить в 2375 раз?

**3.19.** Чему будет равен рН раствора, если 0,3%-й раствор аммиака разбавить в 728 раз?

**3.20.** Вычислить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона, если рН раствора составляет 9,48.

**3.21.** рН раствора составляет 2,22. Определить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона.

**3.22.** Вычислить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона при рН = 5,44.

**3.23.** Вычислить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона, если рН раствора составляет 9,14.

**3.24.** Определить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона при рН = 10,95.

**3.25.** Определить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона, если рН раствора составляет 12,05.

**3.26.** рН раствора составляет 8,01. Вычислить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона.

**3.27.** Вычислить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона при рН раствора 0,3.

**3.28.** Определить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона при рН раствора 11,75.

**3.29.** Вычислить концентрацию иона водорода и гидроксид-иона, если рН раствора составляет 9,88.

Вычисление константы  
и степени диссоциации слабых электролитов

**3.30.** Уксусная кислота в 3%-м растворе диссоциирована на 0,6%. Вычислить константу диссоциации.

**3.31.** Определить константу диссоциации азотистоводородной кислоты в 2%-м растворе, диссоциированной на 0,75%.

**3.32.** Вычислить константу диссоциации муравьиной кислоты, диссоциированной на 1,75% в 2,7%-м растворе.

**3.33.** Монохлоруксусная кислота в 0,9%-м растворе диссоциирована на 10,2 %. Определить константу диссоциации.

**3.34.** Дихлоруксусная кислота в 5,5%-м растворе диссоциирована на 30,2 %. Вычислить константу диссоциации кислоты.

**3.35.** В 1%-м растворе аммиака степень диссоциации равна 0,55 %. Определить константу диссоциации.

**3.36.** Определить константу диссоциации циановой кислоты в 3,5%-м растворе, если степень диссоциации составляет 1,2 %.

**3.37.** В 9%-м растворе иодоуксусная кислота диссоциирована на 3,75 %. Вычислить константу диссоциации иодоуксусной кислоты.

**3.38.** В 1,5%-м растворе гидроксиламина степень диссоциации составляет 0,015 %. Определить константу диссоциации гидроксиламина.

**3.39.** Степень диссоциации гидразина в 1,5%-м растворе составляет 0,16 %. Вычислите константу диссоциации гидразина.

**3.40.** Степень диссоциации в 0,6%-м растворе уксусной кислоты равна 1,35 %. Вычислить константу диссоциации.

**3.41.** Уксусная кислота в 0,2 М растворе диссоциирована на 0,95 %. Определить константу диссоциации уксусной кислоты.

**3.42.** Муравьиная кислота в 0,1 М растворе диссоциирована на 4,207 %. Вычислить константу диссоциации муравьиной кислоты.

**3.43.** Синильная кислота в 0,2 М растворе диссоциирована на 0,0063 %. Вычислить константу диссоциации синильной кислоты.

**3.44.** Степень диссоциации аммиака в 0,5 М растворе составляет 0,6 %. Чему равна константа диссоциации аммиака?

**3.45.** Степень диссоциации азотистоводородной кислоты в 0,5 М растворе равна 0,72 %. Вычислить константу диссоциации.

**3.46.** В 0,2 М растворе уксусной кислоты  $\text{pH} = 2,72$ . Чему равна константа диссоциации уксусной кислоты?

**3.47.** Муравьиная кислота в 2,7%-м растворе имеет  $\text{pH} = 1,99$ . Определить константу диссоциации муравьиной кислоты.

**3.48.**  $\text{pH}$  0,5 М раствора азотистоводородной кислоты составляет 2,44. Чему равна константа диссоциации кислоты?

**3.49.** Азотистая кислота в 1,5%-м растворе имеет  $\text{pH} = 1,95$ . Вычислить константу диссоциации азотистой кислоты.

**3.50.** Иодоуксусная кислота в 3,66%-м растворе имеет  $\text{pH} = 1,94$ . Чему равна константа диссоциации?

**3.51.** Метаборная кислота в 0,44%-м растворе имеет  $\text{pH} = 5,06$ . Вычислить константу диссоциации.

**3.52.** Хлорноватистая кислота в  $1,99 \cdot 10^{-2}$  М растворе имеет  $pH = 4,5$ . Чему равна константа диссоциации кислоты?

**3.53.** В 0,2 М растворе аммиака  $pH = 11,28$ . Вычислить константу диссоциации аммиака.

**3.54.** При какой концентрации уксусная кислота диссоциирована на 50 %?

**3.55.** При какой концентрации муравьиная кислота диссоциирована на 25 %?

**3.56.** При какой концентрации раствор аммиака диссоциирован на 50 %?

**3.57.** Чему равна концентрация раствора иодноватой кислоты, диссоциированной в нем на 50 %?

**3.58.** При какой концентрации раствора уксусная кислота диссоциирована на 7 %?

**3.59.** Чему равна концентрация раствора уксусной кислоты, диссоциированной в нем на 8 %?

**3.60.** При какой концентрации уксусная кислота диссоциирована на 16 %?

**3.61.** Чему равна степень диссоциации трихлоруксусной кислоты в 0,1%-м растворе?

**3.62.** Чему равна степень диссоциации дихлоруксусной кислоты в 0,1%-м растворе?

**3.63.** Чему равна степень диссоциации монохлоруксусной кислоты в 0,1%-м растворе?

**3.64.** Чему равна степень диссоциации муравьиной кислоты в 0,1%-м растворе?

**3.65.** Чему равна степень диссоциации синильной кислоты в 0,1%-м растворе?

**3.66.** Чему равна степень диссоциации уксусной кислоты в 0,1%-м растворе?

**3.67.** Чему равна степень диссоциации азотистоводородной кислоты в 0,1%-м растворе?

**3.68.** Константа диссоциации вещества  $K = 1 \cdot 10^{-3}$ . При какой концентрации степень диссоциации достигает 10 %?

**3.69.** Константа диссоциации вещества  $K = 1 \cdot 10^{-4}$ . При какой концентрации степень диссоциации достигает 5 %?

**3.70.** Константа диссоциации вещества  $K = 1 \cdot 10^{-4}$ . При какой концентрации степень диссоциации достигает 10 %?

**3.71.** Константа диссоциации вещества  $K = 2 \cdot 10^{-4}$ . При какой концентрации степень диссоциации достигает 5 %?

**3.72.** Константа диссоциации вещества  $K = 1,8 \cdot 10^{-5}$ . При какой концентрации степень диссоциации достигает 10%?

**3.73.** Константа диссоциации вещества  $K = 1 \cdot 10^{-9}$ . При какой концентрации степень диссоциации достигает 3%?

**3.74.** Какой величине должна быть равна константа диссоциации, чтобы при концентрации  $1 \cdot 10^{-4}$  М степень диссоциации была равна 10%?

**3.75.** Какой величине должна быть равна константа диссоциации, чтобы при концентрации  $1 \cdot 10^{-4}$  М степень диссоциации была равна 2%?

**3.76.** Какой величине должна быть равна константа диссоциации, чтобы при концентрации  $3 \cdot 10^{-3}$  М степень диссоциации была равна 5%?

**3.77.** Чему равна константа диссоциации при концентрации  $4 \cdot 10^{-2}$  М и степени диссоциации 1%?

**3.78.** Чему равна константа диссоциации при концентрации  $5 \cdot 10^{-5}$  М и степени диссоциации 5%?

**3.79.** Чему равна концентрация ацетат-иона в 0,1%-м растворе уксусной кислоты?

**3.80.** Чему равна концентрация монохлорацетат-иона в 0,1%-м растворе монохлоруксусной кислоты?

**3.81.** Определить концентрацию цианид-иона в 0,1%-м растворе синильной кислоты.

**3.82.** Определить концентрацию азид-иона в 0,1%-м растворе азотистоводородной кислоты.

**3.83.** Определить концентрацию азид-иона в 0,1%-м растворе азотистоводородной кислоты.

**3.84.** Чему равна концентрация трихлорацетат-иона в  $6,1 \cdot 10^{-3}$  М растворе трихлоруксусной кислоты?

**3.85.** Чему равна концентрация дихлорацетат-иона в  $7,7 \cdot 10^{-3}$  М растворе дихлоруксусной кислоты?

**3.86.** Чему равна концентрация формиат-иона в  $2,2 \cdot 10^{-2}$  М растворе муравьиной кислоты?

### Многоосновные кислоты

**3.87.** Найти концентрацию  $H^+$  в 0,1 М растворе сероводородной кислоты.

**3.88.** Найти концентрацию  $S^{2-}$  в 0,08 М растворе сероводородной кислоты.

- 3.89.** Найти рН в 0,03 М растворе сероводородной кислоты.
- 3.90.** Найти концентрацию в  $\text{HS}^-$  и  $\text{S}^{2-}$  0,1 М растворе сероводородной кислоты.
- 3.91.** Вычислить концентрацию  $\text{H}^+$  и рН в 0,01 М растворе щавелевой кислоты.
- 3.92.** Вычислить концентрацию  $\text{HC}_2\text{O}_4^-$  в 0,05 М растворе щавелевой кислоты.
- 3.93.** Вычислить концентрацию  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  в 0,05 М растворе щавелевой кислоты.
- 3.94.** Вычислить рН насыщенного раствора щавелевой кислоты. Растворимость  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 9,5 : 100$ .
- 3.95.** Определить концентрацию  $\text{H}^+$  в 0,001 М растворе сернистой кислоты.
- 3.96.** Вычислить рН в 0,2 М растворе сернистой кислоты.
- 3.97.** Вычислить концентрацию  $\text{HSO}_3^-$  в 0,05 М растворе сернистой кислоты.
- 3.98.** Определить концентрацию  $\text{SO}_3^{2-}$  в 0,2 М растворе сернистой кислоты.
- 3.99.** Вычислить рН 0,1 М раствора сернистой кислоты.
- 3.100.** Определить концентрацию  $\text{HSO}_3^-$  в 0,2 М растворе сернистой кислоты.
- 3.101.** Вычислить рН и концентрацию бисульфит-ионов при насыщении воды сернистым газом. Растворимость  $\text{SO}_2 = 40 : 1$ .
- 3.102.** Вычислить концентрацию  $\text{H}^+$  и рН в  $1 \cdot 10^{-4}$  М растворе винной кислоты.
- 3.103.** Вычислить рН 0,2 М раствора винной кислоты.
- 3.104.** Вычислить концентрацию  $\text{SeO}_3^{2-}$  в 0,03 М растворе селенистой кислоты.
- 3.105.** Вычислить рН 0,1 М раствора селенистой кислоты.
- 3.106.** Определить концентрацию  $\text{HSeO}_3^-$  и  $\text{SeO}_3^{2-}$  в 0,01 М растворе селенистой кислоты.
- 3.107.** Определить концентрацию  $\text{H}^+$  и рН в 0,03 М растворе фосфорной кислоты.
- 3.108.** Определить концентрацию  $\text{HPO}_4^{2-}$  в 0,1 М растворе фосфорной кислоты.
- 3.109.** Определить концентрацию  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  в 0,01 М растворе фосфорной кислоты.
- 3.110.** Вычислить концентрацию  $\text{PO}_4^{3-}$  в 2 М растворе фосфорной кислоты.

**3.111.** Вычислить концентрацию  $\text{PO}_4^{3-}$  в 0,0002 М растворе фосфорной кислоты.

**3.112.** Вычислить концентрацию  $\text{CrO}_4^{2-}$  в 0,05 М растворе хромовой кислоты.

**3.113.** Вычислить концентрацию  $\text{CrO}_4^{2-}$  в 0,05%-м растворе хромовой кислоты.

**3.114.** Вычислить концентрацию  $\text{HCrO}_4^-$  в 0,03%-м растворе хромовой кислоты.

**3.115.** Вычислить концентрацию  $\text{HCrO}_4^-$  в растворе, содержащем 1,25 г хромовой кислоты в 250 мл.

**3.116.** Вычислить концентрацию  $\text{H}^+$  в растворе, содержащем 1,5 г хромовой кислоты в 200 мл.

**3.117.** Определить концентрацию сульфат-ионов в 0,01 М растворе серной кислоты.

**3.118.** Определить концентрацию  $\text{H}^+$  в 0,05 М растворе серной кислоты.

**3.119.** Определить pH в 0,1 М растворе серной кислоты.

**3.120.** Определить концентрацию  $\text{HSO}_4^-$  в 0,0001%-м растворе серной кислоты.

**3.121.** Вычислить концентрацию гидрид-ионов в 0,002%-м растворе серной кислоты.

**3.122.** Вычислить концентрацию сульфат-ионов в 0,03%-м растворе серной кислоты.

**3.123.** Вычислить pH 0,0452%-го раствора серной кислоты.

#### Расчеты с учетом коэффициента активности

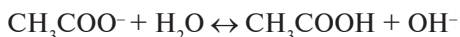
**3.124.** Рассчитайте реальную константу диссоциации уксусной кислоты в 0,100 М растворе хлорида калия.

**3.125.** Рассчитайте реальную константу диссоциации уксусной кислоты в 0,100 М растворе сульфата калия.

**3.126.** Рассчитайте реальную константу диссоциации щавелевой кислоты по первой ступени в 0,010 М растворе хлорида калия.

## 4. Гидролиз солей

*Пример 1.* Вычислите степень гидролиза и pH раствора ацетата натрия с массовой долей 0,1 %.



$$K_p = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_2\text{O}]}$$

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \cdot \frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}^+]} = \frac{K_W}{K_a}$$

$h$  – степень гидролиза (доля, процент)

$$h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{C} = \frac{[\text{OH}^-]}{C}$$

$$K_h = \frac{K_W}{K_a} = \frac{c^2 h^2}{c - ch} = \frac{ch^2}{1 - h}$$

$$K_h \cong ch^2 \quad h = \sqrt{\frac{K_W}{K_a \cdot c}}$$

$$M = 82 \text{ г/моль}, K_d = 1,74 \cdot 10^{-5}$$

$$C = \frac{0,1 \cdot 1000}{100 \cdot 82} = 1,22 \cdot 10^{-2}$$

$$h = 2,17 \cdot 10^{-2} \%$$

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C - [\text{OH}^-]} = \frac{K_W}{K_a}$$

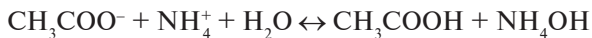
$$\frac{[\text{OH}^-]^2}{C} \cong \frac{K_W}{K_a}$$

$$\frac{K_W^2}{C \cdot [\text{H}^+]^2} \cong \frac{K_W}{K_a}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_W \cdot K_a}{C}} \quad [\text{H}^+] = 3,78 \cdot 10^{-9} \text{ М} \quad \text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad \text{pH} = 8,42.$$



*Пример 2.* Вычислите степень гидролиза, концентрацию ацетат-иона и концентрацию иона аммония в растворе ацетата аммония с массовой долей 1,5%.



$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{NH}_4^+]}$$

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{NH}_4^+]} \cdot \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}$$

$$K_h = \frac{K_W}{K_a \cdot K_b}$$

$$K_h = \frac{K_W}{K_a \cdot K_b} = \frac{c^2 h^2}{c^2 (1-h)^2} = \frac{h^2}{(1-h)^2}$$

$$\frac{h}{(1-h)} = \sqrt{K_h} = \sqrt{\frac{K_W}{K_a \cdot K_b}}$$

$$K_a = 1,74 \cdot 10^{-5} \quad K_b = 1,76 \cdot 10^{-5} \quad M = 77 \text{ г/моль}$$

$$h = 5,69 \cdot 10^{-3} \text{ или } h = 0,569 \%$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{NH}_4^+] = C - Ch = C(1-h) = 0,195(1 - 0,00569) = 0,194 \text{ моль/л.}$$

**4.1.** Вычислить степень гидролиза 0,1%-го раствора ацетата натрия.

**4.2.** Вычислить степень гидролиза и рН 0,5%-го раствора ацетата натрия.

**4.3.** Вычислить степень гидролиза и рН 1%-го раствора ацетата натрия.

**4.4.** Вычислить степень гидролиза и концентрацию ацетат-иона в 1,5%-м растворе ацетата натрия.

**4.5.** Вычислить степень гидролиза и рН 0,1%-го раствора ацетата натрия.

**4.6.** Вычислить степень гидролиза и рН 0,1%-го раствора формиата натрия.

**4.7.** Вычислить степень гидролиза и концентрацию цианид-иона в 0,1%-м растворе цианида калия.

**4.8.** Вычислить степень гидролиза, концентрацию  $\text{OH}^-$  и рН в 1%-м растворе цианида калия.

**4.9.** Вычислить степень гидролиза и концентрацию цианид-иона в 0,03 М растворе цианида калия.

**4.10.** Вычислить степень гидролиза, концентрацию  $\text{H}^+$  и рН в 0,02 М растворе нитрата аммония.

**4.11.** Вычислить степень гидролиза и рН 0,1 М раствора фторида натрия.

**4.12.** Вычислить степень гидролиза и концентрацию фторид-иона в 0,05 М растворе фторида натрия.

**4.13.** Вычислить степень гидролиза, рН и концентрацию  $\text{NH}_4^+$  в 0,5%-м растворе бромид аммония.

**4.14.** Вычислить степень гидролиза в растворе ацетата аммония.

**4.15.** Вычислить степень гидролиза, концентрацию ацетат-иона и концентрацию иона аммония в 1,5%-м растворе ацетата аммония.

**4.16.** Вычислить степень гидролиза и рН в 0,05 М растворе солянокислого анилина.

**4.17.** Вычислить степень гидролиза и рН в 0,01 М растворе солянокислого анилина.

**4.18.** Вычислить степень гидролиза и концентрацию фторид-иона в 0,03 М растворе фторида аммония.

**4.19.** Вычислить степень гидролиза, рН и равновесные концентрации ионов, образующихся при гидролизе 0,1 М раствора карбоната натрия.

**4.20.** Вычислить рН раствора, концентрации сульфид- и бисульфид-ионов, образующихся при гидролизе 0,1 М раствора сульфида натрия.

**4.21.** Вычислить степень гидролиза и концентрацию селенит-иона в 0,1 М растворе селенита натрия.

**4.22.** Вычислить степень гидролиза и рН в 0,5 М растворе сульфида натрия.

**4.23.** Вычислить степень гидролиза и рН в 0,02 М растворе оксалата натрия.

**4.24.** Вычислить степень гидролиза, рН и равновесные концентрации ионов, образующихся при гидролизе в 0,1 М растворе карбоната аммония.

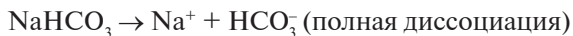
**4.25.** Вычислить равновесные концентрации ионов, образующихся при гидролизе 0,05 М раствора сульфида аммония.

**4.26.** Вычислить рН и концентрацию фосфат-ионов в 0,1 М растворе фосфата аммония.

**4.27.** Вычислить рН и концентрацию арсенат-ионов в 0,1 М растворе трехзамещенного арсената аммония.

## 5. Растворы кислых солей

*Пример 1.* Вычислите рН раствора гидрокарбоната натрия (равновесие в растворах кислых солей).



Если бы протекала только (1), то  $[\text{H}^+] = [\text{CO}_3^{2-}]$ , но часть ионов расходуется на реакцию (2),



$[\text{H}_2\text{CO}_3]$  – равна концентрации протона, израсходованного на реакцию (2).

Тогда



$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{K_1} \quad [\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_2[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K_2[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} - \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{K_1}$$

в первом приближении  $[\text{HCO}_3^-] = C_{\text{соли}}$

$$[\text{H}^+]^2 \cdot K_1 = K_1 \cdot K_2 [\text{HCO}_3^-] - [\text{H}^+]^2 [\text{HCO}_3^-]$$

$$[\text{H}^+]^2 \cdot K_1 + [\text{H}^+]^2 [\text{HCO}_3^-] = K_1 \cdot K_2 [\text{HCO}_3^-]$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_1 \cdot K_2 [\text{HCO}_3^-]}{K_1 + [\text{HCO}_3^-]}} \quad [\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C_{\text{соли}}}{K_1 + C_{\text{соли}}}}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C_{\text{соли}}}{K_1 + C_{\text{соли}}}}$$

Если  $C$  соли  $\gg K_1$  (в 100 раз и больше), то

$$[H^+] = \sqrt{K_1 \cdot K_2}$$

$$pH = \frac{pK_1 + pK_2}{2} \quad pK_1 = 6,35 \quad pK_2 = 10,32$$

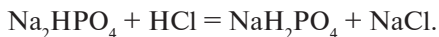
$$pH = \frac{6,35 + 10,32}{2} = 8,34.$$

*Пример 2.* К 20 мл 0,1 М раствора гидрофосфата натрия добавлено 10 мл 0,2 М раствора HCl. Вычислите pH полученного раствора.

Выполним пересчет концентраций с учетом разбавления.

$$C'_{Na_2HPO_4} = \frac{0,1 \cdot 20}{30} = \frac{2}{30} = 0,067 \text{ М}$$

$$C'_{HCl} = \frac{0,2 \cdot 10}{30} = \frac{2}{30} = 0,067 \text{ М}$$



Таким образом, в растворе присутствует ион  $H_2PO_4^-$ , и pH равна полусумме соответствующих рК:

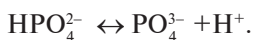
$$pH = \frac{pK_1 + pK_2}{2} \quad pH = \frac{2,15 + 7,21}{2} = 4,68.$$

В общем случае формула для расчета pH в растворе кислой соли:

$$pH = \frac{pK_i + pK_j}{2}.$$

Рассмотрим, какие рК следует брать для расчета pH в растворе соли  $Na_2HPO_4$ .

В растворе ион претерпевает следующие изменения:



Первое равновесие описывается второй константой диссоциации фосфорной кислоты ( $pK_2$ ), второе равновесие – третьей кон-

стантой ( $pK_3$ ), следовательно, формула для расчета рН в растворе гидрофосфата

$$pH = \frac{pK_2 + pK_3}{2}.$$

- 5.1. Вычислить рН раствора бикарбоната натрия.
- 5.2. К 50 мл 0,15 М раствора карбоната натрия добавлено 25 мл 0,3 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН.
- 5.3. К 10 мл 0,2 М раствора карбоната натрия добавлено 20 мл 0,1 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН.
- 5.4. К 30 мл 0,1 М раствора фосфорной кислоты добавлено 15 мл 0,2 М раствора едкого натра. Вычислить рН.
- 5.5. К 15 мл 0,1 М раствора однозамещенного фосфата натрия добавлено 30 мл 0,05 М раствора едкого натра. Вычислить рН.
- 5.6. К 20 мл 0,1 М раствора фосфорной кислоты добавлено 20 мл 0,2 М раствора едкого натра. Вычислить рН.
- 5.7. К 30 мл 0,075 М раствора фосфорной кислоты добавлено 15 мл 0,15 М раствора едкого натра. Вычислить рН.
- 5.8. К 20 мл 0,1 М раствора двузамещенного фосфата натрия добавлено 10 мл 0,2 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН.
- 5.9. Вычислить рН раствора бисульфита натрия.
- 5.10. К 40 мл 0,2 М раствора сульфита натрия добавлено 20 мл 0,4 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН.
- 5.11. Вычислить рН раствора биселенита натрия.
- 5.12. К 15 мл 0,28 М раствора селенистой кислоты добавлено 30 мл 0,14 М раствора едкого натра. Вычислить рН.
- 5.13. Вычислить рН раствора бисульфида натрия.
- 5.14. Вычислить рН, если через 0,1 М раствор щелочи пропущен сероводород. Общая концентрация  $S^{2-}$  равна 0,1 моль/л.

## 6. Влияние одноименного иона на степень диссоциации слабых кислот и оснований

*Пример 1.* Взяты поровну 0,3%-е растворы аммиака и хлорида аммония. Вычислить степень диссоциации.

Рассчитаем молярные концентрации и учтем разбавление (смешаны поровну):

$$C'_{\text{NH}_4\text{OH}} = \frac{0,3 \cdot 1000}{35 \cdot 100 \cdot 2} = 0,043 \text{ М} \quad M(\text{NH}_4\text{OH}) = 35 \text{ г/моль}$$

$$C'_{\text{NH}_4\text{Cl}} = \frac{0,3 \cdot 1000}{53,5 \cdot 100 \cdot 2} = 0,028 \text{ М} \quad M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,5 \text{ г/моль}$$



В момент равновесия в растворе существуют ионы и соединения:



$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} = 1,76 \cdot 10^{-5}$$

$$\left( K_b = \frac{[\text{OH}^-]^2}{[\text{NH}_4\text{OH}]} \right).$$

*НО! В растворе одноименный ион сильного электролита  $[\text{NH}_4^+] \neq [\text{OH}^-]$ .*

*Значит:*

1. Мы не можем приравнять эти концентрации (иона аммония и гидроксид-иона).
2. Мы не можем судить о степени диссоциации по количеству иона аммония, только по гидроксид-иону – именно он образуется при диссоциации.
3. Присутствие одноименного иона уменьшает степень диссоциации слабого электролита (принцип Ле Шателье).

$$\alpha = \frac{[\text{OH}^-]}{C} \neq \frac{[\text{NH}_4^+]}{C}$$

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$$

$$K_b = \frac{0,028[\text{OH}^-]}{0,043} = 1,76 \cdot 10^{-5}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 0,043}{0,028} = 2,7 \cdot 10^{-5}$$

$$\alpha = \frac{[\text{OH}^-]}{C} = \frac{2,7 \cdot 10^{-5}}{0,043} 100 \% = 6,28 \cdot 10^{-2} \%$$

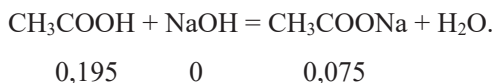
*Пример 2.* Смешано 150 мл раствора уксусной кислоты с массовой долей 2,7 %, 50 мл раствора гидроксида натрия с массовой долей 1,5 % и 50 мл воды. Вычислите степень диссоциации и рН полученного раствора.

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60 \text{ г/моль} \quad M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

$$K_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,74 \cdot 10^{-5}$$

$$C'_{\text{CH}_3\text{COOH}} = \frac{2,7 \cdot 1000}{60 \cdot 100} \cdot \frac{150}{250} = 0,27 \text{ М}$$

$$C'_{\text{NaOH}} = \frac{1,5 \cdot 1000}{40 \cdot 100} \cdot \frac{50}{250} = 0,075 \text{ М}$$



В растворе после реакции находятся  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  из  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  из  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+$

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$K_a = \frac{0,075[\text{H}^+]}{0,195} = 1,74 \cdot 10^{-5}$$

$$[\text{H}^+] = 4,52 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$\text{pH} = -\lg 4,52 \cdot 10^{-5} = 4,34$$

$$\alpha = \frac{[\text{H}^+]}{C} = \frac{4,52 \cdot 10^{-5}}{0,195} = 2,32 \cdot 10^{-4} \text{ или } 2,32 \cdot 10^{-2} \%$$

*Таким образом, если в растворе присутствует одноименный ион от сильного электролита, то именно его концентрация определяет концентрацию этого вида ионов и подставляется в константы для выполнения расчетов.*

*Пример 3.* К 0,2 М раствору уксусной кислоты добавлена хлороводородная кислота до рН = 1. Вычислите степень диссоциации и концентрацию ацетат-иона.

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

В растворе:  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{H}^+$  из  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{H}^+$  из  $\text{HCl}$ ,  $\text{Cl}^-$

$$[\text{H}^+] = [\text{H}^+] + [\text{H}^+] \cong [\text{H}^+]$$

рН =  $-\lg[\text{H}^+] = 1$ , следовательно,  $[\text{H}^+] = 10^{-1}$  моль/л

$$\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \cdot 10^{-1}}{0,2} = 1,74 \cdot 10^{-5}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 3,48 \cdot 10^{-5} \text{ М}$$

$$\alpha = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{C} = \frac{3,48 \cdot 10^{-5}}{0,2} = 1,74 \cdot 10^{-4} \text{ или } 1,74 \cdot 10^{-2} \%$$

### Вычисление степени диссоциации

**6.1.** Взят поровну 1%-е растворы муравьиной кислоты и ее натриевой соли. Вычислить степень диссоциации.

**6.2.** Взят поровну 0,5%-е растворы уксусной кислоты и ацетата калия. Вычислить степень диссоциации.

**6.3.** Взят поровну 0,3%-е растворы аммиака и хлорида аммония. Вычислить степень диссоциации.

**6.4.** Взят поровну 1%-е растворы иодноватой кислоты и иодата калия. Вычислить степень диссоциации.

**6.5.** Взят поровну 0,2%-е растворы дихлоруксусной кислоты и ее натриевой соли. Вычислить степень диссоциации.

**6.6.** Взят поровну 1%-е растворы муравьиной кислоты и гидроксида калия. Вычислить степень диссоциации.

**6.7.** Взят поровну 1%-е растворы циановой кислоты и гидроксида калия. Вычислить степень диссоциации.

**6.8.** Взят поровну 1%-е растворы азотистоводородной кислоты и гидроксида калия. Определить степень диссоциации.



**6.9.** Взяты поровну 2%-е растворы азотистоводородной кислоты и гидроксида калия. Определить степень диссоциации.

**6.10.** Взяты поровну 3%-е растворы азотистоводородной кислоты и гидроксида калия. Определить степень диссоциации.

**6.11.** Поровну смешаны 1,5%-е растворы аммиака и бромистоводородной кислоты. Определить степень диссоциации.

**6.12.** Поровну смешаны 0,8%-е растворы иодистоводородной кислоты и ацетата натрия. Определить степень диссоциации.

**6.13.** Поровну смешаны 0,7%-е растворы иодистоводородной кислоты и аммиака. Определить степень диссоциации.

**6.14.** Смешано 370 мл 0,5%-го раствора уксусной кислоты и 450 мл 1,2%-го раствора ацетата натрия. Вычислить степень диссоциации.

**6.15.** Смешано 415 мл 0,9%-го раствора уксусной кислоты и 472 мл 2%-го раствора ацетата лития. Вычислить степень диссоциации.

**6.16.** Смешано 969 мл 0,2%-го раствора уксусной кислоты и 315 мл 0,3%-го раствора ацетата лития. Вычислить степень диссоциации.

**6.17.** Смешано 353 мл 6%-го раствора уксусной кислоты и 563 мл 8%-го раствора ацетата калия. Вычислить степень диссоциации.

**6.18.** Смешано 126 мл 1%-го раствора муравьиной кислоты и 173 мл 2%-го раствора формиата натрия. Вычислить степень диссоциации.

**6.19.** Смешано 112 мл 0,5%-го раствора аммиака и 639 мл 1,5%-го раствора хлорида аммония. Вычислить степень диссоциации.

**6.20.** Смешано 83 мл 0,6%-го раствора аммиака, 76 мл 0,3%-го раствора хлорида аммония и 269 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации.

#### Вычисление степени диссоциации и концентрации ионов водорода

**6.21.** Смешано 99 мл 3%-го раствора муравьиной кислоты, 88 мл 0,3%-го раствора формиата лития и 777 мл дистиллированной воды. Определить степень диссоциации и концентрацию ионов водорода.

**6.22.** Смешано 77 мл 1%-го раствора муравьиной кислоты, 77 мл 0,5%-го раствора формиата калия и 777 мл дистиллированной воды. Определить степень диссоциации и концентрацию ионов водорода.

**6.23.** Смешано 111 мл 1,1%-го раствора азотистоводородной кислоты, 222 мл 0,5%-го раствора формиата лития и 777 мл дистиллированной воды. Определить степень диссоциации и концентрацию ионов водорода.

**6.24.** Смешано 50 мл 1%-го раствора гидроксилamina, 50 мл 0,2%-го раствора его хлористоводородной соли и 900 мл дистиллированной воды. Определить степень диссоциации и концентрацию ионов водорода.

**6.25.** Смешано 17 мл 0,1%-го раствора гидроксилamina, 26 мл 0,4%-го раствора его хлористоводородной соли и 1958 мл дистиллированной воды. Определить степень диссоциации и концентрацию ионов водорода.

**6.26.** Смешано 117 мл 1,5%-го раствора монохлоруксусной кислоты, 63 мл 5%-го раствора ее калиевой соли и 733 мл дистиллированной воды. Определить степень диссоциации и концентрацию ионов водорода.

**6.27.** Смешано 15 мл 0,5%-го раствора дихлоруксусной кислоты, 25 мл 1,5%-го раствора ее калиевой соли и 110 мл дистиллированной воды. Определить степень диссоциации и концентрацию ионов водорода.

**6.28.** Смешано 16 мл 0,5%-го раствора иодоуксусной кислоты, 44 мл 11%-го раствора иодацетата калия и 190 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $H^+$ .

**6.29.** Смешано 117 мл 3%-го раствора уксусной кислоты и 5 мл 8%-го раствора гидроксида натрия. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $H^+$ .

**6.30.** Смешано 150 мл 2,7%-го раствора уксусной кислоты, 50 мл 1,5%-го раствора гидроксида натрия и 50 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $H^+$ .

**6.31.** Смешано 200 мл 2,3%-го раствора ацетата натрия, 25 мл 1%-го раствора соляной кислоты и 295 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $H^+$ .

**6.32.** Смешано 222 мл 0,5%-го раствора формиата натрия, 122 мл 0,4%-го раствора бромистоводородной кислоты и 573 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $H^+$ .

**6.33.** Смешано 187 мл 3%-го раствора формиата калия, 63 мл 0,5%-го раствора соляной кислоты и 465 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $H^+$ .

**6.34.** Смешано 187 мл 0,3%-го раствора формиата лития, 63 мл 0,5%-го раствора соляной кислоты и 465 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $H^+$ .

**6.35.** Смешано 15 мл 1,5%-го раствора хлорида аммония, 15 мл 1,5%-го раствора едкого кали и 15 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $H^+$ .

**6.36.** Смешано 183 мл 9%-го раствора моноиодацетата калия, 43 мл 5%-го раствора соляной кислоты и 457 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $\text{H}^+$ .

**6.37.** Смешано 183 мл 9%-го раствора моноиодацетата калия, 43 мл 5%-го раствора бромистоводородной кислоты и 457 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $\text{H}^+$ .

**6.38.** Смешано 210 мл 10%-го раствора монохлорацетата натрия, 150 мл 1,3%-го раствора соляной кислоты и 40 мл дистиллированной воды. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $\text{H}^+$ .

**Вычисление степени диссоциации  
и концентрации анионов кислот**

**6.39.** К 0,5 М раствору уксусной кислоты добавлена соляная кислота до  $\text{pH} = 0,5$ . Определить степень диссоциации и концентрацию анионов уксусной и соляной кислот.

**6.40.** К 0,2 М раствору уксусной кислоты добавлена сильная кислота до  $\text{pH} = 1$ . Определить степень диссоциации и концентрацию  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  анионов.

**6.41.** К 0,5 М раствору муравьиной кислоты добавлена соляная кислота до  $\text{pH} = 1,5$ . Определить степень диссоциации и концентрацию анионов.

**6.42.** К 0,3 М раствору муравьиной кислоты добавлена сильная кислота до  $\text{pH} = 0,3$ . Определить степень диссоциации и концентрацию анионов.

**6.43.** К 20 мл 0,2 М раствора уксусной кислоты добавлено 5 мл 1 М раствора соляной кислоты. Определить степень диссоциации и концентрацию анионов уксусной и соляной кислот.

**6.44.** К 50 мл 0,1 М раствора уксусной кислоты добавлено 20 мл 2 М раствора соляной кислоты. Определить степень диссоциации и концентрацию анионов уксусной и соляной кислот.

**6.45.** К 20 мл 0,2 М раствора муравьиной кислоты добавлено 15 мл 1 М раствора соляной кислоты. Определить степень диссоциации и концентрацию анионов муравьиной и соляной кислот.

**6.46.** К 50 мл 1%-го раствора муравьиной кислоты добавлено 5 мл 10%-го раствора соляной кислоты. Определить степень диссоциации и концентрацию анионов муравьиной и соляной кислот.

**6.47.** К 1 М раствору азотистоводородной кислоты добавлена сильная кислота до  $\text{pH} = 0,5$ . Определить степень диссоциации и концентрацию анионов.

**6.48.** К 20 мл 0,5 М раствора азотистоводородной кислоты добавлено 5 мл 5%-й соляной кислоты. Определить степень диссоциации и концентрацию анионов азотистоводородной и соляной кислот.

**6.49.** К 1 М раствору цианистоводородной кислоты добавлена сильная кислота до  $\text{pH} = 1$ . Определить степень диссоциации и концентрацию анионов.

**6.50.** К 0,05 М раствору циановой кислоты добавлена сильная кислота до  $\text{pH} = 0,5$ . Определить степень диссоциации и концентрацию анионов.

**6.51.** К 1%-му раствору циановой кислоты добавлен равный объем 1 М соляной кислоты. Определить степень диссоциации и концентрацию анионов.

#### Вычисление степени диссоциации и концентрации иона аммония

**6.52.** К 0,2 М раствору аммиака добавлена сильная щелочь до  $\text{pH} = 12$ . Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $\text{NH}_4^+$ .

**6.53.** К 1,5%-му раствору аммиака добавлена сильная щелочь до  $\text{pH} = 13$ . Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $\text{NH}_4^+$ .

**6.54.** К 20 мл 0,75%-го раствора аммиака добавлено 10 мл 2,5%-го раствора гидроксида натрия. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $\text{NH}_4^+$ .

**6.55.** К 50 мл 0,1%-го раствора аммиака прибавлен 1 г едкого кали. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $\text{NH}_4^+$ .

**6.56.** К 20 мл 0,1 М раствора аммиака добавлено 10 мл 1 М раствора гидроксида натрия. Вычислить степень диссоциации и концентрацию  $\text{NH}_4^+$ .

## 7. Буферные растворы

*Буферные системы (или диссоциация слабых электролитов в присутствии сильных)*

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{An}^-]}{[\text{HAn}]} \quad [\text{H}^+] \neq [\text{An}^-]$$

$$[\text{An}^-] = C_{Kt\text{An}} \quad [\text{H}^+] = K_a \cdot \frac{C_{\text{HAn}}}{C_{Kt\text{An}}}$$

то есть рН определяется соотношением концентраций слабого электролита и его соли.

Буферные системы могут быть образованы несколькими кислотными анионами. Функцию кислоты при этом берет на себя анион, более насыщенный протонами.

Уравнение Гендерсона – Гассельбаха:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \lg \frac{C(\text{соли})}{C(\text{кислоты})}$$

$$\text{pH} = 14 - \text{p}K_b - \lg \frac{C(\text{соли})}{C(\text{основания})}$$

*Пример 1.* К 20 мл раствора нитрата аммония с массовой долей 1 % добавлен 1 мл 0,5 М раствора аммиака. Раствор разбавлен в мерной колбе до 100 мл. Вычислите рН полученного раствора.

$$K_b = 1,76 \cdot 10^{-5}$$

$$M(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80 \text{ г/моль.}$$

Рассчитаем концентрации с учетом разбавления:

$$C'_{\text{соли}} = \frac{1 \cdot 1000}{80 \cdot 100} \cdot \frac{20}{100} = 0,025 \text{ М} \quad C'_{\text{осн}} = \frac{0,5 \cdot 1}{100} = 0,005 \text{ М}$$

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} = 1,76 \cdot 10^{-5}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 0,005}{0,025} = 3,52 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$$

$$\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-] = 5,45 \quad \text{pH} = 14 - 5,45 = 8,55$$

или по формуле Гендерсона – Гассельбаха:

$$\text{pH} = 14 - \text{p}K_b - \lg \frac{C_{\text{соли}}}{C_{\text{осн}}}$$

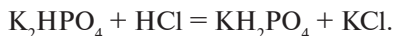
$$\text{pH} = 14 - 4,76 - \lg 0,025/0,005 = 9,24 - \lg 5 = 9,24 - 0,70 = 8,54.$$

*Пример 2.* В 200 мл воды растворено 2,4563 г гидрофосфата калия ( $M = 174$  г/моль). К раствору добавлено 50 мл 0,1078 М раствора хлороводородной кислоты. Вычислите рН полученного раствора.

Рассчитаем молярные концентрации и учтем разбавление.

$$C'_{\text{K}_2\text{HPO}_4} = \frac{2,4563 \cdot 1000}{174 \cdot 250} = 0,056 \text{ моль/л}$$

$$C'_{\text{HCl}} = \frac{0,1078 \cdot 50}{250} = 0,022 \text{ М}$$



После реакции между соляной кислотой и гидрофосфатом в растворе присутствуют дигидрофосфат и гидрофосфат (был в избытке). Равновесие между ними описывает вторая константа диссоциации фосфорной кислоты:

$$K_2 = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 6,2 \cdot 10^{-8}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{6,2 \cdot 10^{-8} \cdot 0,022}{0,034} = 4,01 \cdot 10^{-8} \text{ М}$$

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = -\lg 4,01 \cdot 10^{-8} = 7,40.$$

*Пример 3.* Сколько мл раствора NaOH с массовой долей 0,4% надо добавить к 23 мл 0,2 М раствора фосфорной кислоты, чтобы получить раствор с рН 2,3?

Определим глубину протекания процесса (до какой ступени нейтрализации пройдет реакция).

$$K_1 = 7,1 \cdot 10^{-3} \quad \text{p}K_1 = 2,15$$

$$K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8} \quad \text{p}K_2 = 7,21 \quad \text{pH} = \frac{\text{p}K_1 + \text{p}K_2}{2}$$

$$K_3 = 5,0 \cdot 10^{-13} \quad \text{p}K_3 = 12,30 \quad \text{pH} = \frac{2,15 + 7,21}{2} = 4,68 (\text{NaH}_2\text{PO}_4).$$

То есть реакция пройдет по первой ступени не до конца. В растворе фосфорная кислота и ее соль – дигидрофосфат натрия.



Буферная смесь  $H_3PO_4$  и  $NaH_2PO_4$ .

Используем для расчета  $K_1$

$$K_1 = \frac{[H^+][H_2PO_4^-]}{[H_3PO_4]}$$

Пусть надо  $x$  мл гидроксида натрия, тогда

$$C'_{NaOH} = \frac{0,4 \cdot 1000 \cdot x}{100 \cdot 40 \cdot (23 + x)} = \frac{0,1x}{23 + x}$$

$$C'_{H_3PO_4} = \frac{0,2 \cdot 23}{23 + x} = \frac{4,6}{23 + x}$$

Тогда

$$[H_2PO_4^-] = \frac{0,1x}{23 + x}$$

$$[H_3PO_4] = \frac{4,6 - 0,1x}{23 + x}$$

$$\lg [H^+] = -2,3 \quad [H^+] = 5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

$$\frac{0,1x \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{4,6 - 0,1x} = 7,1 \cdot 10^{-3}$$

$$5 \cdot 10^{-4}x = 32,66 \cdot 10^{-3} - 7,1 \cdot 10^{-4}x$$

$$12,1 \cdot 10^{-4}x = 32,66 \cdot 10^{-3}$$

$$x = 27 \text{ мл.}$$

Ответ: 27 мл гидроксида натрия.

**7.1.** К 20 мл 1%-го раствора нитрата аммония добавлен 1 мл 0,5 М раствора аммиака. Раствор разбавлен в мерной колбе до 100 мл. Вычислить рН полученного раствора.

**7.2.** К 50 мл 0,2 М раствора однозамещенного фосфата калия добавлено 25 мл 0,3 М раствора двузамещенного фосфата калия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.3.** К 25 мл 0,2 М раствора однозамещенного фосфата калия добавлено 15 мл 0,2 М раствора двузамещенного фосфата калия. Полученная смесь разбавлена до 50 мл. Вычислить рН полученного раствора.

**7.4.** К 25 мл 0,2 М раствора однозамещенного фосфата калия добавлено 15 мл 0,2 М раствора двузамещенного фосфата калия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.5.** Вычислить рН раствора, полученного в результате смешения 30 мл 0,15 М раствора уксусной кислоты и 60 мл 0,075 М раствора гидроксида натрия.

**7.6.** К 50 мл 0,2 М раствора одноосновной кислоты, рК которой равен 5, добавлено 100 мл 0,1 М раствора гидроксида калия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.7.** К 20 мл 0,2 М раствора уксусной кислоты прибавлено 5 мл 0,3 М раствора гидроксида натрия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.8.** К 100 мл 0,1 М раствора азотистоводородной кислоты прибавлено 90 мл 0,05 М раствора гидроксида натрия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.9.** К 50 мл 0,01 М раствора хлоруксусной кислоты прибавлено 49,95 мл 0,01 М раствора гидроксида натрия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.10.** К 50 мл 1%-го раствора ацетата натрия добавлено 20 мл 0,1 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН полученной смеси.

**7.11.** К 15 мл 0,03 М раствора муравьиной кислоты добавлено 12 мл 0,15 М раствора формиата калия. Вычислить рН полученной смеси.

**7.12.** К 20 мл 0,02 М раствора азотистоводородной кислоты добавлено 30 мл 0,1 М раствора азида натрия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.13.** К 50 мл 0,5 М раствора монохлоруксусной кислоты добавлено 20 мл 0,5 М раствора монохлорацетата калия. Вычислить рН данной смеси.

**7.14.** К 100 мл 0,1 М раствора фтористоводородной кислоты добавлено 5 г фторида натрия. Вычислить рН раствора.

**7.15.** В 250 мл воды растворено 3,4563 г двузамещенного фосфата калия. К этому раствору добавлено 50 мл 0,1078 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН полученного раствора.

**7.16.** В 200 мл воды растворено 2,4563 г двузамещенного фосфата калия. К этому раствору добавлено 50 мл 0,1078 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН полученного раствора.



**7.17.** К 25 мл 0,15 М раствора двузамещенного фосфата калия прибавлено 50 мл 0,1 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН данной смеси.

**7.18.** К 25 мл 0,2 М раствора двузамещенного фосфата калия прибавлено 15 мл 0,25 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН данной смеси.

**7.19.** К 50 мл 0,2 М раствора двузамещенного фосфата калия прибавлено 25 мл 0,15 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН данной смеси.

**7.20.** К 50 мл 1%-го раствора ацетата натрия прибавлено 10 мл 0,1 М раствора соляной кислоты. Вычислить рН данной смеси.

**7.21.** К 15 мл 0,28 М раствора бикарбоната натрия прибавлено 30 мл 0,14 М раствора гидроксида натрия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.22.** К 100 мл 0,05 М раствора однозамещенного фосфата натрия прибавлено 50 мл 0,1 М раствора гидроксида натрия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.23.** К 50 мл 0,15 М раствора гидроксида натрия добавлено 25 мл 0,2 М раствора однозамещенного фосфата натрия. Вычислить рН полученного раствора.

**7.24.** Чему будет равен рН раствора, если к 500 мл воды прибавить 1 г муравьиной кислоты и 1 г гидроксида натрия?

**7.25.** Чему будет равен рН раствора, если к 1 л воды прибавить 1 мл 5%-го раствора муравьиной кислоты и 1 мл 5%-го раствора гидроксида натрия?

**7.26.** Чему будет равен рН раствора, если к 0,5 л воды прибавить 1 г муравьиной кислоты и 1 г формиата калия?

**7.27.** Чему будет равен рН раствора, если к 0,5 л воды прибавить 1 г муравьиной кислоты и 1 г формиата натрия?

**7.28.** К 2 л воды добавлено 17 г муравьиной кислоты и 0,17 г формиата калия. Чему равен рН раствора?

**7.29.** К 2 л воды добавлено 0,17 г муравьиной кислоты и 18 г формиата калия. Чему равен рН раствора?

**7.30.** Смешаны поровну 0,5%-й раствор аммиака и 0,5%-й раствор хлорида аммония. Определить рН полученного раствора.

**7.31.** Чему будет равен рН раствора, если смешать 1 объем 10%-го раствора аммиака с 12 объемами 0,5%-го раствора хлорида аммония?

**7.32.** Чему будет равен рН раствора, если смешать 2 объема 1%-го раствора аммиака с 7 объемами 1%-го раствора бромид аммония?

**7.33.** Чему будет равен рН раствора, если смешать поровну 0,5%-й раствор хлорида аммония и 0,25%-й раствор гидроксида калия?

### Составление буферных смесей

**7.34.** Сколько мл 0,2 М раствора гидроксида натрия надо добавить к 20 мл 0,2 М раствора уксусной кислоты, чтобы получить раствор с рН = 4?

**7.35.** Сколько мл 0,2 М раствора гидроксида натрия надо добавить к 20 мл 0,2 М раствора уксусной кислоты, чтобы получить раствор с рН = 4,3?

**7.36.** Сколько мл 1%-го раствора гидроксида натрия необходимо добавить к 25 мл 0,3 М раствора уксусной кислоты, чтобы получить раствор с рН = 4,5?

**7.37.** Сколько мл 1%-го раствора гидроксида натрия необходимо добавить к 25 мл 0,1 М раствора уксусной кислоты, чтобы получить раствор с рН = 3,75?

**7.38.** Сколько мл 0,2 М раствора гидроксида натрия необходимо добавить к 20 мл 0,3 М раствора муравьиной кислоты, чтобы получить раствор с рН = 4,25?

**7.39.** Сколько мл 0,1 М раствора соляной кислоты необходимо добавить к 50 мл 0,25 М раствора аммиака, чтобы получить раствор с рН = 9?

**7.40.** Сколько мл 0,5%-го раствора соляной кислоты необходимо добавить к 25 мл 0,2 М раствора аммиака, чтобы получить раствор с рН = 8,5?

**7.41.** Сколько мл 0,2 М раствора гидроксида натрия необходимо добавить к 25 мл 0,1 М раствора мышьяковой кислоты, чтобы получить раствор с рН = 2?

**7.42.** Сколько мл 0,2 М раствора гидроксида натрия необходимо добавить к 20 мл 0,2 М раствора фосфорной кислоты, чтобы получить раствор с рН = 7?

**7.43.** Сколько мл 1%-го раствора гидроксида натрия необходимо добавить к 25 мл 0,3 М раствора фосфорной кислоты, чтобы получить раствор с рН = 2,5?

**7.44.** Сколько граммов ацетата натрия нужно добавить к 100 мл 0,15 М раствора соляной кислоты, чтобы получить раствор с рН = 5?

**7.45.** Сколько граммов ацетата натрия нужно добавить к 250 мл 0,2 М раствора соляной кислоты, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 4,5$ ?

**7.46.** Сколько граммов ацетата натрия нужно добавить к 100 мл 0,1 М раствора соляной кислоты, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 5$ ?

**7.47.** Сколько мл 0,2 М раствора соляной кислоты нужно добавить к 50 мл 0,1 М раствора ацетата натрия, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 4$ ?

**7.48.** Сколько граммов формиата натрия нужно добавить к 250 мл 0,2 М раствора соляной кислоты, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 4,3$ ?

**7.49.** Сколько мл 1%-го раствора формиата натрия необходимо внести к 50 мл 0,1 М раствора муравьиной кислоты, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 3,75$ ?

**7.50.** Сколько мл 1%-го раствора формиата натрия необходимо внести к 100 мл 0,05 М раствора соляной кислоты, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 3,7$ ?

**7.51.** Сколько мл 0,2 М раствора карбоната натрия необходимо внести к 10 мл 0,3 М раствора бикарбоната натрия, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 10$ ?

**7.52.** Сколько граммов карбоната натрия необходимо внести к 200 мл 0,1 М раствора бикарбоната натрия, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 10$ ?

**7.53.** Сколько граммов однозамещенного фосфата натрия необходимо внести к 250 мл 0,15 М раствора едкого натра, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 7$ ?

**7.54.** Сколько граммов бикарбоната натрия необходимо внести к 50 мл 0,2 М раствора едкого натра, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 11$ ?

**7.55.** Сколько мл 0,1 М раствора соляной кислоты нужно добавить к 50 мл 0,15 М раствора двузамещенного фосфата калия, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 7,2$ ?

**7.56.** Сколько граммов нитрата аммония нужно добавить к 100 мл 0,25 М раствора аммиака, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 9,25$ ?

**7.57.** Сколько граммов бикарбоната натрия нужно добавить к 50 мл 0,15 М раствора едкого натра, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 10$ ?

**7.58.** Сколько мл 0,5 М раствора нитрата аммония нужно добавить к 10 мл 0,2 М раствора аммиака, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 9,8$ ?

**7.59.** Сколько мл 0,1 М раствора гидроксида натрия нужно добавить к 50 мл 0,2 М раствора однозамещенного фосфата натрия, чтобы получить раствор с  $pH = 7$ ?

**7.60.** Сколько мл 0,15 М раствора гидроксида натрия необходимо внести к 50 мл 0,1 М раствора однозамещенного фосфата натрия, чтобы получить раствор с  $pH = 7$ ?

**7.61.** Сколько граммов карбоната натрия необходимо внести к 50 мл 0,25 М раствора бикарбоната натрия, чтобы получить раствор с  $pH = 10$ ?

**7.62.** Сколько мл 1%-го раствора формиата натрия необходимо внести к 100 мл 0,05 М раствора соляной кислоты, чтобы получить раствор с  $pH = 3,7$ ?

**7.63.** Сколько граммов карбоната натрия нужно добавить к 100 мл 0,3 М раствора бикарбоната натрия, чтобы получить раствор с  $pH = 10$ ?

**7.64.** Сколько граммов твердого азида калия необходимо растворить в 50 мл 0,02 М раствора азотистоводородной кислоты, чтобы получить раствор с  $pH = 5,2$ ?

**7.65.** Сколько мл 0,1 М раствора гидроксида натрия необходимо внести к 50 мл 0,15 М раствора однозамещенного фосфата натрия, чтобы получить раствор с  $pH = 7$ ?

**7.66.** Сколько мл 0,1 М раствора гидроксида натрия необходимо внести к 50 мл 0,1 М раствора однозамещенного фосфата натрия, чтобы получить раствор с  $pH = 7,2$ ?

**7.67.** Сколько мл 0,5 М раствора нитрата аммония необходимо внести к 10 мл 0,12 М раствора аммиака, чтобы получить раствор с  $pH = 9,2$ ?

**7.68.** Сколько мл 0,5 М раствора гидроксида калия необходимо внести к 50 мл 1 М раствора двузамещенного фосфата калия, чтобы получить раствор с  $pH = 11$ ?

**7.69.** Сколько граммов хлорида аммония необходимо растворить в 50 мл 1 М раствора аммиака, чтобы получить раствор с  $pH = 10$ ?

**7.70.** Сколько граммов хлорида аммония необходимо растворить в 100 мл 1%-го раствора аммиака, чтобы получить раствор с  $pH = 10,22$ ?

**7.71.** Сколько граммов карбоната натрия нужно растворить в 50 мл 0,25 М раствора бикарбоната натрия, чтобы получить раствор с  $pH = 10$ ?

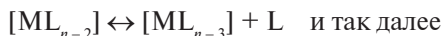
**7.72.** Сколько мл 0,05 М раствора соляной кислоты необходимо внести к 100 мл 0,1 М раствора трехзамещенного фосфата калия, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 12,5$ ?

**7.73.** Сколько мл 0,1 М раствора соляной кислоты необходимо добавить к раствору, содержащему 1 грамм карбоната натрия в 250 мл воды, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 11$ ?

## 8. Равновесия в растворах комплексных соединений

В общем случае комплексное соединение можно представить формулой  $[\text{ML}_n]$ .

Ступенчатая диссоциация:



С увеличением разбавления из сферы удаляется все большее число лигандов, в предельном случае остаются  $\text{M}^{n+}$  и  $\text{L}$ .

Аналогично и образование комплекса – с ростом концентрации лигандов в растворе растет их концентрация в комплексной сфере:



.....



Процесс комплексообразования заканчивается, как только число присоединившихся монодентатных лигандов станет равным координационному числу комплексообразователя.

Состояние равновесия для каждой ступени комплексообразования:

$$K_1 = \frac{[\text{ML}]}{[\text{M}][\text{L}]} \quad K_2 = \frac{[\text{ML}_2]}{[\text{ML}][\text{L}]}$$

$$K_n = \frac{[ML_n]}{[ML_{n-1}][L]}$$

При количественном описании равновесия используют и другой способ:

$$\beta_1 = K_1 = \frac{[ML]}{[M][L]} \quad M + L \leftrightarrow [ML]$$

$$\beta_2 = \frac{[ML_2]}{[M][L]^2} \quad M + 2L \leftrightarrow [ML_2]$$

$$\beta_n = \frac{[ML_n]}{[M][L]^n} \quad M + nL \leftrightarrow [ML_n].$$

$\beta_n$  – общая константа образования – константа устойчивости,  $K_n$  и  $\beta_n$  – функции температуры, в разбавленных растворах не зависят от концентрации взаимодействующих частиц

$$\beta_n = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots K_n = \prod_{i=1}^n K_i.$$

$\alpha$  – степень образования или мольная доля частицы

$$\alpha_0 = \frac{[M]}{C_M} \quad \alpha_1 = \frac{[ML]}{C_M} \quad \alpha_n = \frac{[ML_n]}{C_M}$$

$$C_M = [M] + [ML] + [ML_2] + \dots + [ML_n]$$

$$C_M = [M] + \beta_1[M][L] + \beta_2[M][L]^2 + \dots + \beta_n[M][L]^n = \\ = [M](1 + \beta_1[L] + \beta_2[L]^2 + \dots + \beta_n[L]^n)$$

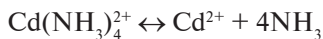
$$\alpha_0 = \frac{[M]}{C_M} = 1/(1 + \beta_1[L] + \beta_2[L]^2 + \dots + \beta_n[L]^n)$$

$$\alpha_1 = \frac{[ML]}{C_M} = \beta_1[L]\alpha_0$$

$$\alpha_i = \frac{[ML_i]}{C_M} = \beta_i[L]^i\alpha_0.$$

Константы нестойкости приведены в прил. 2.

*Пример 1.* В каком растворе больше концентрация иона  $\text{Cd}^{2+}$ : в 0,1 М  $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$  или в 0,1 М  $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ ?



$$\lg \beta_4 = 6,56$$

$$\beta_4 = \frac{[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{2+}]}{[\text{Cd}^{2+}][\text{NH}_3]^4} = 3,63 \cdot 10^6$$

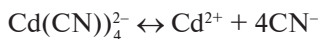
$$\frac{0,1 - x}{x \cdot (4x)^4} = 3,63 \cdot 10^6$$

$$256x^5 = \frac{0,1}{3,63 \cdot 10^6}$$

$$256x^5 = 2,75 \cdot 10^{-8}$$

$$x^5 = \frac{2,75 \cdot 10^{-8}}{256} = 1,07 \cdot 10^{-10}$$

$$x = [\text{Cd}^{2+}] = 1,01 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$



$$\lg \beta_4 = 17,11$$

$$\beta_4 = \frac{[\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}]}{[\text{Cd}^{2+}][\text{CN}^-]^4} = 1,29 \cdot 10^{17}$$

$$\frac{0,1 - x}{x \cdot (4x)^4} = 1,29 \cdot 10^{17}$$

$$256x^5 = \frac{0,1}{1,29 \cdot 10^{17}}$$

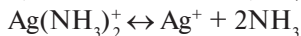
$$256x^5 = 7,75 \cdot 10^{-19}$$

$$x^5 = \frac{7,75 \cdot 10^{-19}}{256} = 3 \cdot 10^{-21}$$

$$x = [\text{Cd}^{2+}] = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

*Пример 2.* Вычислите концентрацию иона-комплексобразователя в растворе, содержащем 0,1 М  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$  и 0,5 М  $\text{NH}_3$ .

0,1 - x      x      0,5x (по условию задачи)



$$\lg \beta_2 = 7,23 \quad \beta_2 = 1,70 \cdot 10^7$$

$$\beta_2 = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]}{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2} = 1,70 \cdot 10^7$$

$$\frac{0,1 - x}{x \cdot 0,5^2} = 1,70 \cdot 10^7.$$

В числителе (0,1 - x) - x можно пренебречь, так как концентрация распадающегося комплекса очень мала, тогда

$$\frac{0,1}{x \cdot 0,5^2} = 1,70 \cdot 10^7$$

$$x = [\text{Ag}^+] = 2,35 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

*Пример 3.* Рассчитайте степень образования  $\text{HgI}_3^-$  и  $\text{HgI}_4^{2-}$  в растворе с равновесной концентрацией иодид-иона 0,1 М.

$$\alpha_3 = \frac{[\text{HgI}_3^-]}{C} \quad \alpha_4 = \frac{[\text{HgI}_4^{2-}]}{C}$$

$$\alpha_3 = \frac{[\text{HgI}_3^-]}{C} = \frac{\beta_3[\text{I}^-]^3}{1 + \beta_1[\text{I}^-] + \beta_2[\text{I}^-]^2 + \beta_3[\text{I}^-]^3 + \beta_4[\text{I}^-]^4}$$

$$\alpha_4 = \frac{[\text{HgI}_4^{2-}]}{C} = \frac{\beta_4[\text{I}^-]^4}{1 + \beta_1[\text{I}^-] + \beta_2[\text{I}^-]^2 + \beta_3[\text{I}^-]^3 + \beta_4[\text{I}^-]^4}$$

$$\beta_1 = 7,41 \cdot 10^{12}$$

$$\beta_2 = 6,61 \cdot 10^{23}$$

$$\beta_3 = 3,98 \cdot 10^{27}$$

$$\beta_4 = 6,76 \cdot 10^{29}.$$

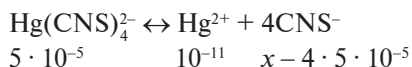
Подставив значения констант устойчивости и концентрацию иодид-иона (0,1 М) и переведя степень образования в проценты, получим

$$\alpha_3 = 5,6\%, \text{ а } \alpha_4 = 94,0\%.$$



*Пример 4.* Сколько моль  $\text{NH}_4\text{CNS}$  необходимо внести в 1 л  $5 \cdot 10^{-5}$  М раствора  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , чтобы снизить концентрацию ионов  $\text{Hg}^{2+}$  до  $10^{-11}$  моль/л ( $K_{\text{нестойкости}} = 1,7 \cdot 10^{-20}$ ) за счет образования комплексных частиц  $\text{Hg}(\text{CNS})_4^{2-}$ ?

Пусть надо внести  $x$  моль,  $x$  моль в 1 л – это и есть молярная концентрация тиоцианата аммония. На связывание иона ртути в количестве  $5 \cdot 10^{-5}$  М требуется в 4 раза больше тиоцианат-ионов (1 : 4), значит, после образования комплекса останется  $(x - 4 \cdot 5 \cdot 10^{-5})$  М  $\text{CNS}^-$



$$K = \frac{[\text{Hg}^{2+}][\text{CNS}^-]^4}{[\text{Hg}(\text{CNS})_4^{2-}]} = 1,7 \cdot 10^{-20} \text{ (константа нестойкости!!!)}$$

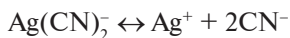
$$\frac{10^{-11}(x - 20 \cdot 10^{-5})^4}{5 \cdot 10^{-5}} = 1,7 \cdot 10^{-20}$$

$$(x - 20 \cdot 10^{-5})^4 = \frac{8,5 \cdot 10^{-25}}{10^{-11}} = 8,5 \cdot 10^{-14}$$

$$(x - 20 \cdot 10^{-5}) = \sqrt[4]{8,5 \cdot 10^{-14}} = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

$$x = 5,4 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4} = 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

*Пример 5.* Вычислите концентрацию ионов  $\text{Ag}^+$  в растворе, содержащем в 1 л 0,1 моль  $\text{AgNO}_3$  и 2 моль  $\text{KCN}$  ( $K_{\text{Ag}(\text{CN})_2^-} = 1 \cdot 10^{-21}$ ).



0,1                       $x$                        $2 - 2 \cdot 0,1$  – подписаны концентрации частиц в момент равновесия (считаем, что весь ион-комплексобразователь переходит в комплексную частицу и что диссоциацией можно пренебречь  $0,1 \cong 0,1 - x$ )

$$K = \frac{[\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^2}{[\text{Ag}(\text{CN})_2^-]} = 1 \cdot 10^{-21}$$

$$\frac{x \cdot 1,8^2}{0,1} = 1 \cdot 10^{-21}$$

$$x = \frac{10^{-21}}{1,8^2} \cdot 10^{-1} = \frac{10^{-22}}{3,24} = 3 \cdot 10^{-23}$$

$$[\text{Ag}^+] = 3 \cdot 10^{-23} \text{ моль/л.}$$

Вычисление равновесных концентраций ионов  
при следующих условиях

**8.1.** В 250 мл раствора содержится 0,1 г  $\text{K}_2\text{HgI}_4$  и 1 г  $\text{KI}$ . Вычислить равновесные концентрации ионов.

**8.2.** К 100 мл 0,01 М  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  добавлено 50 мл 0,1 М раствора  $\text{NH}_4\text{CNS}$ . При этом образуется комплексный ион  $\text{Hg}(\text{CNS})_4^{2-}$ . Вычислить равновесные концентрации ионов.

**8.3.** К 25 мл 0,02 М раствора сулемы добавлено 0,2 г  $\text{NaCl}$ . (Состав образовавшегося комплекса  $\text{HgCl}_4^{2-}$ .) Вычислить равновесные концентрации ионов.

**8.4.** В 250 мл раствора содержится 4 г  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  и 8 г  $\text{KCl}$ . (Состав образовавшегося комплекса  $\text{HgCl}_4^{2-}$ .) Вычислить равновесные концентрации ионов.

**8.5.** Вычислить равновесную концентрацию ионов серебра в растворе, содержащем  $1 \cdot 10^{-3}$  М  $\text{AgNO}_3$  и 0,2 М  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

**8.6.** Вычислить равновесную концентрацию ионов серебра в растворе, содержащем 0,05 М нитрата серебра и 0,4 М цианистого калия.

**8.7.** Вычислить концентрацию ионов меди в 0,1 М растворе  $\text{CuSO}_4$ , содержащем 0,5 М  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

**8.8.** Вычислить концентрацию ионов меди, если в 100 мл раствора содержится 0,16 г сульфата меди и 0,6 г аммиака.

**8.9.** Вычислить концентрацию ионов никеля в 0,01 М растворе  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ , содержащем 0,5 М  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

**8.10.** Вычислить концентрацию ионов  $\text{Co}^{2+}$  в 0,01 М растворе  $\text{CoCl}_2$ , содержащем 1 М  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

**8.11.** Сколько граммов цианида калия необходимо ввести в 1 л 1 М раствора нитрата серебра, чтобы снизить концентрацию иона серебра до  $1 \cdot 10^{-19}$  моль/л?

**8.12.** Сколько моль/л  $\text{NH}_4\text{OH}$  необходимо добавить к 0,025 М раствору  $\text{CdSO}_4$ , чтобы равновесная концентрация  $\text{Cd}^{2+}$  стала равной  $1 \cdot 10^{-5}$  моль/л? Состав комплекса  $\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ .

**8.13.** При добавлении к соли трехвалентного железа эквивалентного количества салициловой кислоты  $C_6H_4(OH)COOH(H_2Sal)$  образуется комплекс  $FeSal^+$ . Рассчитать равновесную концентрацию  $Fe^{3+}$ , если общая концентрация комплекса составляет  $1 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

**8.14.** При добавлении избытка тиосульфата натрия к раствору соли свинца образуется комплекс  $Pb(S_2O_3)_4^{4-}$ . Сколько граммов  $Na_2S_2O_3$  необходимо ввести в 200 мл 0,02 М раствора  $Pb(NO_3)_2$ , чтобы концентрация  $Pb^{2+}$  понизилась до  $1 \cdot 10^{-5}$  моль/л?

**8.15.** В присутствии избытка щелочи индий образует комплексные анионы состава  $In(OH)_4^-$ . При какой концентрации  $NaOH$  равновесная концентрация  $In^{3+}$  в  $4 \cdot 10^{-5}$  М растворе  $In(NO_3)_3$  будет равна  $1 \cdot 10^{-30}$  моль/л?

**8.16.** Вычислить концентрацию ионов ртути (II) в 0,1 М растворе  $K_2[HgCl_4]$ .

**8.17.** Вычислить концентрацию серебра в 0,1 М растворе  $K[Ag(CN)_2]$ .

**8.18.** Вычислить концентрацию ионов железа (II) и процент распада комплексного иона в 0,1 М растворе соли  $K_4[Fe(CN)_6]$ .

**8.19.** В каком растворе одинаковой молярной концентрации веществ состава  $K_2[HgI_4]$  и  $K_2[Hg(CN)_4]$  концентрация ионов  $Hg^{2+}$  больше? Ответ подтвердите расчетами.

**8.20.** Вычислить концентрацию ионов кобальта (II) и процент распада комплексного иона в 0,2 М растворе  $[Co(NH_3)_6]Cl_3$ .

**8.21.** Найти процент распада комплексного иона в 1 М растворе соли  $K_2[Ni(CN)_4]$ , если константа нестойкости комплексного иона  $[Ni(CN)_4]^{2-}$  равна  $1 \cdot 10^{-31}$ .

**8.22.** Вычислить концентрацию ионов  $Au^{3+}$  в 0,1 М растворе вещества состава  $H[AuCl_4]$ , если константа нестойкости иона  $[AuCl_4]^-$  равна  $5 \cdot 10^{-12}$ .

**8.23.** Сколько моль роданида аммония необходимо ввести в 1 л  $5 \cdot 10^{-5}$  М раствора нитрата ртути (II), чтобы снизить концентрацию ионов ртути до  $10^{-11}$  М. Константа нестойкости иона  $[Hg(SCN)_4]^{2-}$  равна  $1,7 \cdot 10^{-20}$ .

**8.24.** Сколько моль  $KCN$  надо внести в 1 л  $1 \cdot 10^{-3}$  М раствора нитрата кадмия, чтобы снизить концентрацию ионов кадмия до  $1 \cdot 10^{-8}$  М раствора?

**8.25.** Вычислить концентрацию ионов серебра в растворе, содержащем в 1 л 0,1 моль нитрата серебра и 2 моль цианида калия.

**8.26.** Рассчитать концентрацию ионов серебра в растворе, содержащем в 1 л 0,1 моль нитрата серебра и 1 моль аммиака.

**8.27.** Вычислить концентрацию  $\text{Hg}^{2+}$  в растворе, содержащем в 1 л 0,01 моль  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  и 0,08 моль иодида калия.

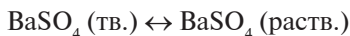
**8.28.** Сколько моль аммиака необходимо ввести в 1 л 0,5 М  $\text{AgNO}_3$ , чтобы снизить концентрацию ионов серебра до  $10^{-5}$  М, если в растворе образуется комплексный ион  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ ?

**8.29.** В 20 мл воды растворили 0,1842 г  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Чему равна концентрация ионов  $\text{Fe}^{2+}$  в растворе?

**8.30.** Сколько моль иодида калия надо прибавить к 1000 мл 0,1 М  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , чтобы концентрация ионов ртути в растворе не превышала  $1 \cdot 10^{-26}$  М, учитывая, что в результате реакции получается соль  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ ?

# РАВНОВЕСИЯ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

## Система «осадок – раствор»



1)  $\text{BaSO}_4 (\text{тв.}) \leftrightarrow \text{BaSO}_4 (\text{раств.})$  – процесс растворения

2)  $\text{BaSO}_4 (\text{раств.}) \leftrightarrow \text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$  – ионизация (мгновенно)

---

$\text{BaSO}_4 (\text{тв.}) \leftrightarrow \text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$  – гетерогенное равновесие.

$$K = \frac{[\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{BaSO}_4 \text{ тв.}]} \quad [\text{BaSO}_4 \text{ тв.}] \gg [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

$$K[\text{BaSO}_4 \text{ тв.}] = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = \text{ПР},$$

где *ПР* – произведение растворимости.

В момент равновесия  $v_1 = v_2$ .

$v_1 = k_1 S$ , где  $S$  – площадь поверхности (процесс растворимости);

$v_2 = k_2 [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$  (процесс образования осадка);

$\text{ПР} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$  – концентрационная константа;

$\text{ПА} = a_{\text{Ba}^{2+}} \cdot a_{\text{SO}_4^{2-}}$  – произведение активностей (термодинамическая константа);

$$\text{ПА} = f_{\text{Ba}^{2+}} \cdot f_{\text{SO}_4^{2-}} \cdot \text{ПР}.$$

*Растворимость* – как процесс – способность вещества образовывать раствор.

*Растворимость* – как характеристика гетерогенной системы – концентрация соединения в насыщенном растворе.

Насыщенный  $\cong$  равновесный.

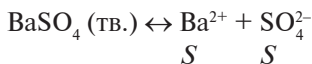
В насыщенном растворе – равновесные концентрации (моль/л).

В любой другой момент времени (ненасыщенный или перенасыщенный раствор) – просто концентрации ионов –  $C_{\text{ион}}$  (моль/л) – и их произведение – это ионное произведение – ИП.

$$\text{ИП} = C_{\text{Ba}^{2+}} \cdot C_{\text{SO}_4^{2-}}.$$

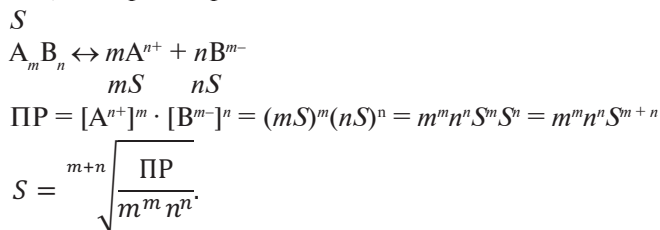
*Растворимость* ( $S$ ) может быть выражена в разной форме: г/100 г раствора, моль/л ( $M$ ), 1:7835

$S$

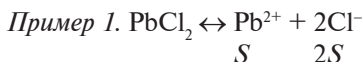


$$\text{ПР} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = S \cdot S = S^2$$

$S = \sqrt{\text{ПР}_{\text{BaSO}_4}}$ , то есть в момент равновесия мы всегда можем рассчитать растворимость соединения, то есть его концентрацию в насыщенном растворе



Значение ПР некоторых осадков приведены в прил. 3.



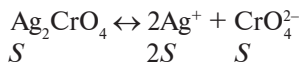
$$\text{ПР} = [\text{Pb}^{2+}][\text{Cl}^-]^2 = S \cdot (2S)^2 = S \cdot 4S^2 = 4S^3$$

$$S = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} \text{ моль/л.}$$

В растворах сильных электролитов следует принимать во внимание ионную силу раствора и рассчитывать коэффициенты активности.

*Пример 2.* Определите растворимость хромата серебра в 0,05 М растворе нитрата натрия.

$$\text{ПР} (\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,61 \cdot 10^{-12}$$



$\text{ПА} = \alpha_{\text{Ag}^+}^2 \cdot \alpha_{\text{CrO}_4^{2-}}$  (ПА – произведение активностей, строго говоря, в справочниках приведены именно ПА, при  $f=1$ ,  $\text{ПА} = \text{ПР}$ )

$$\text{ПА} = f_{\text{Ag}^+}^2 [\text{Ag}^+]^2 f_{\text{CrO}_4^{2-}} [\text{CrO}_4^{2-}] = f_{\text{Ag}^+}^2 f_{\text{CrO}_4^{2-}} \cdot 4S^3$$

$$S = \sqrt[3]{\frac{\text{ПА}}{4 \cdot f_{\text{Ag}^+}^2 f_{\text{CrO}_4^{2-}}}}$$

Рассчитаем ионную силу, создаваемую в растворе нитратом натрия:

$$\mu = \frac{1}{2} (0,05 \cdot 1^2 + 0,05 \cdot 1^2) = 0,05$$

$$-\lg f_i = \frac{0,5Z_i^2\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$$

$$-\lg f_{\text{Ag}^+} = \frac{0,5 \cdot 1^2 \sqrt{0,05}}{1 + \sqrt{0,05}} = 0,091 \quad f_{\text{Ag}^+} = 0,809$$

$$-\lg f_{\text{CrO}_4} = \frac{0,5 \cdot 2^2 \sqrt{0,05}}{1 + \sqrt{0,05}} = 0,368 \quad f_{\text{CrO}_4} = 0,429$$

$$S = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot (0,809)^2 \cdot 0,429}} = 9,9 \cdot 10^{-5}$$

Ответ: растворимость  $9,9 \cdot 10^{-5}$ .

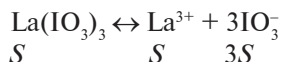
### 9. Вычисление растворимости осадков по величине произведения растворимости

Определение растворимости следующих солей в моль/л и в г/л

- 9.1. Найти растворимость сульфата свинца в моль/л и г/л.
- 9.2. Найти растворимость иодата таллия в моль/л и г/л.
- 9.3. Найти растворимость бромата бария в моль/л и г/л.
- 9.4. Найти растворимость фторида кальция в моль/л и г/л.
- 9.5. Найти растворимость иодида свинца в моль/л и г/л.
- 9.6. Найти растворимость фторида стронция в моль/л и г/л.
- 9.7. Найти растворимость фторида свинца в моль/л и г/л.
- 9.8. Найти растворимость сульфата стронция в моль/л и г/л.
- 9.9. Найти растворимость  $\text{PbClF}$  в моль/л и г/л.
- 9.10. Найти растворимость  $\text{La}(\text{IO}_3)_3$  в моль/л и г/л.
- 9.11. Найти растворимость  $\text{Ag}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  в моль/л и г/л.

Вычисление содержания вещества в граммах в насыщенном растворе

*Пример.* Вычислите содержание иодата лантана (в г) в 60 л насыщенного раствора этой соли.



$$PP = [La^{3+}][IO_3^-]^3 = 6,2 \cdot 10^{-12}$$

$$PP = S \cdot (3S)^3 = 27S^4$$

$$S = \sqrt[4]{\frac{PP}{27}} = \sqrt[4]{\frac{6,2 \cdot 10^{-12}}{27}} = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

$$m = S \cdot V \cdot M = 6,9 \cdot 10^{-4} \cdot 60 \cdot 664 = 27,58 \text{ г.}$$

Ответ: 27,58 г.

**9.12.** Вычислить содержание в граммах хлорида кальция в его насыщенном растворе объемом 3,5 л.

**9.13.** Вычислить содержание в граммах бромида серебра в его насыщенном растворе объемом 10 л.

**9.14.** Вычислить содержание в граммах сульфата бария в его насыщенном растворе объемом 100 л.

**9.15.** Вычислить содержание в граммах сульфата стронция в его насыщенном растворе объемом 50 л.

**9.16.** Вычислить содержание в граммах сульфата кальция в его насыщенном растворе объемом 1 л.

**9.17.** Вычислить содержание в граммах иодата лантана в его насыщенном растворе объемом 60 л.

**9.18.** Вычислить содержание в граммах  $PbClF$  в его насыщенном растворе объемом 3,5 л.

**9.19.** Вычислить содержание в граммах иодата кальция в его насыщенном растворе объемом 500 мл.

**9.20.** Вычислить содержание в граммах хлорида свинца в его насыщенном растворе объемом 175 мл.

**9.21.** Вычислить содержание в граммах бромида свинца в его насыщенном растворе объемом 175 мл.

**9.22.** Вычислить содержание в граммах иодида свинца в его насыщенном растворе объемом 175 мл.

**9.23.** Вычислить содержание в граммах хлорида таллия в его насыщенном растворе объемом 1,5 л.

**9.24.** Вычислить содержание в граммах бромида таллия в его насыщенном растворе объемом 1,5 л.

**9.25.** Вычислить содержание в граммах иодида таллия в его насыщенном растворе объемом 1,5 л.

**9.26.** Сколько грамм-ионов кальция находится в 1 л насыщенного раствора тартрата кальция?



9.27. Сколько грамм-ионов кальция находится в 1 л насыщенного раствора карбоната кальция?

9.28. Сколько грамм-ионов кальция находится в 1 л насыщенного раствора трехзамещенного фосфата кальция?

9.29. Сколько грамм-ионов кальция находится в 1 л насыщенного раствора фторида кальция?

9.30. Сколько грамм-ионов серебра находится в 500 мл насыщенного раствора хромата серебра?

9.31. Сколько грамм-ионов серебра находится в 500 мл насыщенного раствора арсенита серебра?

9.32. Сколько грамм-ионов серебра находится в 500 мл насыщенного раствора фосфата серебра?

9.33. Сколько грамм-ионов магния находится в 200 мл насыщенного раствора магний-аммоний-фосфата?

9.34. Сколько грамм-ионов фтора находится в 300 мл насыщенного раствора фторида кальция?

9.35. Сколько грамм-ионов свинца находится в 150 мл насыщенного раствора оксалата свинца?

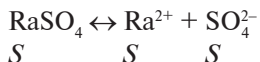
9.36. Сколько грамм-ионов свинца находится в 150 мл насыщенного раствора сульфата свинца?

9.37. Сколько грамм-ионов серебра находится в 500 мл насыщенного раствора арсената серебра?

9.38. Сколько грамм-ионов мышьяка находится в 1 л насыщенного раствора магний-аммоний арсената?

## 10. Вычисление ПР по данным растворимости осадков

*Пример 1.* Вычислите ПР сульфата радия, если в 1 л воды растворяется  $2,11 \cdot 10^{-3}$  г этой соли ( $M = 322$  г/моль).



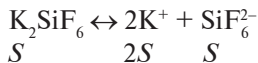
$$\text{ПР} = [\text{Ra}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = S^2$$

$$S = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{2,11 \cdot 10^{-3}}{322 \cdot 1} = 6,55 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$$

$$\text{ПР} = (6,55 \cdot 10^{-6})^2 = 4,29 \cdot 10^{-11}.$$

*Пример 2.* Вычислите ПР  $K_2SiF_6$ , если ее растворимость в воде 1/755 (1 : 755).

$$M = 220 \text{ г/моль.}$$



$$ПР = [K^+]^2[SiF_6^{2-}] = 4S^2S = 4S^3$$

1 г соли растворим в 755 г воды

x г соли растворим в 1000 г воды (1 л при  $\rho = 1 \text{ г/мл}$ )

$$x = 1,33 \text{ г}$$

$$S = \frac{1,33}{M} = \frac{1,33}{220} = 6,02 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

$$ПР = 8,73 \cdot 10^{-7}.$$

**10.1.** В 1 л воды растворяется 0,00151 г хлорида серебра. Вычислить ПР по данным растворимости хлорида серебра.

**10.2.** В 1 л воды растворяется 0,000118 г бромиды серебра. Вычислить ПР по данным растворимости бромиды серебра.

**10.3.** В 1 л воды растворяется 0,000116 г роданида серебра. Вычислить ПР по данным растворимости роданида серебра.

**10.4.** В 1 л воды растворяется 0,00000288 г иодида серебра. Вычислить ПР по данным растворимости иодида серебра.

**10.5.** В 1 л воды растворяется 0,04298 г иодата серебра. Вычислить ПР по данным растворимости иодата серебра.

**10.6.** Растворимость бромата серебра в воде равна 1 : 778. Вычислить произведение растворимости.

**10.7.** Растворимость сульфата бария в воде равна 1 : 428500. Вычислить произведение растворимости.

**10.8.** Растворимость сульфата стронция в воде равна 1 : 10290. Вычислить произведение растворимости.

**10.9.** В 1 л воды растворяется  $2,1 \cdot 10^{-3}$  г сульфата радия. Вычислить ПР по данным растворимости сульфата радия.

**10.10.** Растворимость сульфата кальция в воде равна 1 : 941,7. Вычислить произведение растворимости.

**10.11.** Растворимость сульфата свинца в воде равна 1 : 26080. Вычислить произведение растворимости.

**10.12.** В 1 л воды растворяется 0,3687 г  $PbClF$ . Вычислить ПР.

**10.13.** В 1 л воды растворяется 0,05533 г иодида таллия. Вычислить ПР.

**10.14.** В 100 мл воды растворяется 0,3892 г роданида таллия. Вычислить ПР.

**10.15.** Растворимость иодата таллия в воде равна 1 : 1778. Вычислить ПР.

**10.16.** В 1 л воды растворяется 0,4117 г бромиды таллия. Вычислить ПР.

**10.17.** В 100 мл воды растворяется 0,3063 г бромата таллия. Вычислить ПР.

**10.18.** В 1 л воды растворяется 1,318 г фторида бария. Вычислить ПР.

**10.19.** В 1 л воды растворяется 0,4904 г фторида свинца. Вычислить ПР.

**10.20.** Известно, что растворимость фторида магния в воде равна 1 : 13250. Определить ПР фторида магния.

**10.21.** Известно, что растворимость хлорида свинца в воде равна 1 : 92. Определить ПР хлорида свинца.

**10.22.** Известно, что растворимость бромиды свинца в воде равна 1 : 103. Определить ПР бромиды свинца.

**10.23.** Известно, что растворимость иодида свинца в воде равна 1 : 1714. Определить ПР иодида свинца.

**10.24.** В 1 л воды растворяется 0,01592 г фторида кальция. Определить ПР фторида кальция.

**10.25.** В 1 л воды растворяется 0,08492 г хлорплатината цезия. Определить ПР.

**10.26.** Растворимость  $K_2SiF_6$  в воде составляет 1 : 833. Определить ПР.

**10.27.** Растворимость хлорплатината рубидия в воде составляет 1 : 333. Определить ПР.

**10.28.** Растворимость хлорплатината аммония в воде составляет 1 : 148. Определить ПР.

**10.29.** Растворимость хлорплатината таллия в воде составляет 1 : 15700. Определить ПР.

**10.30.** Растворимость гексацианоферрата (II) серебра в воде составляет 1 :  $6,9 \cdot 10^8$ . Вычислить ПР.

**10.31.** Растворимость гексацианоферрата (III) серебра в воде составляет 1 : 761000. Вычислить ПР.

**10.32.** Растворимость иодата лантана в воде равна 1 : 693,4. Вычислить ПР.

## 11. Сравнение растворимости осадков

*Пример.* Определите, какая соль – хлорид или хромат серебра – более растворима и во сколько раз, вычислите молярное и массовое отношение.

$$\text{ПР AgCl} = 1,78 \cdot 10^{-10}$$

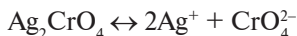
$$\text{ПР Ag}_2\text{CrO}_4 = 1,1 \cdot 10^{-12}$$

$$\text{M AgCl} = 143,3$$

$$\text{M Ag}_2\text{CrO}_4 = 331,7$$



$$\text{ПР} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = S \cdot S = S^2$$



$$\text{ПР} = [\text{Ag}^+]^2[\text{CrO}_4^{2-}] = (2S)^2S = 4S^3$$

$$S(\text{AgCl}) = \sqrt{\text{ПР}} = \sqrt{1,78 \cdot 10^{-10}} = 1,334 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$S(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 10^{-12}}{4}} = 6,500 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Более растворим хромат серебра.

Молярное отношение:

$$\frac{1,334 \cdot 10^{-5}}{6,500 \cdot 10^{-5}} = 4,89 \text{ раза.}$$

Массовое отношение:

$$4,89 \frac{331,7}{143,3} = 11,3 \text{ раза.}$$

**11.1.** Какая соль более растворима – сульфат бария или сульфат стронция? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.2.** Какая соль более растворима – хлорид серебра или бромид серебра? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.3.** Какая соль более растворима – хлорид серебра или иодид серебра? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.4.** Какая соль более растворима — хлорид серебра или хромат серебра? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.5.** Какая соль более растворима — оксалат серебра или оксалат кальция? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.6.** Какая соль более растворима — оксалат кальция или фосфат кальция? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.7.** Какая соль более растворима — сульфат свинца или фторид свинца? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.8.** Какая соль более растворима — иодид свинца или фосфат лития? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.9.** Какая соль более растворима — карбонат цинка или фторид свинца? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.10.** Какая соль более растворима — оксалат серебра или карбонат кальция? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.11.** Какая соль более растворима — фторид кальция или оксалат кальция? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

**11.12.** Какая соль более растворима — карбонат свинца или фосфат серебра? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

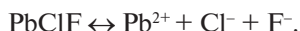
**11.13.** Какая соль более растворима — арсенат серебра или хлорид серебра? Во сколько? Вычислить молярное и массовое соотношение.

## **12. Влияние одноименного иона на растворимость осадков**

*Пример.* В насыщенном растворе  $\text{PbClF}$  концентрация иона  $\text{Cl}^-$  увеличена в 10 раз. Найти концентрацию  $\text{F}^-$ .

$$\text{ПР } \text{PbClF} = 2,8 \cdot 10^{-9}$$

Найдем концентрацию хлорид-иона в насыщенном растворе до ее увеличения:



Концентрации ионов свинца, хлорид и фторид ионов равны между собой и равны растворимости.

$$\text{ПР} = S^3$$

$$S = \sqrt[3]{2,8 \cdot 10^{-9}} = 1,41 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

После увеличения концентрации хлорид-ионов она равна  $1,41 \cdot 10^{-2}$  моль/л

$$ПР = y^2[Cl^-] = y^2 \cdot 1,41 \cdot 10^{-2},$$

где  $y$  – концентрации ионов свинца и фторид-ионов.

$$y = \sqrt{\frac{2,8 \cdot 10^{-9}}{1,41 \cdot 10^{-2}}} = 4,47 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Ответ: концентрация фторид-ионов  $4,47 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

**12.1.** В насыщенном растворе сульфата бария концентрация иона бария увеличена в 10 раз. Чему будет равна концентрация сульфат-иона?

**12.2.** В насыщенном растворе бромиде серебра концентрация иона брома увеличена в 17 раз. Чему будет равна концентрация иона серебра?

**12.3.** В насыщенном растворе сульфата свинца концентрация сульфат-иона увеличена в 100 раз. Чему будет равна концентрация иона свинца?

**12.4.** В насыщенном растворе фторида кальция концентрация иона кальция увеличена в 10 раз. Чему будет равна концентрация фторид-иона?

**12.5.** В насыщенном растворе фторида кальция концентрация иона фтора увеличена в 10 раз. Чему будет равна концентрация иона кальция?

**12.6.** В насыщенном растворе иодида свинца концентрация иона иода увеличена в 10 раз. Чему будет равна концентрация иона свинца?

**12.7.** В насыщенном растворе иодида свинца концентрация иона свинца увеличена в 10 раз. Чему будет равна концентрация иона иода?

**12.8.** В насыщенном растворе хромата серебра концентрация хромат-иона увеличена в 7 раз. Чему будет равна концентрация иона серебра?

**12.9.** В насыщенном растворе магний-аммоний фосфата концентрация фосфат-иона увеличена в 2 раза. Чему будет равна концентрация иона магния?

**12.10.** В насыщенном растворе магний-аммоний фосфата концентрация фосфат-иона увеличена в 3 раза, а концентрация иона аммония – в 10 раз. Чему будет равна концентрация иона магния?

**12.11.** В насыщенном растворе  $PbCl_2$  концентрация иона хлора увеличена в 10 раз. Чему будет равна концентрация иона фтора?

**12.12.** В насыщенном растворе гидроокиси железа (III) концентрация гидроксил-иона увеличена в 15 раз. Чему будет равна концентрация иона железа?

**12.13.** К 200 мл насыщенного раствора сульфата бария прибавлено 5 мл 0,5 М раствора сульфата натрия. Сколько грамм-ионов бария останется в растворе?

**12.14.** К 150 мл насыщенного раствора хлорида серебра прибавлено 10 мл 3%-го раствора хлорида натрия. Сколько грамм-ионов серебра останется в растворе?

**12.15.** К 5,5 л насыщенного раствора бромида серебра прибавлено 100 мл 7%-го раствора бромида калия. Сколько грамм-ионов серебра останется в растворе?

**12.16.** К 125 мл насыщенного раствора сульфата свинца прибавлено 5 мл 5%-го раствора сульфата калия. Сколько грамм-ионов свинца останется в растворе?

**12.17.** К 100 мл насыщенного раствора гидроксида магния прибавлено 10 мл 2%-го раствора гидроксида натрия. Сколько грамм-ионов магния останется в растворе?

**12.18.** К 225 мл насыщенного раствора фторида кальция прибавлено 25 мл 10%-го раствора хлорида кальция. Сколько грамм-ионов фтора останется в растворе?

**12.19.** К 225 мл насыщенного раствора фторида кальция прибавлено 25 мл 6%-го раствора фторида калия. Сколько грамм-ионов кальция останется в растворе?

**12.20.** К 400 мл насыщенного раствора магний-аммоний фосфата прибавлено 40 мл 10%-го раствора трехзамещенного фосфата аммония. Сколько граммов магния останется в растворе?

**12.21.** К 200 мл насыщенного раствора магний-аммоний фосфата прибавлено 100 мл 5 М раствора аммиака. Сколько граммов магния останется в растворе?

**12.22.** К 200 мл насыщенного раствора магний-аммоний фосфата прибавлено 20 мл 11%-го раствора трехзамещенного фосфата натрия. Сколько грамм-ионов магния останется в растворе?

**12.23.** К 1,5 л насыщенного раствора трехзамещенного фосфата свинца прибавлено 300 мл 10%-го раствора трехзамещенного фосфата натрия. Сколько грамм-ионов свинца останется в растворе?

**12.24.** Смешано по 500 мл 3%-го раствора нитрата серебра и 1%-го раствора соляной кислоты. Сколько грамм-ионов серебра останется в растворе?

**12.25.** Смешано по 750 мл 1%-х растворов нитрата серебра и трехзамещенного фосфата аммония. Сколько грамм-ионов серебра останется в растворе?

**12.26.** Смешано по 1 л насыщенных растворов сульфата свинца и хлорида свинца. Сколько грамм-ионов сульфат-иона останется в растворе?

### 13. Условия образования осадков

Насыщенный раствор – состояние равновесия. Концентрации ионов в таких растворах являются равновесными, а их произведение в степенях, соответствующих стехиометрическим коэффициентам, – величина постоянная – ПР.

В любой другой момент времени (ненасыщенный или перенасыщенный раствор) – просто концентрации ионов – Сион (моль/л) – и их произведение – это ионное произведение – ИП.

*Условие образования осадка:*  $ИП \geq ПР$

$ИП < ПР$  – растворение осадка

$ИП = ПР$  – равновесие.

*Пример 1.* Смесь 100 мл 1 М раствора хромата калия и 2 мл 0,1 М раствора хлорида натрия доведена водой до 10 л и прибавлен 1 мл 0,1 М раствора нитрата серебра. Образуется ли осадок и какого состава?

$$ПР AgCl = 1,78 \cdot 10^{-10}$$

$$ПР Ag_2CrO_4 = 1,1 \cdot 10^{-12}$$

Пересчитаем концентрации с учетом разбавления:

$$C(Ag^+) = \frac{0,1 \cdot 1}{10001} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$C(Cl^-) = \frac{0,1 \cdot 2}{10001} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$C(CrO_4^{2-}) = \frac{1 \cdot 100}{10001} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$



$$\text{ИП AgCl} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-10}$$

ИП AgCl > ПР, осадок выпадает.

$$\text{ИП Ag}_2\text{CrO}_4 = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^{-2} = 1 \cdot 10^{-7}$$

ИП Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> < ПР, осадок не образуется.

Ответ: образуется осадок хлорида серебра.

*Пример 2.* Сколько граммов хлорида аммония необходимо прибавить к 20 мл раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-3}$  М хлорида марганца и 0,2 М аммиака, чтобы не образовывался осадок гидроксида марганца?

$$\text{ПР Mn(OH)}_2 = 1,9 \cdot 10^{-13}$$

$$M(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,5 \text{ г/моль.}$$

Чтобы не образовывался осадок Mn(OH)<sub>2</sub>, его ИП должно быть меньше ПР. Рассчитаем концентрацию гидроксид-ионов, при которой начинается осаждение гидроксида марганца, если концентрация  $[\text{Mn}^{2+}] = 5 \cdot 10^{-3}$  М:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{\text{ПР}}{[\text{Mn}^{2+}]}} = \sqrt{\frac{1,9 \cdot 10^{-13}}{5 \cdot 10^{-3}}} = 6,16 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

Концентрация гидроксид-ионов не должна превышать рассчитанную величину (точнее, должна быть ниже этой величины). Гидроксид-ионы образуются в растворе при диссоциации аммиака. Чтобы снизить концентрацию этих ионов, в раствор добавляют сильный электролит с одноименным ионом: хлорид аммония (для подавления диссоциации). Рассчитаем концентрацию иона аммония:

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} = 1,76 \cdot 10^{-5}$$

$$[\text{NH}_4^+] = \frac{K_b[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{OH}^-]} = \frac{1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2}{6,16 \cdot 10^{-6}} = 0,57 \text{ моль/л.}$$

Рассчитаем массу хлорида аммония, необходимую для подавления диссоциации:

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{C \cdot M \cdot V(\text{мл})}{1000} = \frac{0,57 \cdot 53,5 \cdot 20}{1000} = 0,61 \text{ г.}$$

Ответ: необходимо добавить 0,61 г хлорида аммония.

*Пример 3.* Образуется ли осадок  $\text{PbSO}_4$ , если к насыщенному раствору  $\text{PbCl}_2$  добавить равный объем 0,2 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

$$\text{ПР } \text{PbCl}_2 = 1,6 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{ПР } \text{PbSO}_4 = 1,6 \cdot 10^{-8}$$

$$K_{a2} = 1,2 \cdot 10^{-2}$$

Рассчитаем концентрацию ионов свинца в насыщенном растворе хлорида свинца:

$$\text{ПР } (\text{PbCl}_2) = [\text{Pb}^{2+}][\text{Cl}^-]^2 = S \cdot (2S)^2 = 4S^3$$

$$[\text{Pb}^{2+}] = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{1,6 \cdot 10^{-5}}{4}} = 1,59 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Это концентрация ионов свинца до разбавления, после смешивания с равным объемом серной кислоты их концентрация уменьшилась в 2 раза:

$$[\text{Pb}^{2+}] = 7,95 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Рассчитаем концентрацию сульфат-ионов, образующихся при диссоциации серной кислоты (сильная по первой ступени и с константой диссоциации  $> 10^{-3}$  по второй, см. пример 5 к разделу 3). Решив квадратное уравнение  $x^2 + 0,212x - 0,0024 = 0$ , получаем, что  $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,03$  моль/л. С учетом разбавления после смешивания растворов  $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,015$  моль/л.

Рассчитаем ИП:  $\text{ИП } (\text{PbSO}_4) = 7,95 \cdot 10^{-3} \cdot 0,015 = 1,19 \cdot 10^{-4} > \text{ПР}$ .

Ответ: осадок образуется.

**13.1.** В 12 л воды растворено 0,01 г хлорида калия и прибавлен 1 мл 0,1 М раствора нитрата серебра. Будет ли образовываться осадок?

**13.2.** В 12 л воды растворено 0,01 г бромиды калия и прибавлен 1 мл 0,1 М раствора нитрата серебра. Будет ли образовываться осадок?

**13.3.** Смесь 10 мл 0,1 М раствора хлорида натрия и 1 мл 0,01 М раствора бромиды калия доведена водой до 10 л и прибавлен 1 мл 0,01 М раствора нитрата серебра. Будет ли образовываться осадок?

**13.4.** Смесь 100 мл 1 М раствора хромата калия и 2 мл 0,1 М раствора хлорида натрия доведена водой до 10 л и прибавлен 1 мл 0,1 М раствора нитрата серебра. Будет ли образовываться осадок?

**13.5.** При каком значении рН начнется выпадение осадка гидроксида марганца (II) из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М хлорида марганца?

**13.6.** При какой концентрации ионов магния начнется выпадение осадка гидроксида магния из раствора, содержащего 0,5 М хлорида аммония и 0,1 М гидроксида аммония?

**13.7.** При какой концентрации ионов марганца начинается выпадение осадка гидроксида марганца (II) из раствора, имеющего  $\text{pH} = 8,3$ ?

**13.8.** Выпадет ли осадок сульфата стронция, если к раствору, содержащему  $2 \cdot 10^{-1}$  М хлорида стронция, прибавить равный объем насыщенного раствора сульфата кальция?

**13.9.** Выпадет ли осадок гидроксида магния, если к 25 мл раствора, содержащего  $3 \cdot 10^{-2}$  М хлорида магния и 0,5 М аммиака, прибавить 8 г хлорида аммония?

**13.10.** Выпадет ли осадок гидроксида марганца (II), если к 20 мл раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-1}$  М хлорида марганца, прибавить 10 мл 2 М раствора аммиака?

**13.11.** При каком значении  $\text{pH}$  начнется выпадение осадка гидроксида магния из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М хлорида магния?

**13.12.** При какой концентрации ионов марганца начнется выпадение осадка гидроксида марганца из раствора, содержащего 0,5 М хлорида аммония и 0,1 М гидроксида аммония?

**13.13.** При какой концентрации ионов магния начнется выпадение осадка гидроксида магния из раствора, имеющего  $\text{pH} = 8,3$ ?

**13.14.** Выпадет ли осадок сульфата стронция, если к раствору, содержащему  $2 \cdot 10^{-4}$  М хлорида стронция, прибавить равный объем насыщенного раствора сульфата кальция?

**13.15.** Выпадет ли осадок гидроксида марганца (II), если к 25 мл раствора, содержащего  $3 \cdot 10^{-2}$  М хлорида марганца и 0,5 М аммиака, прибавить 8 г хлорида аммония?

**13.16.** Выпадет ли осадок гидроксида магния, если к 20 мл раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-1}$  М раствора хлорида магния, прибавить 10 мл 2 М аммиака?

**13.17.** Выпадет ли осадок гидроксида марганца, если к 20 мл раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-3}$  М сульфата марганца и 2 М аммиака, прибавить 8 г хлорида аммония?

**13.18.** Образуется ли осадок гидроксида железа (II), если к 20 мл раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-3}$  М сульфата железа, прибавить 10 мл 0,5 М раствора аммиака?

**13.19.** Сколько граммов хлорида аммония необходимо прибавить к 20 мл раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-3}$  М хлорида марганца и 0,2 М аммиака, чтобы не выпал осадок гидроксида марганца (II)?

**13.20.** Сколько граммов хлорида аммония необходимо прибавить к 20 мл раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М сульфата железа (II) и  $5 \cdot 10^{-2}$  М аммиака, чтобы не выпал осадок гидроксида железа (II)?

**13.21.** Образуется ли осадок гидроксида железа (II), если к 20 мл раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-2}$  М аммиака и  $2 \cdot 10^{-3}$  М сульфата железа, прибавить 5 г хлорида аммония?

**13.22.** Сколько граммов хлорида аммония нужно прибавить к 20 мл раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-3}$  М сульфата железа и  $5 \cdot 10^{-2}$  М аммиака, чтобы не выпал осадок гидроксида железа (II)?

**13.23.** Образуется ли осадок гидроксида железа (III), если к 15 мл раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-3}$  М хлорида железа (III), прибавить 5 мл  $2 \cdot 10^{-4}$  М раствора аммиака?

**13.24.** Будет ли выпадать осадок гидроксида железа (III), если к 25 мл раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-2}$  М хлорида железа (III) и  $5 \cdot 10^{-1}$  М раствора аммиака, прибавить 5 г хлорида аммония?

**13.25.** При какой концентрации ионов железа (III) в растворе начнется выпадение осадка гидроксида железа (III), если в растворе содержится  $2 \cdot 10^{-1}$  М аммиака и 2 М хлорида аммония?

**13.26.** Сколько граммов едкого натра надо прибавить к 20 мл раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-5}$  М хлорида магния, чтобы образовался осадок гидроксида магния?

**13.27.** Сколько граммов хлорида аммония необходимо добавить к 20 мл раствора, содержащего 0,1 М аммиака и  $2 \cdot 10^{-2}$  М сульфата магния, чтобы не выпал осадок гидроксида магния?

**13.28.** Сколько мл 15%-го раствора хлорида аммония нужно добавить к 20 мл раствора, содержащего 1 М аммиака и  $2 \cdot 10^{-2}$  М хлорида магния, чтобы предупредить выпадение осадка гидроксида магния?

**13.29.** Сколько мл 2 М раствора соляной кислоты нужно прибавить к 20 мл раствора, содержащего  $3 \cdot 10^{-2}$  М нитрата свинца, чтобы выпал осадок хлорида свинца?

**13.30.** При какой концентрации ионов стронция в растворе можно осадить их действием насыщенного раствора сульфата кальция?

**13.31.** При какой концентрации ионов железа (II) в растворе начнется выпадение осадка гидроксида железа (II) из раствора, содержащего 0,5 М сульфата аммония и  $5 \cdot 10^{-3}$  М аммиака?

**13.32.** Образуется ли осадок сульфата свинца, если к 125 мл насыщенного раствора хлорида свинца прибавить 5 мл 0,5%-го раствора сульфата натрия?

**13.33.** Выпадет ли осадок сульфата кальция, если к 0,1 М раствору хлорида кальция прибавить 0,1 М раствор серной кислоты?

**13.34.** Выпадет ли осадок гидроксида свинца, если в насыщенный раствор хлорида свинца прибавить равный объем 2 М раствора аммиака?

**13.35.** Выпадет ли осадок сульфата свинца, если в насыщенный раствор хлорида свинца прибавить равный объем 0,2 М серной кислоты?

**13.36.** Выпадет ли осадок сульфата свинца, если в насыщенный раствор хлорида свинца, содержащий 0,5 М соляной кислоты, прибавить равный объем 0,1 М серной кислоты?

**13.37.** Выпадет ли осадок сульфата свинца, если к 150 мл насыщенного раствора хлорида свинца прибавить 5 г хлорида натрия и 5 мл 0,1 М раствора серной кислоты?

**13.38.** При каком значении рН начнется выпадение осадка гидроксида магния из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М сульфата магния?

**13.39.** При каком значении рН начнется выпадение в осадок гидроксида железа (II) из раствора, содержащего  $4 \cdot 10^{-5}$  М сульфата железа (II)?

**13.40.** При каком значении рН начнется выпадение в осадок гидроксида железа (III) из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М сульфата железа (III)?

**13.41.** При каком значении рН начнется выпадение в осадок гидроксида цинка из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М сульфата цинка?

**13.42.** При каком значении рН начнется выпадение в осадок гидроксида алюминия из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М хлорида алюминия?

**13.43.** При каком значении рН начнется выпадение в осадок гидроксида никеля из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М хлорида никеля?

**13.44.** При каком значении рН начнется выпадение в осадок гидроксида кобальта из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М хлорида кобальта?

**13.45.** Образуется ли осадок гидроксида железа (II), если в растворе содержится 0,5 М сульфата аммония, 0,01 М аммиака и 0,02 М сульфата железа?

**13.46.** При какой концентрации ионов свинца в растворе их можно открыть с помощью насыщенного раствора сульфата кальция?

**13.47.** При какой концентрации ионов стронция в растворе их можно обнаружить с помощью насыщенного раствора карбоната лития?

**13.48.** При какой концентрации ионов хромата начнется выпадение осадка хромата свинца из раствора, содержащего 0,08 М нитрата свинца?

**13.49.** Сколько г сульфата аммония надо добавить к 100 мл раствора, содержащего 0,1 М хлорида магния и 0,2 М аммиака, чтобы не происходило образование осадка гидроксида магния?

**13.50.** При какой концентрации ионов аммония не будет происходить осаждение гидроксида марганца (II) в растворе, содержащем 0,01 М аммиака и 0,02 М хлорида марганца?

**13.51.** Какая величина ПР должна быть у гидроокиси двухвалентного металла, чтобы она не выпадала в осадок из раствора, содержащего 1 М нитрата аммония,  $1 \cdot 10^{-2}$  М аммиака и 0,1 М нитрата данного металла?

#### 14. Влияние pH на растворимость осадков

*Пример 1.* Образуется ли осадок  $\text{BaF}_2$  в растворе, содержащем  $1 \cdot 10^{-2}$  М  $\text{BaCl}_2$  и 0,1 М  $\text{NaF}$  при  $\text{pH} = 2$ ?

$$\text{ПР} (\text{BaF}_2) = 1,7 \cdot 10^{-6}$$

$$K_{\text{HF}} = 6,6 \cdot 10^{-4}$$

Осадок образуется, если ИП больше ПР:

$$\text{ИП} = [\text{Ba}^{2+}][\text{F}^-]^2$$

$$[\text{Ba}^{2+}] = 1 \cdot 10^{-2} \text{ М (концентрация хлорида бария)}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-2} \text{ М.}$$

Концентрация фторида будет определяться равновесием  $\text{NaF} + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{HF} + \text{Na}^+$

$$C_{\text{M}} = [\text{HF}] + [\text{F}^-] \quad K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{F}^-]}{[\text{HF}]}$$

$$C_{\text{M}} = \frac{[\text{H}^+][\text{F}^-]}{K_a} + [\text{F}^-]$$

$$[\text{F}^-] = \frac{C_{\text{M}}}{\frac{[\text{H}^+]}{K_a} + 1} = \frac{0,1}{\frac{10^{-2}}{6,6} \cdot 10^{-4} + 1} = 6,19 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

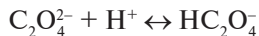
$\text{ИП} = 10^{-2} \cdot (6,19 \cdot 10^{-3})^2 = 3,83 \cdot 10^{-7} < \text{ПР}$ , осадок не образуется.

*Пример 2.* Найти растворимость  $\text{SrC}_2\text{O}_4$  при  $\text{pH} = 2$ .

$$\text{ПР} (\text{SrC}_2\text{O}_4) = 5,6 \cdot 10^{-8}$$

$$K_{a1} = 5,6 \cdot 10^{-2}$$

$$K_{a2} = 5,4 \cdot 10^{-5}$$



$$C(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] + [\text{HC}_2\text{O}_4^-] + [\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4]$$

$$\text{ПР} = [\text{Sr}^{2+}][\text{C}_2\text{O}_4^{2-}].$$

Обозначим растворимость через  $x$ , тогда  $[\text{Sr}^{2+}] = C(\text{C}_2\text{O}_4^{2-}) = x$ .  
Выразим концентрацию оксалат-иона из констант диссоциации и концентрации ионов водорода

$$[\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = \frac{K_1 \cdot K_2 x}{[\text{H}^+]^2 + K_1[\text{H}^+] + K_1 \cdot K_2} = 4,6 \cdot 10^{-3} x.$$

Подставим в ПР, чтобы найти  $x$  (растворимость):

$$\text{ПР} = x^2 \cdot 4,6 \cdot 10^{-3}$$

$$x = \sqrt{\frac{5,6 \cdot 10^{-8}}{4,6 \cdot 10^{-3}}} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

*Пример 3.* Образуется ли осадок  $\text{PbS}$  в растворе, содержащем  $2 \cdot 10^{-3}$  М нитрата свинца при  $\text{pH} = 0,5$  и насыщении сероводородом? Концентрация  $\text{H}_2\text{S} = 0,1$  М.

$$\text{ПР}_{\text{PbS}} = 3,4 \cdot 10^{-28}$$

$$K_{a1} = 1 \cdot 10^{-7}$$

$$K_{a2} = 8,5 \cdot 10^{-13}$$

$$[\text{Pb}^{2+}][\text{S}^{2-}] > \text{ПР}$$

$$[\text{Pb}^{2+}] = 2 \cdot 10^{-3} \text{ М}$$

$$[\text{S}^{2-}] = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C(\text{H}_2\text{S})}{[\text{H}^+]^2 + K_1[\text{H}^+] + K_1 \cdot K_2}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-0,5} = 0,316 \text{ М}$$

$$[\text{S}^{2-}] = \frac{2,5 \cdot 10^{-20} \cdot 0,1}{0,316^2 + 10^{-7} \cdot 0,316 + 2,5 \cdot 10^{-20}} = 2,5 \cdot 10^{-20} \text{ М}$$

$$\text{ИП} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 10^{-20} = 5 \cdot 10^{-23} > \text{ПР}$$

Осадок образуется.

**14.1.** Выпадет ли осадок  $\text{CaF}_2$  в растворе, содержащем 0,01 М  $\text{CaCl}_2$ , 0,1 М  $\text{NaF}$ , если  $\text{pH} = 1,3$ ?

**14.2.** Выпадет ли осадок  $\text{CaF}_2$  в растворе, содержащем  $1 \cdot 10^{-3}$  М  $\text{CaCl}_2$ , 0,1 М  $\text{NaF}$  и 0,5 г-ион/л водорода?

**14.3.** Выпадет ли осадок  $\text{CaF}_2$ , если к 0,01 М раствору  $\text{CaCl}_2$ , содержащему 1 М  $\text{HCl}$ , добавлено 0,1 М  $\text{NaF}$ ?

**14.4.** Выпадет ли осадок  $\text{BaF}_2$  в растворе, содержащем  $1 \cdot 10^{-2}$  М  $\text{BaCl}_2$ , 0,1 М  $\text{NaF}$  и 0,1 г-ион/л водорода?

**14.5.** Выпадет ли осадок  $\text{PbF}_2$  в растворе, содержащем  $1 \cdot 10^{-2}$  М  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , 0,1 М  $\text{NaF}$  и 0,1 г-ион/л водорода?

**14.6.** Выпадет ли осадок  $\text{PbF}_2$  в растворе, содержащем 0,01 М  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , 0,1 М  $\text{NaF}$ , если  $\text{pH}$  раствора равен 3,5?

**14.7.** Найти растворимость  $\text{CaF}_2$ , если  $\text{pH}$  раствора равен 1.

**14.8.** Найти растворимость  $\text{CaF}_2$ , если  $\text{pH}$  раствора равен 3.

**14.9.** Найти растворимость  $\text{MgF}_2$ , если  $\text{pH}$  раствора равен 2.

**14.10.** Выпадет ли осадок  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  в растворе, содержащем 0,01 М  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 0,1 М  $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , если  $\text{pH}$  раствора равен 2,5?

**14.11.** Выпадет ли осадок  $\text{PbC}_2\text{O}_4$  в растворе, содержащем 0,01 М  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , 0,1 М  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , если  $\text{pH}$  раствора равен 1?

**14.12.** Как изменится растворимость  $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$  при изменении кислотности от  $[\text{H}^+] = 2$  до  $\text{pH} = 5$ ?

**14.13.** Найти растворимость  $\text{SrC}_2\text{O}_4$  при  $\text{pH} = 2$ .

**14.14.** Найти растворимость  $\text{PbC}_2\text{O}_4$  при  $\text{pH} = 2$ .

**14.15.** Найти растворимость  $\text{PbC}_2\text{O}_4$  при  $[\text{H}^+] = 3$ .

**14.16.** Выпадет ли осадок сульфида цинка из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М хлорида цинка и имеющего  $\text{pH} = 2,3$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.17.** Выпадет ли осадок сульфида цинка из раствора, имеющего  $\text{pH} = 2,5$  и содержащего 1 г хлористого цинка в 250 мл, при насыщении сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.18.** Выпадет ли осадок сульфида цинка из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-5}$  М хлорида цинка и имеющего  $\text{pH} = 1$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.19.** Выпадет ли осадок сульфида цинка из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М сульфата цинка и имеющего  $\text{pH} = 3$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.20.** Выпадет ли осадок сульфида кадмия из раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-4}$  М сульфата кадмия и имеющего  $\text{pH} = 0,5$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.



**14.21.** Выпадет ли осадок сульфида марганца из раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-2}$  М хлорида марганца и имеющего  $\text{pH} = 5,5$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.22.** Выпадет ли осадок сульфида марганца из раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-2}$  М хлорида марганца и имеющего  $\text{pH} = 2$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.23.** Выпадет ли осадок сульфида марганца из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-1}$  М сульфата марганца и имеющего  $\text{pH} = 12,3$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.24.** Выпадет ли осадок сульфида никеля из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М хлорида никеля и имеющего  $\text{pH} = 4$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.25.** Выпадет ли осадок сульфида никеля из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-5}$  М сульфата никеля и имеющего  $\text{pH} = 2,3$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.26.** Выпадет ли осадок сульфида свинца из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-3}$  М нитрата свинца и имеющего  $\text{pH} = 0,5$ , при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.27.** Выпадет ли осадок сульфида железа, если раствор, содержащий  $0,5$  М уксусной кислоты и  $2 \cdot 10^{-3}$  М сульфата двухвалентного железа, насыщать сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.28.** Выпадет ли осадок сульфида цинка, если раствор, содержащий  $0,5$  М уксусной кислоты и  $2 \cdot 10^{-3}$  М хлорида цинка, насыщать сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.29.** Выпадет ли осадок сульфида цинка, если раствор, содержащий  $0,5$  М соляной кислоты и  $2 \cdot 10^{-3}$  М хлорида цинка, насыщать сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.30.** Выпадет ли осадок сульфида цинка, если раствор, содержащий  $2 \cdot 10^{-1}$  М муравьиной кислоты и  $5 \cdot 10^{-3}$  М хлорида цинка, насыщать сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.31.** Выпадет ли осадок сульфида цинка из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М хлорида цинка,  $1 \cdot 10^{-1}$  М ацетата натрия и  $1 \cdot 10^{-1}$  М уксусной кислоты, при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.32.** Выпадет ли осадок сульфида марганца из раствора, содержащего  $3 \cdot 10^{-3}$  М хлорида марганца и  $0,2$  М уксусной кислоты, при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода  $0,1$  М.

**14.33.** Выпадет ли осадок сульфида марганца из раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-3}$  М хлорида марганца, 0,1 М уксусной кислоты и 2 М ацетата натрия, при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.34.** Выпадет ли осадок сульфида кобальта, если раствор, содержащий  $1 \cdot 10^{-2}$  М хлорида кобальта, 2 М уксусной кислоты и 2 М ацетата натрия, насыщать сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.35.** Выпадет ли осадок сульфида кобальта из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-5}$  М хлорида кобальта и 0,5 М уксусной кислоты, при насыщении сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.36.** При каком значении рН не будет выпадать осадок сульфида двухвалентного железа, если раствор, содержащий  $5 \cdot 10^{-3}$  М сульфата железа, насыщать сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.37.** При каком значении рН не будет выпадать осадок сульфида кобальта из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-5}$  М хлорида кобальта, при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.38.** При каком значении рН будет выпадать осадок сульфида кобальта из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М хлорида кобальта, при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.39.** При каком значении рН будет выпадать осадок сульфида двухвалентного железа из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-1}$  М сульфата железа, при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.40.** При каком значении рН сульфида трехвалентного металла не будет происходить осаждение сероводородом в  $1 \cdot 10^{-3}$  молярном растворе соли этого металла при рН = 3? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.41.** При каком значении рН начнется выпадение осадка сульфида марганца, если раствор, содержащий  $5 \cdot 10^{-2}$  М хлорида марганца, насыщать сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.42.** При каком значении рН начнется выпадение осадка сульфида цинка из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М хлорида цинка, при насыщении его сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

**14.43.** При каком значении рН раствора происходит практически полное осаждение ( $1 \cdot 10^{-5}$  М) сульфида цинка при насыщении раствора сероводородом? Концентрация сероводорода 0,1 М.

## 15. Осаждение малорастворимых солей в растворах комплексных соединений

*Пример 1.* Образуется ли осадок тиоцианата серебра из  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствора аммиачного комплекса серебра при добавлении 0,1 М раствора тиоцианата калия, если равновесная концентрация аммиака равна 1 М и в данных условиях преобладает комплекс  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ ?

$$\begin{aligned} \text{PP}_{\text{AgSCN}} &= 1,1 \cdot 10^{-12} \\ \beta_{\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+} &= 1,7 \cdot 10^7 \quad (\lg \beta = 7,23) \\ \text{ИП} &= [\text{Ag}^+][\text{SCN}^-] \\ [\text{SCN}^-] &= 0,1 \text{ М} \end{aligned}$$

$$\beta_2 = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2}$$

$$[\text{Ag}^+] = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+}{\beta[\text{NH}_3]^2} = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{1,7 \cdot 10^7 \cdot 1^2} = 5,88 \cdot 10^{-10} \text{ М}$$

$$\text{ИП} = 0,1 \cdot 5,88 \cdot 10^{-10} = 5,88 \cdot 10^{-11} > \text{PP}.$$

Осадок образуется.

*Пример 2.* При равновесной концентрации аммиака 0,1 М ионы меди (II) образуют комплексы  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}$ ,  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_3^{2+}$ ,  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ . Вычислите равновесные концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$  и оцените возможность образования осадка  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , если общая концентрация  $C(\text{Cu}^{2+}) = 1 \cdot 10^{-3}$  М.

$$\begin{aligned} \lg \beta_2 &= 7,33 \quad \beta_2 = 2,1 \cdot 10^7 \\ \lg \beta_3 &= 10,06 \quad \beta_3 = 1,1 \cdot 10^{10} \\ \lg \beta_4 &= 12,03 \quad \beta_4 = 1,07 \cdot 10^{12} \\ \text{PP Cu}(\text{OH})_2 &= 8,3 \cdot 10^{-20} \\ K_b \text{ NH}_4\text{OH} &= 1,76 \cdot 10^{-5} \\ [\text{Cu}^{2+}][\text{OH}^-]^2 &> \text{PP} \end{aligned}$$

$$C(\text{Cu}^{2+}) = [\text{Cu}^{2+}] + [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}] + [\text{Cu}(\text{NH}_3)_3^{2+}] + [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]$$

$$\beta_2 = \frac{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^{2+}}{[\text{Cu}^{2+}][\text{NH}_3]^2} \Rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^{2+}] = \beta_2[\text{Cu}^{2+}][\text{NH}_3]^2$$

$$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_3^{2+}] = \beta_3[\text{Cu}^{2+}][\text{NH}_3]^3 \text{ и т. д.}$$

$$C(\text{Cu}^{2+}) = [\text{Cu}^{2+}](1 + \beta_2[\text{NH}_3]^2 + \beta_3[\text{NH}_3]^3 + \beta_4[\text{NH}_3]^4)$$

$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{C_{\text{Cu}^{2+}}}{1 + \beta_2[\text{NH}_3]^2 + \beta_3[\text{NH}_3]^3 + \beta_4[\text{NH}_3]^4}$$

$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1 + 2,1 \cdot 10^7 \cdot 0,1^2 + 1,1 \cdot 10^{10} \cdot 0,1^3 + 1,07 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-4}} = 8,47 \cdot 10^{-12}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_b \cdot C_{\text{NH}_4\text{OH}}}{[\text{NH}_4^+]} = \sqrt{K_b \cdot C_{\text{NH}_4\text{OH}}} = \sqrt{1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1}}$$

$$[\text{OH}^-]^2 = 1,76 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{ИП} = 8,47 \cdot 10^{-12} \cdot 1,76 \cdot 10^{-6} = 1,49 \cdot 10^{-17} > \text{ПР.}$$

Осадок образуется.

*Пример 3.* Будет ли осаждаться сульфид цинка из раствора, содержащего 0,01 М  $\text{ZnCl}_2$  и 1,04 М  $\text{KCN}$ , если общая концентрация  $\text{H}_2\text{S}$ , пропущенного через раствор, 0,1 М, а  $\text{pH} = 12$ ? В указанных условиях образуется в основном комплексный ион  $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$ .

$$\lg \beta_4 = 19,62 \quad \beta_4 = 4,17 \cdot 10^{19}$$

$$K_1(\text{H}_2\text{S}) = 1 \cdot 10^{-7}$$

$$K_2(\text{H}_2\text{S}) = 2,5 \cdot 10^{-13}$$

$$\text{ПР}_{\text{ZnS}} = 1,6 \cdot 10^{-24}$$

$$\text{ИП} = [\text{Zn}^{2+}][\text{S}^{2-}]$$

$$\beta_4 = \frac{[\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}]}{[\text{Zn}^{2+}][\text{CN}^-]^4}$$

$$[\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}] = C(\text{ZnCl}_2) = 0,01 \text{ М}$$

$$[\text{CN}^-] = C_{\text{CN}^-} - 4 \cdot [\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}] = 1,04 - 4 \cdot 0,01 = 1 \text{ М}$$

$$[\text{Zn}^{2+}] = \frac{[\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}]}{[\text{CN}^-]^4 \beta_4} = \frac{0,01}{1^4 \cdot 4,17 \cdot 10^{19}} = 2,4 \cdot 10^{-22} \text{ М}$$

$$[\text{S}^{2-}] = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot C(\text{H}_2\text{S})}{[\text{H}^+]^2 + K_1[\text{H}^+] + K_1 \cdot K_2}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-12}$$

$$[S^{2-}] = \frac{1 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 10^{-13} \cdot 0,1}{10^{-24} + 10^{-7} \cdot 10^{-12} + 2,5 \cdot 10^{-20}} = 0,02 \text{ М}$$

$$\text{ИП} = 2,4 \cdot 10^{-22} \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 4,8 \cdot 10^{-24} > \text{ПР.}$$

Осадок выпадает.

*Пример 4.* Найти концентрацию  $S_2O_3^{2-}$ , необходимую для маскирования  $Ag^+$  в  $1 \cdot 10^{-3}$  М растворе  $AgNO_3$ , к которому добавлен 0,1 М  $KCl$ . В данных условиях образуется комплексный ион  $Ag(S_2O_3)_2^{3-}$ .

$$\lg \beta_2 = 13,46 \quad \beta_2 = 2,9 \cdot 10^{13}$$

$$\text{ПР} = 1,78 \cdot 10^{-10}$$

$[Ag^+][Cl^-] < \text{ПР}$  – условие маскирования иона серебра

$$[Ag^+] \leq \frac{\text{ПР}}{[Cl^-]} \leq \frac{1,78 \cdot 10^{-10}}{0,1}$$

$$[Ag^+] \leq 1,78 \cdot 10^{-9}$$

$$\beta = \frac{[Ag(S_2O_3)_2^{3-}]}{[Ag^+][S_2O_3^{2-}]^2}$$

$$[Ag(S_2O_3)_2^{3-}] = C_{AgNO_3}$$

$$[S_2O_3^{2-}] = \sqrt{\frac{[Ag(S_2O_3)_2^{3-}]}{[Ag^+] \cdot \beta}} = \sqrt{\frac{10^{-3}}{1,78 \cdot 10^{-9} \cdot 2,9 \cdot 10^{13}}}$$

$$[S_2O_3^{2-}] \geq 1,39 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

**15.1.** Выпадет ли осадок гидроокиси кадмия из раствора, содержащего 0,005 М соли кадмия и 0,1 М аммиака?

**15.2.** Выпадет ли осадок гидроокиси никеля из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М хлорида никеля и 1 М аммиака?

**15.3.** Выпадет ли осадок гидроокиси никеля из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М хлорида никеля и 1 М аммиака?

**15.4.** Выпадет ли осадок гидроокиси меди из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-3}$  М сульфата меди и  $1 \cdot 10^{-1}$  М аммиака?

**15.5.** Выпадет ли осадок сульфата свинца из раствора, содержащего  $2 \cdot 10^{-2}$  М плюмбита,  $1 \cdot 10^{-2}$  М избытка едкого натра и  $5 \cdot 10^{-1}$  М сульфата натрия?

**15.6.** Выпадет ли осадок роданида серебра из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М нитрата серебра,  $1 \cdot 10^{-1}$  М роданида калия и 1 М аммиака?

**15.7.** Выпадет ли осадок  $\text{AgI}$ , если к  $2 \cdot 10^{-3}$  М раствору нитрата серебра, содержащему 0,01 М  $\text{KCN}$ , добавить 0,25 М  $\text{KJ}$ ?

**15.8.** При какой концентрации  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  в растворе не будет выпадать  $\text{AgBr}$  при добавлении к 0,01 М раствору нитрата серебра 0,1 М  $\text{KBr}$ ?

**15.9.** Сколько граммов  $\text{NH}_4\text{CNS}$  необходимо добавить к 50 мл  $5 \cdot 10^{-3}$  М раствора  $\text{AgNO}_3$ , содержащему 0,1 М  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , чтобы образовался осадок  $\text{AgCNS}$ ?

**15.10.** Выпадет ли осадок  $\text{CuI}$ , если к  $1 \cdot 10^{-3}$  М раствору  $\text{CuSO}_4$ , содержащему 0,1 М  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , добавить 0,5 М  $\text{KI}$ ?

**15.11.** Сколько граммов  $\text{KBr}$  необходимо добавить к 100 мл  $2 \cdot 10^{-3}$  М раствора  $\text{AgNO}_3$ , содержащему 0,001 М  $\text{NH}_4\text{OH}$ , чтобы образовался осадок  $\text{AgBr}$ ?

**15.12.** Выпадет ли осадок  $\text{ZnC}_2\text{O}_4$ , если к  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствору  $\text{ZnSO}_4$ , содержащему 0,1 М  $\text{NH}_4\text{OH}$ , добавить 0,5 М  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ ?

**15.13.** Выпадет ли осадок сульфида цинка из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М хлористого цинка и 1 М цианистого калия, при концентрации сероводорода 0,1 М?

**15.14.** Выпадет ли осадок сульфида цинка из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М хлорида цинка и 1 М аммиака, если общая концентрация сероводорода равна 0,1 М?

**15.15.** Выпадет ли осадок сульфида одновалентной меди из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-3}$  М сульфата меди и  $1 \cdot 10^{-1}$  М цианистого калия, если общая концентрация сероводорода равна 0,05 М?

**15.16.** Выпадет ли осадок сульфида меди из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М  $\text{CuSO}_4$ , 1 М аммиака и  $1 \cdot 10^{-1}$  М сульфида аммония?

**15.17.** Выпадет ли осадок сульфида двухвалентной меди из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-1}$  М сульфата меди и  $5 \cdot 10^{-1}$  М аммиака, если общая концентрация сероводорода 0,05 М?

**15.18.** Выпадет ли осадок сульфида кадмия из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М хлорида кадмия, 1 М цианистого калия и  $1 \cdot 10^{-1}$  М едкого калия, при концентрации сероводорода 0,1 М?

**15.19.** При какой концентрации сульфид-иона начнется выпадение осадка сульфида кадмия из раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-2}$  М  $\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$  и 0,1 М цианистого калия?

**15.20.** Выпадет ли осадок сульфида двухвалентной ртути из раствора, содержащего  $1 \cdot 10^{-2}$  М нитрата ртути и 1 М иодида калия, при насыщении его сероводородом при  $\text{pH} = 2$ ?

**15.21.** Выпадет ли осадок сульфида серебра из раствора, содержащего  $5 \cdot 10^{-2}$  М нитрата серебра,  $1 \cdot 10^{-1}$  М цианистого калия,  $2 \cdot 10^{-1}$  М сильной щелочи и  $5 \cdot 10^{-2}$  М сульфида калия?

**15.22.** Выпадут ли осадки сульфидов одновалентной меди и кадмия из раствора, содержащего по  $1 \cdot 10^{-2}$  г-ион/л одновалентной меди и иона кадмия и  $1 \cdot 10^{-1}$  М цианистого калия, при концентрации сероводорода  $1 \cdot 10^{-1}$  М?

**15.23.** Выпадут ли осадки сульфидов одновалентной меди из раствора, содержащего по  $1 \cdot 10^{-1}$  М сульфата кадмия и сульфата двухвалентной меди и избыток 0,5 М цианистого калия, при концентрации сульфид-иона  $5 \cdot 10^{-3}$  М?

## **16. Вычисление концентрации водородных ионов в насыщенных растворах малорастворимых солей**

**16.1.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе нитрита серебра.

**16.2.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе хромата серебра.

**16.3.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе хромата бария.

**16.4.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе гидрофосфата свинца.

**16.5.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе оксалата серебра.

**16.6.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе тартрата калия.

**16.7.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе карбоната серебра.

**16.8.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе оксалата стронция.

**16.9.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе карбоната марганца.

**16.10.** Вычислить концентрацию протонов в насыщенном растворе карбоната бария.

## **17. Вычисление pH насыщенных растворов, находящихся в равновесии с осадком (с учетом гидролиза)**

**17.1.** Вычислить pH насыщенного раствора карбоната бария.

**17.2.** Вычислить pH насыщенного раствора карбоната марганца.

**17.3.** Вычислить pH насыщенного раствора оксалата стронция.

- 17.4. Вычислить рН насыщенного раствора карбоната серебра.  
 17.5. Вычислить рН насыщенного раствора тартрата калия.  
 17.6. Вычислить рН насыщенного раствора оксалата серебра.  
 17.7. Вычислить рН насыщенного раствора гидрофосфата свинца.  
 17.8. Вычислить рН насыщенного раствора хромата бария.  
 17.9. Вычислить рН насыщенного раствора хромата серебра.  
 17.10. Вычислить рН насыщенного раствора нитрита серебра.

### 18. Окислительно-восстановительные процессы и электронно-ионные уравнения

Для составления уравнений использовать метод полуреакций.

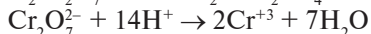
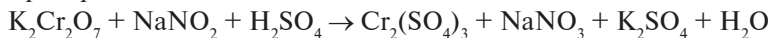
Метод полуреакций учитывает изменения с реально существующими в растворах молекулами и ионами, а также показывает роль среды как активного участника всего процесса.

В зависимости от среды может изменяться характер протекания реакции.

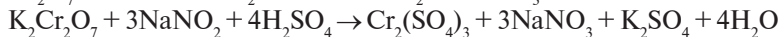
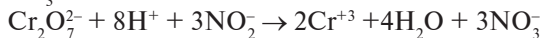
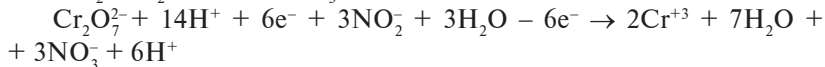
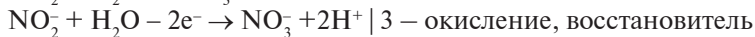
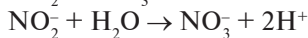
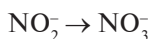


Для составления полуреакции *в кислой среде* используем только  $H^+$  и  $H_2O$ ; в *щелочной* —  $OH^-$  и  $H_2O$ , в нейтральной — как в щелочной.

*Пример 1*

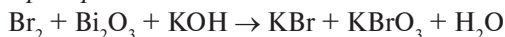


литель

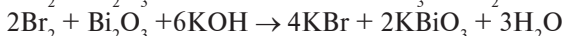
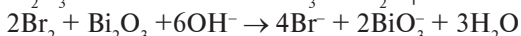
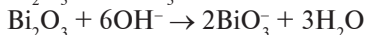
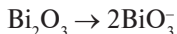


Проверка по кислороду:  $7 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 4 = 3 \cdot 4 + 3 \cdot 3 + 4 + 4$ ;  $29 = 29$

*Пример 2*

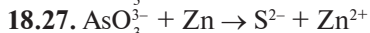
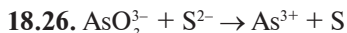
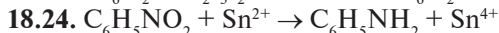
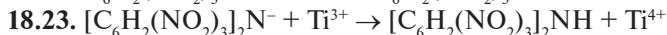
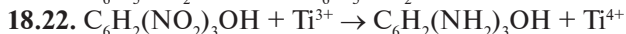
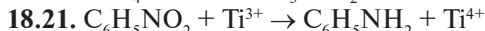
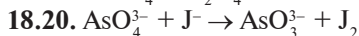
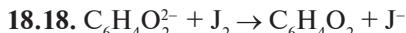
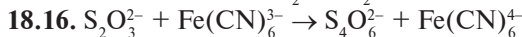
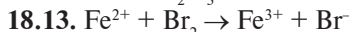
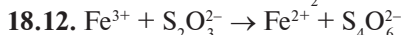
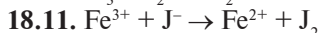
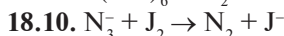
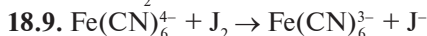
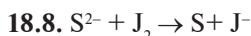
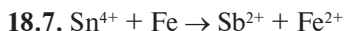
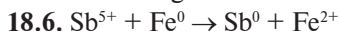
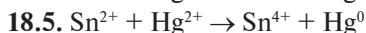
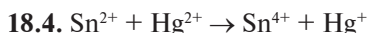
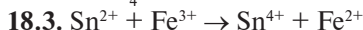
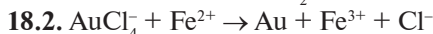
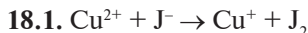






Проверка по кислороду:  $3 + 6 = 2 \cdot 3 + 3$ ;  $9 = 9$ .

*Составить электронно-ионные уравнения реакций, идущих по схемам:*



- 18.32.**  $\text{Cu} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{NO}_2$   
**18.33.**  $\text{Zn} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{NH}_2\text{OH}$   
**18.34.**  $\text{H}_2\text{Sb}_2\text{O}_7^{2-} + \text{J}^- \rightarrow \text{Sb}^{3+} + \text{J}_2$   
**18.35.**  $\text{SbO}_3^- + \text{J}^- \rightarrow \text{Sb}^{3+} + \text{J}_2$   
**18.36.**  $\text{Cu} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_3^{2-}$   
**18.37.**  $\text{Ag} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{NO}$   
**18.38.**  $\text{Ag} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{SO}_3^{2-}$   
**18.39.**  $\text{MnO}_4^- + \text{Sb}^{3+} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{Sb}^{5+}$   
**18.40.**  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + \text{Fe}^{3+}$   
**18.41.**  $\text{UO}_2^{2+} + \text{Zn} \rightarrow \text{U}^{4+} + \text{Zn}^{2+}$   
**18.42.**  $\text{MnO}_2 + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{CO}_2$   
**18.43.**  $\text{MnO}_3^{2-} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{CO}_2$   
**18.44.**  $\text{VO}_3^- + \text{J}^- \rightarrow \text{V}^{4+} + \text{J}_2$   
**18.45.**  $\text{Zn} + \text{MnO}_4^{2-} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Mn}^{3+}$   
**18.46.**  $\text{SO}_3^{2-} + \text{MnO}_2 \rightarrow \text{S}_2\text{O}_6^{2-} + \text{Mn}^{2+}$   
**18.47.**  $\text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$   
**18.48.**  $\text{NO}_2^- + \text{J}^- \rightarrow \text{NO} + \text{J}_2$   
**18.49.**  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{Mn}^{2+}$   
**18.50.**  $\text{Co}^{2+} + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{Co}(\text{NO}_2)_6^{3-} + \text{NO}$   
**18.51.**  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{S}$   
**18.52.**  $\text{CuS} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{S} + \text{NO}$   
**18.53.**  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + \text{S}$   
**18.54.**  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{J}^- \rightarrow \text{Cr}^{3+} + \text{J}_2$   
**18.55.**  $\text{Bi} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Bi}^{3+} + \text{NO}$   
**18.56.**  $\text{Bi} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Bi}^{3+} + \text{SO}_3^{2-}$   
**18.57.**  $\text{S}^{2-} + \text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{S}$   
**18.58.**  $\text{Br}^- + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Br}_2 + \text{SO}_2$   
**18.59.**  $\text{U}_3\text{O}_8 + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{UO}_2^{2+} + \text{NO}$   
**18.60.**  $\text{MnO}_4^- + \text{Cl}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{Cl}_2$   
**18.61.**  $\text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{Cl}^- \rightarrow \text{Pb}^{2+} + \text{Cl}_2$   
**18.62.**  $\text{Pb}_2\text{O}_3 + \text{Cl}^- \rightarrow \text{Pb}^{2+} + \text{Cl}_2$   
**18.63.**  $\text{MnO}_3^{2-} + \text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{S}_2\text{O}_6^{2-}$   
**18.64.**  $\text{TiO}_3^{2-} + \text{Zn} \rightarrow \text{Ti}^{3+} + \text{Zn}^{2+}$   
**18.65.**  $\text{S}_3\text{O}_6^{2-} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$   
**18.66.**  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$   
**18.67.**  $\text{S}_2\text{O}_6^{2-} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Br}^-$   
**18.68.**  $\text{S}_5\text{O}_6^{2-} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$   
**18.69.**  $\text{S}_6\text{O}_6^{2-} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$   
**18.70.**  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{J}_2 \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{J}^-$

- 18.71.**  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$   
**18.72.**  $\text{SO}_3^{2-} + \text{J}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{J}^-$   
**18.73.**  $\text{PtCl}_6^{2-} + \text{HCO}_2^- \rightarrow \text{Pt} + \text{CO}_2 + \text{Cl}^-$   
**18.74.**  $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{PO}_2^- \rightarrow \text{Cu} + \text{PO}_4^{3-}$   
**18.75.**  $\text{U}^{4+} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{UO}_2^{2+} + \text{Br}^-$   
**18.76.**  $\text{CH}_2\text{O} + \text{J}_2 \rightarrow \text{HCO}_2^- + \text{J}^-$   
**18.77.**  $\text{Cr}^{3+} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CrO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$   
**18.78.**  $\text{Ag}^+ + \text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{Ag} + \text{SO}_4^{2-}$   
**18.79.**  $\text{Ag}^+ + \text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{Ag} + \text{HCO}_2^-$   
**18.80.**  $\text{Bi}^{3+} + \text{SnO}_2^{2-} \rightarrow \text{Bi} + \text{SnO}_2^{3-}$   
**18.81.**  $\text{HCO}_2^- + \text{Hg}^{2+} \rightarrow \text{Hg}^+ + \text{CO}_2$   
**18.82.**  $\text{C}_9\text{H}_7\text{NO} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_9\text{H}_5\text{NOBr}_2 + \text{Br}^-$   
**18.83.**  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2 + \text{J}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2 + \text{J}^-$   
**18.84.**  $\text{HPO}_3^{2-} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{PO}_4^{3-} + \text{Br}^-$   
**18.85.**  $\text{H}_2\text{PO}_2^- + \text{Br}_2 \rightarrow \text{PO}_4^{3-} + \text{Br}^-$   
**18.86.**  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{J}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{J}^-$   
**18.87.**  $\text{NH}_2\text{OH} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{Cu}^+$   
**18.88.**  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{Ag}$   
**18.89.**  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{Cu}^+$   
**18.90.**  $\text{NH}_2\text{OH} + \text{Hg}^{2+} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{Hg}$   
**18.91.**  $\text{Rh}^{3+} + \text{HCO}_2^- \rightarrow \text{Rh} + \text{CO}_2$   
**18.92.**  $\text{PtCl}_6^{2-} + \text{CH}_2\text{O} \rightarrow \text{Pt} + \text{CO}_2 + \text{Cl}^-$   
**18.93.**  $\text{Au}^{3+} + \text{AsH}_3 \rightarrow \text{AsO}_3^{3-} + \text{Au}$   
**18.94.**  $\text{AuCl}_4^- + \text{AsH}_3 \rightarrow \text{Au} + \text{Cl}^- + \text{AsO}_3^{3-}$   
**18.95.**  $\text{Au}^{3+} + \text{SbH}_3 \rightarrow \text{Au} + \text{Sb}^{3+}$   
**18.96.**  $\text{Au}^{3+} + \text{SbH}_3 \rightarrow \text{Au} + \text{SbO}_3^{3-}$   
**18.97.**  $\text{Au}^{3+} + \text{SbH}_3 \rightarrow \text{Au} + \text{SbO}^+$   
**18.98.**  $\text{AuCl}_4^- + \text{SbH}_3 \rightarrow \text{Au} + \text{Cl}^- + \text{Sb}^{3+}$   
**18.99.**  $\text{AuCl}_4^- + \text{SbH}_3 \rightarrow \text{Au} + \text{SbO}^+$   
**18.100.**  $\text{AuCl}_4^- + \text{SbH}_3 \rightarrow \text{Au} + \text{SbO}_3^{3-}$   
**18.101.**  $\text{PtCl}_6^{2-} + \text{CO} \rightarrow \text{Pt} + \text{CO}_2 + \text{Cl}^-$   
**18.102.**  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH} + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{CHO} + \text{Cr}^{3+}$   
**18.103.**  $\text{Mn}^{2+} + \text{BiO}_3^- \rightarrow \text{MnO}_4^- + \text{Bi}^{3+}$   
**18.104.**  $\text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{O}_2$   
**18.105.**  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{H}_2\text{PO}_2^- \rightarrow \text{As} + \text{PO}_4^{3-}$   
**18.106.**  $\text{Co}(\text{NO}_2)_6^{3-} + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{Co}^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{NO}_3^-$   
**18.107.**  $\text{JO}_3^- + \text{CO} \rightarrow \text{J}_2 + \text{CO}_2$   
**18.108.**  $\text{AsO}_4^{3-} + \text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{As}^{3+} + \text{SO}_4^{2-}$   
**18.109.**  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{N}_2\text{O}_3$

- 18.110.**  $\text{SeO}_3^{2-} + \text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{Se} + \text{SO}_4^{2-}$   
**18.111.**  $\text{J}^- + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{JO}_3^- + \text{MnO}_2$   
**18.112.**  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2 + \text{CrO}_4^{2-} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2 + \text{Cr}^{3+}$   
**18.113.**  $\text{CNS}^- + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{CN}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Mn}^{2+}$   
**18.114.**  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{Mn}^{2+}$   
**18.115.**  $\text{NO}_2^- + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{Mn}^{2+}$   
**18.116.**  $\text{Cr}^{3+} + \text{BiO}_3^- \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{Bi}^{3+}$   
**18.117.**  $\text{VO}_3^- + \text{NH}_2\text{OH} \rightarrow \text{N}_2 + \text{VO}_2^{2+}$   
**18.118.**  $\text{SO}_3^{2-} + \text{HPO}_3^{2-} \rightarrow \text{S} + \text{HPO}_4^{2-}$   
**18.119.**  $\text{S}_3\text{O}_6^{2-} + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Mn}^{2+}$   
**18.120.**  $\text{UO}_2^{2+} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{U}^{4+} + \text{CH}_3\text{CHO}$   
**18.121.**  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2$   
**18.122.**  $\text{MnO}_4^- + \text{U}^{4+} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{UO}_2^{2+}$   
**18.123.**  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{ClO}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$   
**18.124.**  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{ClO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$   
**18.125.**  $\text{MnO}_4^- + \text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{MnO}_2$   
**18.126.**  $\text{MnO}_4^- + \text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{MnO}_3^{2-}$   
**18.127.**  $\text{CrO}_4^{2-} + \text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{CrO}_2$   
**18.128.**  $\text{Zn} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{ZnO}_2^{2-} + \text{NH}_3$   
**18.129.**  $\text{Al} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{AlO}_2^- + \text{NH}_3$   
**18.130.**  $\text{Zn} + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{ZnO}_2^{2-} + \text{NH}_3$   
**18.131.**  $\text{Al} + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{AlO}_2^- + \text{NH}_3$   
**18.132.**  $\text{P} + \text{JO}_3^- \rightarrow \text{PO}_4^{3-} + \text{J}^-$   
**18.133.**  $\text{P} + \text{JO}_3^- \rightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{J}^-$   
**18.134.**  $\text{P} + \text{JO}_3^- \rightarrow \text{HPO}_3^{2-} + \text{J}_2$   
**18.135.**  $\text{VO}^{2+} + \text{JO}_3^- \rightarrow \text{VO}_3^- + \text{J}^-$   
**18.136.**  $\text{Pb}^{2+} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{PbO}_2 + \text{NO}_2^-$   
**18.137.**  $\text{S} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{SO}_3^{2-}$   
**18.138.**  $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{PO}_2^- \rightarrow \text{CuH}_2 + \text{PO}_4^{3-}$   
**18.139.**  $\text{Br}^- + \text{ClO}^- \rightarrow \text{BrO}_3^- + \text{Cl}^-$   
**18.140.**  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{BrO}^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{Br}^-$   
**18.141.**  $\text{CN}^- + \text{JO}^- \rightarrow \text{CNO}^- + \text{J}^-$   
**18.142.**  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{BrO}_3^- \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{Br}^-$   
**18.143.**  $\text{S} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}$   
**18.144.**  $\text{NH}_3 + \text{BrO}^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{Br}^-$   
**18.145.**  $\text{ClO}_3^- + \text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$   
**18.146.**  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_3^-$   
**18.147.**  $\text{SO}_4^{2-} + \text{HPO}_3^{2-} \rightarrow \text{SO}_3^{2-} + \text{HPO}_4^{2-}$   
**18.148.**  $\text{JO}_3^- + \text{SO}_3^{2-} \rightarrow \text{J}_2 + \text{SO}_4^{2-}$

- 18.149.**  $\text{SO}_3^{2-} + \text{HPO}_3^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-} + \text{HPO}_4^{2-}$   
**18.150.**  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$   
**18.151.**  $\text{ClO}_3^- + \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$   
**18.152.**  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{ClO}_3^- \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{Cl}^-$   
**18.153.**  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{ClO}^- \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{Cl}^-$   
**18.154.**  $\text{CrO}_2^- + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{CrO}_4^{2-} + \text{MnO}_2$   
**18.155.**  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{JO}_3^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{J}^-$   
**18.156.**  $\text{CNS}^- + \text{J}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{J}^- + \text{CN}^-$   
**18.157.**  $\text{CNS}^- + \text{JO}_3^- \rightarrow \text{CN}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{J}^-$   
**18.158.**  $\text{Mn}^{2+} + \text{Pb}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{MnO}_4^- + \text{Pb}^{2+}$   
**18.159.**  $\text{FeS}_2 + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}$   
**18.160.**  $\text{FeCuS}_2 + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}$   
**18.161.**  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_2$   
**18.162.**  $\text{As}_2\text{S}_5 + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_2$   
**18.163.**  $\text{S}^{2-} + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Mn}^{2+}$   
**18.164.**  $\text{J}_2 + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{JO}_3^- + \text{NO}$   
**18.165.**  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{O}_2$   
**18.166.**  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{H}_2\text{O}$   
**18.167.**  $\text{Au}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Au} + \text{O}_2$   
**18.168.**  $\text{Ce}^{4+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Ce}^{3+} + \text{O}_2$   
**18.169.**  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{ClO}_3^- \rightarrow \text{As}^{3+} + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$   
**18.170.**  $\text{CuS} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_2$   
**18.171.**  $\text{CrO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{CrO}_5^-$   
**18.172.**  $\text{CrO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{CrO}_8^{3-}$   
**18.173.**  $\text{CrO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{CrO}_{10}^{7-}$   
**18.174.**  $\text{CNS}^- + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}$   
**18.175.**  $\text{CS}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{NO}_2^- \rightarrow \text{CNS}^- + \text{N}_2$   
**18.176.**  $\text{Mn}^{2+} + \text{Pb}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{MnO}_4^- + \text{Pb}^{2+}$   
**18.177.**  $\text{Cu}_2\text{S} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}$   
**18.178.**  $\text{PtCl}_6^{2-} + \text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} + \text{Pt} + \text{Cl}^-$   
**18.179.**  $\text{FeAsA} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{AsO}_4^{3-} + \text{NO}_2$   
**18.180.**  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{MnO}_2$   
**18.181.**  $\text{S}_6\text{O}_6^{2-} + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{MnO}_2$   
**18.182.**  $\text{S}_6\text{O}_6^{2-} + \text{MnO}_4^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Mn}^{2+}$

## ОТВЕТЫ

### 2. Вычисление pH растворов сильных кислот и оснований

**2.1.** 1,57. **2.2.** 2,57. **2.3.** 2,13. **2.4.** 1,8. **2.5.** 2,28. **2.6.** 2,91. **2.7.** 2,21.  
**2.8.** 2,01. **2.9.** 1,70. **2.10.** 1,71. **2.11.** 2,81. **2.12.** 12,57. **2.13.** 12,22. **2.14.** 11,94.  
**2.15.** 12,43. **2.16.** 12,16. **2.17.** 11,70. **2.18.** 11,82. **2.19.** 12,80. **2.20.** 12,36.  
**2.21.** 11,76. **2.22.** 12,84. **2.23.** 12,17. **2.24.** 13,00. **2.25.** 11,92. **2.26.** 8,75.  
**2.27.** 10,08. **2.28.** 8,73. **2.29.** 8,53. **2.30.** 8,01. **2.31.** 2,67. **2.32.** 2,53.  
**2.33.** 2,38. **2.34.** 3,34. **2.35.** 3,04. **2.36.** 2,81. **2.37.** 5,30. **2.38.** 12,02.  
**2.39.** 0,505. **2.40.** 0,335. **2.41.** 0,87. **2.42.**  $8,9 \cdot 10^{-3}$ . **2.43.**  $8,1 \cdot 10^{-3}$ .

### 3. Равновесие в растворах слабых кислот и оснований

**3.1.** 1,85. **3.2.** 1,92. **3.3.** 3,76. **3.4.** 2,84. **3.5.** 10,02. **3.6.** 4,92. **3.7.** 11,09.  
**3.8.** 4,88. **3.9.** 5,07. **3.10.** 2,91. **3.11.**  $1,19 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.12.**  $3,04 \times 10^{-3}$  моль/л. **3.13.**  $1,45 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **3.14.**  $3,29 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **3.15.**  $5,53 \times 10^{-4}$  моль/л. **3.16.** 10,72. **3.17.** 10,73. **3.18.** 10,06. **3.19.** 9,82. **3.20.**  $3,3 \cdot 10^{-10}$ ;  
 $3,03 \cdot 10^{-5}$ . **3.21.**  $6,03 \cdot 10^{-3}$ ;  $1,66 \cdot 10^{-12}$ . **3.22.**  $3,63 \cdot 10^{-6}$ ;  $2,75 \cdot 10^{-9}$ . **3.23.**  $7,24 \times 10^{-10}$ ;  
 $1,38 \cdot 10^{-5}$ . **3.24.**  $1,12 \cdot 10^{-11}$ ;  $8,91 \cdot 10^{-4}$ . **3.25.**  $8,91 \cdot 10^{-13}$ ;  $1,12 \cdot 10^{-2}$ .  
**3.26.**  $9,77 \cdot 10^{-9}$ ;  $1,02 \cdot 10^{-6}$ . **3.27.**  $5,01 \cdot 10^{-1}$ ;  $2 \cdot 10^{-14}$ . **3.28.**  $1,78 \cdot 10^{-12}$ ;  
 $5,62 \cdot 10^{-3}$ . **3.29.**  $1,32 \cdot 10^{-10}$ ;  $7,59 \cdot 10^{-5}$ . **3.30.**  $1,81 \cdot 10^{-5}$ . **3.31.**  $2,6 \cdot 10^{-5}$ .  
**3.32.**  $1,77 \cdot 10^{-4}$ . **3.33.**  $1,38 \cdot 10^{-3}$ . **3.34.**  $5,6 \cdot 10^{-2}$ . **3.35.**  $1,8 \cdot 10^{-5}$ . **3.36.**  $1,2 \times 10^{-4}$ .  
**3.37.**  $6,7 \cdot 10^{-4}$ . **3.38.**  $9,33 \cdot 10^{-9}$ . **3.39.**  $1,2 \cdot 10^{-6}$ . **3.40.**  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .  
**3.41.**  $1,8 \cdot 10^{-5}$ . **3.42.**  $1,77 \cdot 10^{-4}$ . **3.43.**  $7,9 \cdot 10^{-10}$ . **3.44.**  $1,8 \cdot 10^{-5}$ . **3.45.**  $2,6 \times 10^{-5}$ .  
**3.46.**  $1,8 \cdot 10^{-5}$ . **3.47.**  $1,77 \cdot 10^{-4}$ . **3.48.**  $2,6 \cdot 10^{-5}$ . **3.49.**  $4 \cdot 10^{-4}$ . **3.50.**  $6,7 \times 10^{-4}$ .  
**3.51.**  $7,5 \cdot 10^{-10}$ . **3.52.**  $5,01 \cdot 10^{-8}$ . **3.53.**  $1,8 \cdot 10^{-5}$ . **3.54.**  $3,6 \cdot 10^{-5}$  моль/л.  
**3.55.**  $2,1 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **3.56.**  $3,6 \cdot 10^{-5}$  моль/л. **3.57.**  $3,8 \cdot 10^{-1}$  моль/л.  
**3.58.**  $3,6 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **3.59.**  $2,8 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **3.60.**  $5,9 \cdot 10^{-4}$  моль/л.  
**3.61.** 82%. **3.62.** 89%. **3.63.** 30,2%. **3.64.** 8,95%. **3.65.** 0,015%. **3.66.** 3,28%.  
**3.67.** 3,35%. **3.68.**  $9 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.69.**  $3,8 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.70.**  $9 \cdot 10^{-3}$  моль/л.  
**3.71.**  $7,6 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.72.**  $1,62 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **3.73.**  $1,11 \cdot 10^{-6}$  моль/л.  
**3.74.**  $1 \cdot 10^{-6}$  моль/л. **3.75.**  $4 \cdot 10^{-8}$  моль/л. **3.76.**  $7,5 \cdot 10^{-6}$ . **3.77.**  $4 \times 10^{-6}$ .  
**3.78.**  $1,25 \cdot 10^{-7}$ . **3.79.**  $5,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **3.80.**  $3,7 \cdot 10^{-3}$  моль/л.  
**3.81.**  $5,4 \cdot 10^{-6}$  моль/л. **3.82.**  $7,73 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **3.83.**  $1,97 \cdot 10^{-3}$  моль/л.  
**3.84.**  $1,16 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.85.**  $2,08 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.86.**  $1,97 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

**3.87.**  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **3.88.**  $1 \cdot 10^{-15}$  моль/л. **3.89.** 4,24 моль/л. **3.90.**  $[\text{HS}^-] = 1 \cdot 10^{-4}$ ;  $[\text{S}^{2-}] = 1 \cdot 10^{-15}$ . **3.91.**  $[\text{H}^+] = 8,6 \cdot 10^{-3}$ ; pH = 2,07. **3.92.**  $3,16 \times 10^{-2}$  моль/л. **3.93.**  $5,4 \cdot 10^{-5}$  моль/л. **3.94.** 0,75. **3.95.**  $9,43 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **3.96.** 1,31. **3.97.**  $2,13 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.98.**  $6,31 \cdot 10^{-8}$  моль/л. **3.99.** 1,49. **3.100.** 0,04886 моль/л. **3.101.**  $[\text{HSO}_3^-] = 1,6 \cdot 10^{-1}$ ; pH = 0,79. **3.102.**  $[\text{H}^+] = 9,19 \cdot 10^{-5}$ ; pH = 4,04. **3.103.** 1,86. **3.104.**  $5 \cdot 10^{-8}$ . **3.105.** 1,77. **3.106.**  $[\text{HSeO}_3^-] = 4,4 \cdot 10^{-3}$ ;  $[\text{SeO}_3^{2-}] = 5 \cdot 10^{-8}$ . **3.107.** 0,01173; pH = 1,93. **3.108.**  $6,31 \times 10^{-8}$  моль/л. **3.109.**  $5,61 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **3.110.**  $6,63 \cdot 10^{-19}$  моль/л. **3.111.**  $4,08 \times 10^{-16}$  моль/л. **3.112.**  $3,16 \cdot 10^{-7}$  моль/л. **3.113.**  $3,16 \cdot 10^{-7}$  моль/л. **3.114.**  $2,44 \times 10^{-3}$  моль/л. **3.115.**  $3,21 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.116.**  $4,41 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.117.**  $4,52 \times 10^{-3}$  моль/л. **3.118.**  $5,85 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **3.119.** 0,96. **3.120.**  $2 \cdot 10^{-7}$  моль/л. **3.121.**  $4,01 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **3.122.**  $2,14 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **3.123.** 2,13 моль/л. **3.124.**  $2,67 \cdot 10^{-5}$ . **3.125.**  $3,93 \cdot 10^{-5}$ . **3.126.**  $7,10 \cdot 10^{-2}$ .

#### 4. Гидролиз солей

**4.1.**  $2,15 \cdot 10^{-2}\%$ . **4.2.**  $3,05 \cdot 10^{-3}\%$ ; pH = 8,77. **4.3.**  $6,78 \cdot 10^{-3}\%$ ; pH = 8,91. **4.4.**  $5,51 \cdot 10^{-3}\%$ ;  $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,183$ . **4.5.**  $2,33 \cdot 10^{-2}\%$ ; pH = 8,38. **4.6.**  $6,2 \cdot 10^{-3}\%$ ; pH = 7,96. **4.7.** 2,9%;  $[\text{CN}^-] = 1,46 \cdot 10^{-2}$ . **4.8.** 0,92%;  $[\text{OH}^-] = 1,38 \cdot 10^{-3}$ ; pH = 11,14. **4.9.** 2,03%;  $[\text{CN}^-] = 2,94 \times 10^{-2}$ . **4.10.**  $1,66 \cdot 10^{-2}\%$ ;  $[\text{H}^+] = 3,32 \cdot 10^{-6}$ ; pH = 5,48. **4.11.**  $1,23 \cdot 10^{-3}\%$ ; pH = 8,09. **4.12.**  $1,73 \cdot 10^{-3}\%$ ;  $[\text{F}^-] = 5 \cdot 10^{-2}$ . **4.13.**  $1,05 \cdot 10^{-2}\%$ ;  $[\text{NH}_4^+] = 5,1 \cdot 10^{-2}$ ; pH = 5,28. **4.14.** 0,55%. **4.15.** 0,55%;  $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{NH}_4^+] = 0,188$ . **4.16.**  $4,08 \cdot 10^{-2}\%$ ; pH = 4,69. **4.17.** 5,13%; pH = 3,29. **4.18.**  $9,2 \times 10^{-2}\%$ ;  $[\text{F}^-] = 2,29 \cdot 10^{-2}$ . **4.19.** 4,62%;  $[\text{HCO}_3^-] = 4,62 \cdot 10^{-3}$ ;  $[\text{CO}_3^{2-}] = 9,54 \times 10^{-2}$ ; pH = 11,65. **4.20.** pH = 13;  $[\text{HS}^-] = 9,9 \cdot 10^{-2}$ ;  $[\text{S}^{2-}] = 1 \cdot 10^{-3}$ . **4.21.** 0,14%;  $[\text{SeO}_3^{2-}] = 0,0999$ . **4.22.**  $5,63 \cdot 10^{-2}$ ; pH = 10,45. **4.23.**  $9,63 \times 10^{-3}\%$ ; pH = 8,28. **4.24.**  $[\text{HCO}_3^-] = [\text{NH}_4\text{OH}] = [\text{NH}_4^+] = 0,077$ ;  $[\text{CO}_3^{2-}] = 2,25 \cdot 10^{-2}$ ; h = 77,5%; pH = 9,25. **4.25.**  $[\text{HS}^-] = [\text{NH}_4\text{OH}] = [\text{NH}_4^+] = 0,05$ ;  $[\text{OH}^-] = 1,79 \cdot 10^{-5}$ ;  $[\text{H}^+] = 5,6 \cdot 10^{-10}$ ;  $[\text{S}^{2-}] = 1,8 \cdot 10^{-7}$ . **4.26.** pH = 8,95;  $[\text{PO}_4^{3-}] = 1,12 \cdot 10^{-4}$ . **4.27.** pH = 8,95;  $[\text{AsO}_4^{3-}] = 3,45 \cdot 10^{-4}$ .

#### 5. Растворы кислых солей

**5.1.** 8,34. **5.2.** 8,34. **5.3.** 8,34. **5.4.** 4,66. **5.5.** 9,55. **5.6.** 9,55. **5.7.** 4,66. **5.8.** 4,66. **5.9.** 4,5. **5.10.** 4,5. **5.11.** 4,88. **5.12.** 4,88. **5.13.** 11. **5.14.** 11.

## 6. Влияние одноименного иона на степень диссоциации слабых кислот и оснований

**6.1.** 2,3%. **6.2.** 0,072%. **6.3.** 0,064%. **6.4.** 80%. **6.5.** 81,25%. **6.6.** 0,2%.  
**6.7.** 0,13%. **6.8.** 0,03%. **6.9.** 0,014%. **6.10.** 0,0096%. **6.11.** 0,02%.  
**6.12.** 0,1%. **6.13.** 0,07%. **6.14.** 0,02%. **6.15.** 0,01%. **6.16.** 0,17%.  
**6.17.** 0,004%. **6.18.** 0,1%. **6.19.** 0,0075%. **6.20.** 0,17%. **6.21.** 3,3%;  
 $[H^+] = 2,2 \cdot 10^{-3}$ . **6.22.** 3,6%;  $[H^+] = 6,65 \cdot 10^{-4}$ . **6.23.** 0,1%;  $[H^+] = 4,3 \times$   
 $\times 10^{-5}$ . **6.24.** 0,0007%;  $[H^+] = 1,56 \cdot 10^{-7}$ . **6.25.** 0,0013%;  $[H^+] = 4,54 \cdot 10^{-6}$ .  
**6.26.** 5,5%;  $[H^+] = 1,1 \cdot 10^{-3}$ . **6.27.** 77%;  $[H^+] = 3 \cdot 10^{-3}$ . **6.28.** 0,76%;  
 $[H^+] = 1,3 \cdot 10^{-5}$ . **6.29.** 0,022%;  $[H^+] = 8,7 \cdot 10^{-5}$ . **6.30.** 0,024%;  $[H^+] =$   
 $= 4,7 \cdot 10^{-5}$ . **6.31.** 0,02%;  $[H^+] = 2,4 \cdot 10^{-6}$ . **6.32.** 1,7%;  $[H^+] = 1,1 \cdot 10^{-4}$ .  
**6.33.** 0,21%;  $[H^+] = 2,6 \cdot 10^{-5}$ . **6.34.** 5,8%;  $[H^+] = 7 \cdot 10^{-4}$ . **6.35.** 0,42%;  
 $[H^+] = 2,6 \cdot 10^{-11}$ . **6.36.** 3,3%;  $[H^+] = 2,9 \cdot 10^{-3}$ . **6.37.** 0,95%;  $[H^+] = 3,7 \cdot 10^{-4}$ .  
**6.38.** 0,5%;  $[H^+] = 6 \cdot 10^{-4}$ . **6.39.** 0,0056%;  $[A^-] = 2,81 \cdot 10^{-5}$ . **6.40.** 0,018%;  
 $[A^-] = 3,6 \cdot 10^{-5}$ . **6.41.** 0,55%;  $[A^-] = 2,76 \cdot 10^{-3}$ . **6.42.** 0,035%;  $[A^-] = 1,06 \times$   
 $\times 10^{-4}$ . **6.43.** 0,009%;  $[A^-] = 1,44 \cdot 10^{-5}$ . **6.44.** 0,003%;  $[A^-] = 2,2 \cdot 10^{-6}$ .  
**6.45.** 0,041%;  $[A^-] = 4,7 \cdot 10^{-5}$ . **6.46.** 0,071%;  $[A^-] = 1,4 \cdot 10^{-4}$ . **6.47.** 0,008%;  
 $[A^-] = 8,1 \cdot 10^{-5}$ . **6.48.** 0,0095%;  $[A^-] = 3,8 \cdot 10^{-5}$ . **6.49.**  $7,9 \cdot 10^{-7}$ %;  $[A^-] =$   
 $= 7,9 \cdot 10^{-10}$ . **6.50.** 0,037%;  $[A^-] = 1,87 \cdot 10^{-5}$ . **6.51.** 0,024%;  $[A^-] = 2,78 \times$   
 $\times 10^{-5}$ . **6.52.** 0,18%;  $[NH_4^+] = 3,6 \cdot 10^{-4}$ . **6.53.** 0,018%;  $[NH_4^+] = 1,58 \cdot 10^{-4}$ .  
**6.54.** 0,0086%;  $[NH_4^+] = 2,54 \cdot 10^{-5}$ . **6.55.** 0,005%;  $[NH_4^+] = 2,96 \cdot 10^{-6}$ .  
**6.56.** 0,0055%;  $[NH_4^+] = 3,6 \cdot 10^{-6}$ .

## 7. Буферные растворы

**7.1.** 8,56. **7.2.** 7,08. **7.3.** 6,98. **7.4.** 6,98. **7.5.** 8,72. **7.6.** 8,92. **7.7.** 4,52.  
**7.8.** 4,49. **7.9.** 6,08. **7.10.** 5,06. **7.11.** 4,35. **7.12.** 5,47. **7.13.** 2,46. **7.14.** 4,25.  
**7.15.** 7,63. **7.16.** 7,41. **7.17.** 2,42. **7.18.** 6,72. **7.19.** 7,42. **7.20.** 5,45. **7.21.** 11,65.  
**7.22.** 9,55. **7.23.** 11,90. **7.24.** 4,42. **7.25.** 4,41. **7.26.** 3,49. **7.27.** 3,58. **7.28.** 1,49.  
**7.29.** 5,52. **7.30.** 9,75. **7.31.** 9,98. **7.32.** 9,48. **7.33.** 9,26. **7.34.** 3,05 мл.  
**7.35.** 5,3 мл. **7.36.** 10,95 мл. **7.37.** 5,0 мл. **7.38.** 2,28 мл. **7.39.** 80,69 мл.  
**7.40.** 31,0 мл. **7.41.** 4,7 мл. **7.42.** 27,8 мл. **7.43.** 21,17 мл. **7.44.** 3,47 г.  
**7.45.** 6,45 г. **7.46.** 2,31 г. **7.47.** 21,15 мл. **7.48.** 15,46 г. **7.49.** 34,0 мл.  
**7.50.** 64,28 мл. **7.51.** 7,05 мл. **7.52.** 0,99 г. **7.53.** 11,7 г. **7.54.** 1,02 г.  
**7.55.** 37,5 мл. **7.56.** 2,05 г. **7.57.** 1,98 г. **7.58.** 1,15 мл. **7.59.** 36,68 мл.  
**7.60.** 12,90 мл. **7.61.** 0,62 г. **7.62.** 64,33 мл. **7.63.** 1,49 г. **7.64.** 0,33 г.  
**7.65.** 29,02 мл. **7.66.** 25 мл. **7.67.** 2,7 мл. **7.68.** 11,2 мл. **7.69.** 0,487 г.  
**7.70.** 0,34 г. **7.71.** 0,62 г. **7.72.** 40,16 мл. **7.73.** 16,62 мл.



## 8. Равновесия в растворах комплексных соединений

**8.1.**  $2,2 \cdot 10^{-27}$  моль/л. **8.2.**  $2,1 \cdot 10^{-15}$  моль/л. **8.3.**  $2,39 \cdot 10^{-12}$  моль/л.  
**8.4.**  $4 \cdot 10^{-15}$  моль/л. **8.5.**  $2,4 \cdot 10^{-9}$  моль/л. **8.6.**  $4,44 \cdot 10^{-27}$  моль/л. **8.7.**  $2,14 \times 10^{-10}$  моль/л. **8.8.**  $2,23 \cdot 10^{-13}$  моль/л. **8.9.**  $2,56 \cdot 10^{-9}$  моль/л. **8.10.**  $1,12 \times 10^{-7}$  моль/л. **8.11.** 136,1 г. **8.12.** 0,22 моль/л. **8.13.**  $2 \cdot 10^{-10}$  моль/л.  
**8.14.** 4,942 г. **8.15.** 0,1002 моль/л. **8.16.**  $1,19 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **8.17.**  $2,92 \times 10^{-8}$  моль/л. **8.18.**  $1,54 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **8.19.**  $K_2[HgI_4]$ . **8.20.**  $1,60 \times 10^{-6}$  моль/л,  $0,8 \cdot 10^{-3}\%$ . **8.21.**  $2,08 \cdot 10^{-5}\%$ . **8.22.**  $1,15 \cdot 10^{-3}$  моль/л.  
**8.23.**  $7,40 \cdot 10^{-4}$  моль. **8.24.**  $4,0 \cdot 10^{-3}$  моль. **8.25.**  $3,0 \cdot 10^{-23}$  моль/л.  
**8.26.**  $1,12 \cdot 10^{-8}$  моль/л. **8.27.**  $3,12 \cdot 10^{-30}$  моль/л. **8.28.** 1,006 моль.  
**8.29.**  $1,27 \cdot 10^{-6}$  моль/л. **8.30.** 0,4 моль.

## 9. Вычисление растворимости осадков по величине произведения растворимости

**9.1.**  $1,3 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **9.2.**  $1,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **9.3.**  $2,02 \cdot 10^{-2}$  моль/л.  
**9.4.**  $2,04 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **9.5.**  $1,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **9.6.**  $8,9 \cdot 10^{-4}$  моль/л.  
**9.7.**  $2 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **9.8.**  $5,5 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **9.9.**  $1,4 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **9.10.**  $2,2 \times 10^{-3}$  моль/л. **9.11.**  $2,5 \cdot 10^{-7}$  моль/л. **9.12.** 0,0557 г. **9.13.**  $1,2 \cdot 10^{-3}$  г.  
**9.14.** 0,2334 г. **9.15.** 4,86 г. **9.16.** 1,062 г. **9.17.** 86,5 г. **9.18.** 0,3687 г.  
**9.19.** 1,11 г. **9.20.** 1,9 г. **9.21.** 1,7 г. **9.22.** 0,102 г. **9.23.** 4,41 г. **9.24.** 0,618 г.  
**9.25.** 0,083 г. **9.26.** 0,3124 г;  $8,77 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **9.27.** 0,00436 г;  $1 \times 10^{-4}$  моль/л. **9.28.** 0,00047 г;  $1,18 \cdot 10^{-5}$  моль/л. **9.29.** 0,00816 г;  $2,04 \times 10^{-4}$  моль/л. **9.30.** 0,00795 г;  $1,47 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **9.31.** 0,00183 г;  $1,7 \times 10^{-5}$  моль/л. **9.32.** 0,00437 г;  $4,07 \cdot 10^{-6}$  моль/л. **9.33.** 0,000421 г;  $1,73 \times 10^{-5}$  моль/л. **9.34.** 0,00233 г;  $1,2 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **9.35.** 0,0018 г;  $8,75 \times 10^{-7}$  моль/л. **9.36.** 0,00393 г;  $1,9 \cdot 10^{-5}$  моль/л. **9.37.** 0,000288 г;  $2,1 \times 10^{-6}$  моль/л. **9.38.** 0,05123 г.

## 10. Вычисление ПР по данным растворимости осадков

**10.1.**  $1,11 \cdot 10^{-10}$ . **10.2.**  $4 \cdot 10^{-13}$ . **10.3.**  $4,9 \cdot 10^{-13}$ . **10.4.**  $1,5 \cdot 10^{-16}$ .  
**10.5.**  $2,31 \cdot 10^{-8}$ . **10.6.**  $2,97 \cdot 10^{-5}$ . **10.7.**  $1 \cdot 10^{-10}$ . **10.8.**  $2,8 \cdot 10^{-7}$ . **10.9.**  $4,25 \times 10^{-11}$ . **10.10.**  $6,1 \cdot 10^{-5}$ . **10.11.**  $1,6 \cdot 10^{-8}$ . **10.12.**  $2,8 \cdot 10^{-9}$ . **10.13.**  $2,8 \cdot 10^{-8}$ .  
**10.14.**  $2,2 \cdot 10^{-4}$ . **10.15.**  $2,2 \cdot 10^{-6}$ . **10.16.**  $2,1 \cdot 10^{-6}$ . **10.17.**  $8,5 \cdot 10^{-6}$ . **10.18.**  $1,7 \times 10^{-6}$ . **10.19.**  $3,2 \cdot 10^{-8}$ . **10.20.**  $7,1 \cdot 10^{-9}$ . **10.21.**  $2,4 \cdot 10^{-4}$ . **10.22.**  $7,4 \cdot 10^{-5}$ .

**10.23.**  $8,1 \cdot 10^{-9}$ . **10.24.**  $3,4 \cdot 10^{-11}$ . **10.25.**  $8 \cdot 10^{-12}$ . **10.26.**  $6,5 \cdot 10^{-7}$ . **10.27.**  $5,6 \times 10^{-7}$ . **10.28.**  $1,4 \cdot 10^{-5}$ . **10.29.**  $1,9 \cdot 10^{-12}$ . **10.30.**  $1,5 \cdot 10^{-41}$ . **10.31.**  $9,86 \times 10^{-26}$ . **10.32.**  $6 \cdot 10^{-10}$ .

## 11. Сравнение растворимости осадков

**11.1.** 1 : 52,92; 1 : 41,65. **11.2.** 1 : 16,66; 1 : 12,72. **11.3.** 1 : 862; 1 : 526. **11.4.** 1 : 6,97; 1 : 16,14. **11.5.** 1 : 3,3; 1 : 5,1. **11.6.** 1 : 10,76; 1 : 4,54. **11.7.** 1 : 15,8; 1 : 12,8. **11.8.** 1 : 2,7; 1 : 1,5. **11.9.** 1 : 12,17; 1 : 23,8. **11.10.** 1 : 1,3; 1 : 2,5. **11.11.** 1 : 5; 1 : 3. **11.12.** 1 : 15; 1 : 23. **11.13.** 1 : 1,075; 1 : 3,35.

## 12. Влияние одноименного иона на растворимость осадков

**12.1.**  $1 \cdot 10^{-6}$ . **12.2.**  $3,7 \cdot 10^{-8}$ . **12.3.**  $1,265 \cdot 10^{-6}$ . **12.4.**  $1,29 \cdot 10^{-4}$ . **12.5.**  $2,04 \times 10^{-8}$ . **12.6.**  $1,266 \cdot 10^{-5}$ . **12.7.**  $8 \cdot 10^{-4}$ . **12.8.**  $5,57 \cdot 10^{-5}$ . **12.9.**  $6,13 \cdot 10^{-5}$ . **12.10.**  $2,89 \cdot 10^{-6}$ . **12.11.**  $4,46 \cdot 10^{-4}$ . **12.12.**  $5,75 \cdot 10^{-14}$ . **12.13.**  $1,6 \cdot 10^{-9}$ . **12.14.**  $5,2 \cdot 10^{-10}$ . **12.15.**  $2,13 \cdot 10^{-10}$ . **12.16.**  $1,06 \cdot 10^{-7}$ . **12.17.**  $6,39 \cdot 10^{-10}$ . **12.18.**  $4,86 \cdot 10^{-6}$ . **12.19.**  $7,94 \cdot 10^{-10}$ . **12.20.**  $6,2 \cdot 10^{-10}$ . **12.21.**  $7,84 \cdot 10^{-5}$ . **12.22.**  $7,18 \cdot 10^{-7}$ . **12.23.**  $1,85 \cdot 10^{-10}$ . **12.24.**  $2,28 \cdot 10^{-9}$ . **12.25.**  $5,92 \cdot 10^{-7}$ . **12.26.**  $1,635 \cdot 10^{-6}$ .

## 13. Условия образования осадков

**13.1.** ИП  $9,3 \cdot 10^{-11}$ ; осадок не образуется. **13.2.** ИП  $5,84 \cdot 10^{-11}$ ; осадок образуется. **13.3.** ИП  $9,98 \cdot 10^{-13}$ ; осадок образуется. **13.4.** ИП  $9,7 \cdot 10^{-17}$ ; осадок не образуется. **13.5.** 8,3. **13.6.** 0,926 г-ион/л. **13.7.**  $1 \times 10^{-2}$  г-ион/л. **13.8.** ИП  $7,81 \cdot 10^{-4}$ ; осадок выпадет. **13.9.** ИП  $6,75 \cdot 10^{-14}$ ; осадок не выпадет. **13.10.** ИП  $1,54 \cdot 10^{-6}$ ; осадок выпадет. **13.11.** 9,54. **13.12.**  $3 \cdot 10^{-3}$  моль /л. **13.13.**  $3,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **13.14.** ИП  $7,8 \cdot 10^{-7}$ ; осадок выпадет. **13.15.** ИП  $9,30 \cdot 10^{-14}$ ; осадок выпадет. **13.16.** ИП  $1,54 \times 10^{-6}$ ; осадок выпадет. **13.17.** ИП  $1,2 \cdot 10^{-13}$ ; осадок выпадет. **13.18.** ИП  $1,01 \cdot 10^{-8}$ ; осадок образуется. **13.19.** >1,28 г. **13.20.** >6,2 г. **13.21.** ИП  $7,4 \times 10^{-17}$ ; осадок не образуется. **13.22.** >1,965 г. **13.23.** ИП  $4,05 \cdot 10^{-17}$ ; осадок образуется. **13.24.** ИП  $6,9 \cdot 10^{-19}$ ; осадок выпадет. **13.25.**  $6,5 \times 10^{-21}$  моль/л. **13.26.**  $3,9 \cdot 10^{-4}$  г. **13.27.** 0,077 г. **13.28.** 5,13 мл. **13.29.** 0,94 мл.

**13.30.**  $3,6 \cdot 10^{-5}$  моль/л. **13.31.**  $6 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **13.32.** ИП  $5,3 \cdot 10^{-5}$ ; осадок образуется. **13.33.** ИП  $9,85 \cdot 10^{-4}$ ; осадок выпадет. **13.34.** ИП  $3,4 \times 10^{-7}$ ; осадок выпадет. **13.35.** ИП  $1,87 \cdot 10^{-4}$ ; осадок выпадет. **13.36.** ИП  $3,3 \cdot 10^{-5}$ ; осадок выпадет. **13.37.** ИП  $1,8 \cdot 10^{-6}$ ; осадок выпадет. **13.38.** 9,39. **13.39.** 7,54. **13.40.** 2,09. **13.41.** 6,4. **13.42.** 3,8. **13.43.** 7,95. **13.44.** 5,95. **13.45.** ИП  $6,48 \cdot 10^{-16}$ ; осадок образуется. **13.46.**  $2,05 \times 10^{-6}$  моль/л. **13.47.**  $2,1 \cdot 10^{-7}$  моль/л. **13.48.**  $2,25 \cdot 10^{-13}$  моль/л. **13.49.**  $>2,17$  г. **13.50.**  $>0,13$  моль/л. **13.51.** ПР  $> 3,2 \cdot 10^{-15}$ .

#### 14. Влияние pH на растворимость осадков

**14.1.** ИП  $1,74 \cdot 10^{-8}$ ; осадок выпадет. **14.2.** ИП  $1,74 \cdot 10^{-11}$ ; осадок не выпадет. **14.3.** ИП  $4,35 \cdot 10^{-11}$ ; осадок выпадет. **14.4.** ИП  $4,3 \cdot 10^{-9}$ ; осадок не выпадет. **14.5.** ИП  $4,23 \cdot 10^{-9}$ ; осадок не выпадет. **14.6.** ИП  $4,58 \cdot 10^{-5}$ ; осадок выпадет. **14.7.**  $5,79 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **14.8.**  $3,77 \cdot 10^{-4}$  моль/л. **14.9.**  $7,73 \cdot 10^{-3}$  моль/л. **14.10.** ИП  $1,58 \cdot 10^{-7}$ ; осадок выпадет. **14.11.** ИП  $1,89 \cdot 10^{-7}$ ; осадок выпадет. **14.12.** уменьш. в 106 раз. **14.13.**  $3,51 \times 10^{-3}$  моль/л. **14.14.**  $8,65 \cdot 10^{-5}$  моль/л. **14.15.**  $1,03 \cdot 10^{-2}$  моль/л. **14.16.** ИП  $8 \cdot 10^{-21}$ ; осадок выпадет. **14.17.** ИП  $2,8 \cdot 10^{-20}$ ; осадок выпадет. **14.18.** ИП  $2 \cdot 10^{-26}$ ; осадок выпадет. **14.19.** ИП  $1 \cdot 10^{-19}$ ; осадок выпадет. **14.20.** ИП  $4,9 \cdot 10^{-26}$ ; осадок выпадет. **14.21.** ИП  $4,9 \cdot 10^{-14}$ ; осадок выпадет. **14.22.** ИП  $5 \cdot 10^{-21}$ ; осадок не выпадет. **14.23.** ИП  $4 \cdot 10^{-5}$ ; осадок выпадет. **14.24.** ИП  $1 \cdot 10^{-17}$ ; осадок выпадет. **14.25.** ИП  $4 \cdot 10^{-24}$ ; осадок не выпадет. **14.26.** ИП  $1,96 \cdot 10^{-25}$ ; осадок выпадет. **14.27.** ИП  $2,2 \cdot 10^{-21}$ ; осадок не выпадет. **14.28.** ИП  $2,2 \cdot 10^{-21}$ ; осадок выпадет. **14.29.** ИП  $8 \cdot 10^{-26}$ ; осадок не выпадет. **14.30.** ИП  $1,4 \cdot 10^{-21}$ ; осадок выпадет. **14.31.** ИП  $1,5 \cdot 10^{-16}$ ; осадок выпадет. **14.32.** ИП  $8,4 \cdot 10^{-21}$ ; осадок не выпадет. **14.33.** ИП  $5,5 \cdot 10^{-14}$ ; осадок выпадет. **14.34.** ИП  $3,1 \cdot 10^{-16}$ ; осадок выпадет. **14.35.** ИП  $1,1 \cdot 10^{-23}$ ; осадок не выпадет. **14.36.**  $<3,44$ . **14.37.**  $<2,74$ . **14.38.** При pH = 1,24 и выше. **14.39.** 2,8. **14.40.** При ПР  $> 1 \cdot 10^{-57}$ . **14.41.** 4,72. **14.42.** 0,45. **14.43.** 2,6.

#### 15. Осаждение малорастворимых солей в растворах комплексных соединений

**15.1.** ИП  $6,8 \cdot 10^{-12}$ ; осадок выпадет. **15.2.** ИП  $6,7 \cdot 10^{-16}$ ; осадок не выпадет. **15.3.** ИП  $3,3 \cdot 10^{-16}$ ; осадок не выпадет. **15.4.** ИП  $3,85 \cdot 10^{-18}$ ;

осадок выпадет. **15.5.** ИП  $2,4 \cdot 10^{-9}$ ; осадок не выпадет. **15.6.** ИП  $9,31 \times 10^{-11}$ ; осадок выпадет. **15.7.** ИП  $4 \cdot 10^{-21}$ ; осадок не выпадет. **15.8.**  $>7,87 \times 10^{-3}$ . **15.9.** 149 г. **15.10.** ИП  $7,2 \cdot 10^{-15}$ ; осадок не выпадет. **15.11.** ИП  $2,6 \times 10^{-8}$  г. **15.12.** ИП  $1,73 \cdot 10^{-8}$ ; осадок выпадет. **15.13.** ИП  $4,64 \cdot 10^{-24}$ ; осадок выпадет. **15.14.** ИП  $1,45 \cdot 10^{-16}$ ; осадок выпадет. **15.15.** ИП  $1,4 \cdot 10^{-66}$ ; осадок не выпадет. **15.16.** ИП  $2,14 \cdot 10^{-21}$ ; осадок выпадет. **15.17.** ИП  $5,1 \cdot 10^{-18}$ ; осадок выпадет. **15.18.** ИП  $1,41 \cdot 10^{-24}$ ; осадок выпадет. **15.19.**  $1 \cdot 10^{-11}$  г-ион/л. **15.20.** ИП  $1,48 \cdot 10^{-51}$ ; осадок выпадет. **15.21.** ИП  $1,6 \cdot 10^{-44}$ ; осадок выпадет. **15.22.** ИП  $\text{Cu}_2\text{S} = 2,8 \cdot 10^{-64}$ ; осадок не выпадет; ИП  $\text{CdS} = 1,58 \cdot 10^{-22}$ ; осадок выпадет. **15.23.** ИП  $\text{Cu}_2\text{S} = 3,2 \cdot 10^{-65}$ ; осадок не выпадет; ИП  $\text{CdS} = 1,15 \cdot 10^{-21}$ ; осадок выпадет.

### 16. Вычисление концентрации водородных ионов в насыщенных растворах малорастворимых солей

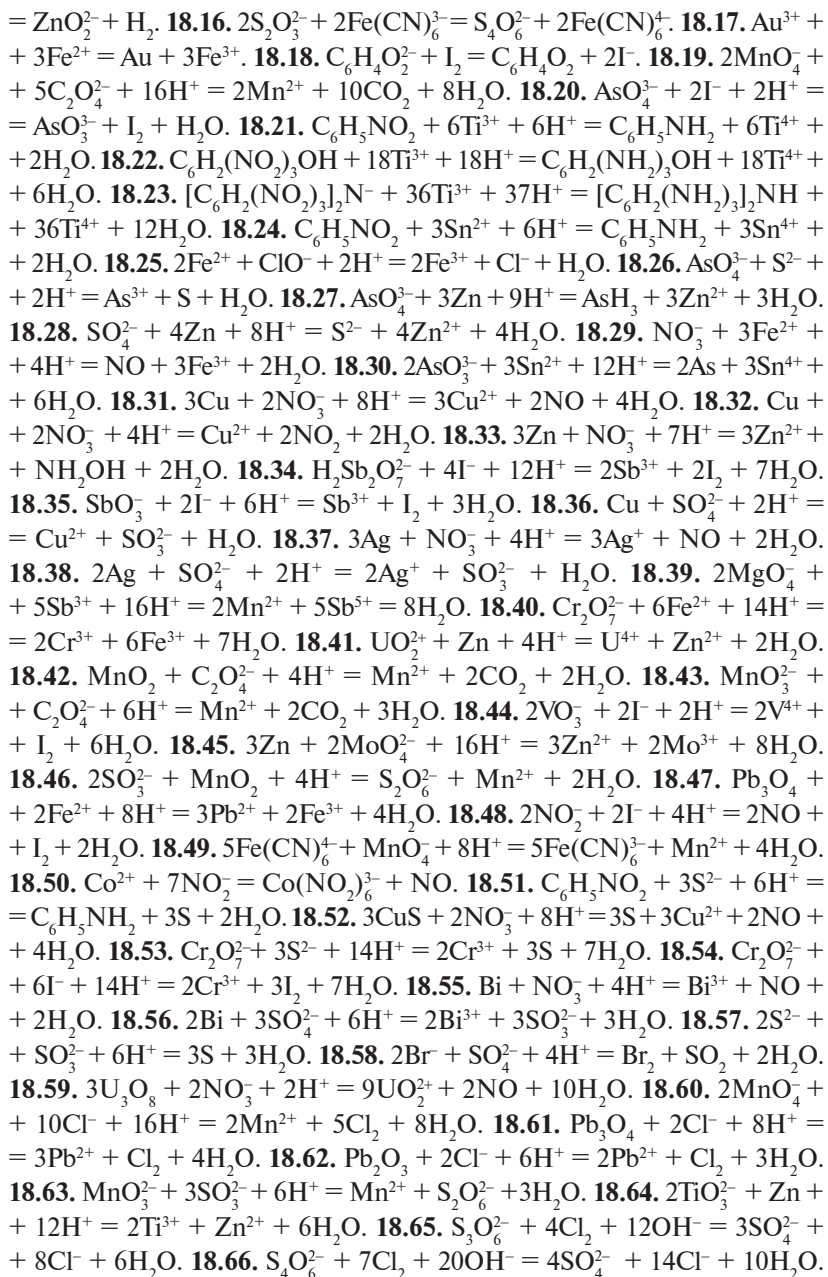
**16.1.**  $7,76 \cdot 10^{-9}$ . **16.2.**  $6,61 \cdot 10^{-10}$ . **16.3.**  $1,62 \cdot 10^{-8}$ . **16.4.**  $8,13 \cdot 10^{-9}$ . **16.5.**  $6,31 \cdot 10^{-8}$ . **16.6.**  $2,29 \cdot 10^{-8}$ . **16.7.**  $1,20 \cdot 10^{-10}$ . **16.8.**  $4,79 \cdot 10^{-8}$ . **16.9.**  $3,80 \cdot 10^{-10}$ . **16.10.**  $1,48 \cdot 10^{-10}$ .

### 17. Вычисление pH насыщенных растворов, находящихся в равновесии с осадком (с учетом гидролиза)

**17.1.** 9,83. **17.2.** 9,42. **17.3.** 7,32. **17.4.** 9,92. **17.5.** 7,64. **17.6.** 7,20. **17.7.** 8,09. **17.8.** 7,79. **17.9.** 9,18. **17.10.** 8,11.

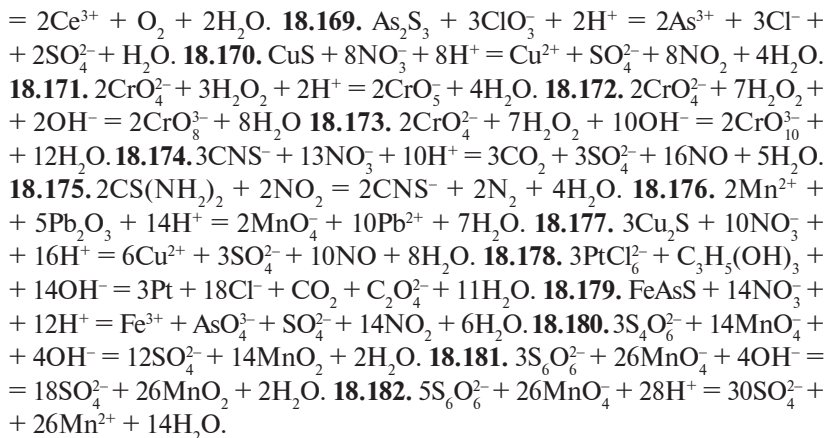
### 18. Окислительно-восстановительные процессы и электронно-ионные уравнения

**18.1.**  $2\text{Cu}^{2+} + 2\text{I}^- = 2\text{Cu}^+ + \text{I}_2$ . **18.2.**  $\text{AuCl}_4^- + 3\text{Fe}^{2+} = \text{Au} + 4\text{Cl}^- + 3\text{Fe}^{3+}$ . **18.3.**  $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Fe}^{3+} = \text{Sn}^{4+} + 2\text{Fe}^{2+}$ . **18.4.**  $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Hg}^{2+} = \text{Sn}^{4+} + 2\text{Hg}^+$ . **18.5.**  $\text{Sn}^{2+} + \text{Hg}^{2+} = \text{Sn}^{4+} + \text{Hg}$ . **18.6.**  $2\text{Sb}^{5+} + 5\text{Fe} = 2\text{Sb} + 5\text{Fe}^{2+}$ . **18.7.**  $\text{Sn}^{4+} + \text{Fe} = \text{Sn}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$ . **18.8.**  $\text{S}^{2-} + \text{I}_2 = \text{S} + 2\text{I}^-$ . **18.9.**  $2\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{I}_2 = 2\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + 2\text{I}^-$ . **18.10.**  $2\text{N}_3^- + \text{I}_2 = 3\text{N}_2 + 2\text{I}^-$ . **18.11.**  $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{I}^- = 2\text{Fe}^{2+} + \text{I}_2$ . **18.12.**  $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = 2\text{Fe}^{2+} + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ . **18.13.**  $2\text{Fe}^{2+} + \text{Br}_2 = 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{Br}^-$ . **18.14.**  $\text{Zn} + 2\text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2$ . **18.15.**  $\text{Zn} + 2\text{OH}^- =$



**18.67.**  $S_2O_6^{2-} + Br_2 + 4OH^- = 2SO_4^{2-} + 2Br^- + 2H_2O$ . **18.68.**  $S_5O_6^{2-} + 10Cl_2 + 28OH^- = 5SO_4^{2-} + 20Cl^- + 14H_2O$ . **18.69.**  $S_6O_6^{2-} + 13Cl_2 + 36OH^- = 6SO_4^{2-} + 26Cl^- + 18H_2O$ . **18.70.**  $AsO_3^{3-} + I_2 + 2OH^- = AsO_4^{3-} + 2I^- + H_2O$ . **18.71.**  $S_2O_3^{2-} + 4Cl_2 + 10OH^- = 2SO_4^{2-} + 8Cl^- + 5H_2O$ . **18.72.**  $3SO_3^{2-} + I_2 + 2OH^- = 3SO_4^{2-} + 2I^- + H_2O$ . **18.73.**  $PtCl_6^{2-} + 2HCOO^- + 2OH^- = Pt + 2CO_2 + 6Cl^- + 2H_2O$ . **18.74.**  $2Cu^{2+} + H_2PO_2^- + 6OH^- = 2Cu + PO_4^{3-} + 4H_2O$ . **18.75.**  $U^{4+} + Br_2 + 4OH^- = UO_2^{2+} + 2Br^- + 2H_2O$ . **18.76.**  $CH_2O + I_2 + 3OH^- = HCO_2^- + 2I^- + 2H_2O$ . **18.77.**  $2Cr^{3+} + 3Cl_2 + 16OH^- = 2CrO_4^{2-} + 6Cl^- + 8H_2O$ . **18.78.**  $2Ag^+ + SO_3^{2-} + 2OH^- = 2Ag + SO_4^{2-} + H_2O$ . **18.79.**  $2Ag^+ + CH_2O + 3OH^- = 2Ag + HCO_2^- + 2H_2O$ . **18.80.**  $2Bi^{3+} + 3SnO_2 + 6OH^- = 2Bi + 3SnO_3^{2-} + 3H_2O$ . **18.81.**  $HCO_2^- + 2Hg^{2+} + OH^- = 2Hg^+ + CO_2 + H_2O$ . **18.82.**  $C_9H_7NO + 2Br_2 + 2OH^- = C_9H_5NOBr_2 + 2Br^- + 2H_2O$ . **18.83.**  $C_6H_4(OH)_2 + I_2 + 2OH^- = C_6H_4O_2 + 2I^- + 2H_2O$ . **18.84.**  $HPO_3^{2-} + Br_2 + 3OH^- = PO_4^{2-} + 2Br^- + 2H_2O$ . **18.85.**  $H_2PO_2^- + 2Br_2 + 6OH^- = PO_4^{2-} + 4Br^- + 4H_2O$ . **18.86.**  $N_2H_4 + 2I_2 + 4OH^- = N_2 + 4I^- + 4H_2O$ . **18.87.**  $2NH_2OH + 4Cu^{2+} + 4OH^- = N_2O + 4Cu^+ + 5H_2O$ . **18.88.**  $AsO_3^{3-} + 2Ag^+ + 2OH^- = AsO_4^{3-} + 2Ag + H_2O$ . **18.89.**  $AsO_3^{3-} + 2Cu^{2+} + 2OH^- = AsO_4^{3-} + 2Cu^+ + H_2O$ . **18.90.**  $2NH_2OH + 2Hg^{2+} + 4OH^- = N_2O + 2Hg + 5H_2O$ . **18.91.**  $4Rh^{3+} + 3HCO_2^- + 3OH^- = 2Rh + 3CO_2 + 3H_2O$ . **18.92.**  $PtCl_6^{2-} + CH_2O + 4OH^- = Pt + CO_2 + 6Cl^- + 3H_2O$ . **18.93.**  $2Au^{3+} + AsH_3 + 9OH^- = AsO_3^{3-} + 2Au + 6H_2O$ . **18.94.**  $2AuCl_4^- + AsH_3 + 9OH^- = 2Au + 8Cl^- + AsO_3^{3-} + 6H_2O$ . **18.95.**  $2Au^{3+} + SbH_3 + 3OH^- = 2Au + Sb^{3+} + 3H_2O$ . **18.96.**  $2Au^{3+} + SbH_3 + 9OH^- = 2Au + SbO_3^{3-} + 6H_2O$ . **18.97.**  $2Au^{3+} + SbH_3 + 5OH^- = 2Au + SbO^+ + 4H_2O$ . **18.98.**  $2AuCl_4^- + SbH_3 + 3OH^- = 2Au + 8Cl^- + Sb^{3+} + 3H_2O$ . **18.99.**  $2AuCl_4^- + SbH_3 + 5OH^- = 2Au + SbO^+ + 4H_2O$ . **18.100.**  $8AuCl_4^- + 3SbH_3 + 27OH^- = 8Au + 3SbO_3^{3-} + 32Cl^- + 18H_2O$ . **18.101.**  $PtCl_6^{2-} + 2CO + 4OH^- = Pt + 2CO_2 + 6Cl^- + 2H_2O$ . **18.102.**  $3C_3H_7OH + 2CrO_4^{2-} + 10H^+ = 3C_2H_5CHO + 2Cr^{3+} + 8H_2O$ . **18.103.**  $2Mn^{2+} + 5BiO_3^- + 14H^+ = 2MnO_4^- + 5Bi^{3+} + 7H_2O$ . **18.104.**  $2MnO_4^- + 5H_2O_2 + 6H^+ = 2Mn^{2+} + 5O_2 + 8H_2O$ . **18.105.**  $4AsO_3^{3-} + 3H_2PO_2^- + 6H^+ = 4As + 3PO_4^{3-} + 6H_2O$ . **18.106.**  $5Co(NO_2)_6^{3-} + 11MnO_4^- + 28H^+ = 5Co^{2+} + 11Mn^{2+} + 30NO_3^- + 14H_2O$ . **18.107.**  $2IO_3^- + 5CO + 2H^+ = I_2 + 5CO_2 + H_2O$ . **18.108.**  $AsO_3^{3-} + SO_3^{2-} + 6H^+ = As^{3+} + SO_4^{2-} + 3H_2O$ . **18.109.**  $2AsO_3^{3-} + 2NO_3^- + 2H^+ = 2AsO_4^{3-} + N_2O_3 + H_2O$ . **18.110.**  $SeO_3^{3-} + 2SO_3^{2-} + 2H^+ = Se + 2SO_4^{2-} + H_2O$ . **18.111.**  $I^- + 2MnO_4^- + 2H^+ = IO_3^- + 2MnO_2 + H_2O$ . **18.112.**  $3C_6H_4(OH)_2 + 2CrO_4^{2-} + 10H^+ = 3C_6H_4O_2 + 2Cr^{3+} + 8H_2O$ . **18.113.**  $5CNS^- + 6MnO_4^- + 8H^+ = 5CN^- + 6Mn^{2+} + 5SO_4^{2-} + 4H_2O$ . **18.114.**  $5N_2H_4 + 4MnO_4^- + 12H^+ = 5N_2 + 4Mn^{2+} + 16H_2O$ .

**18.115.**  $5\text{NO}_2^- + 2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}^+ = 5\text{NO}_3^- + 2\text{Mn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$ . **18.116.**  $2\text{Cr}^{3+} + 3\text{BiO}_3^- + 6\text{H}^+ = \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{Bi} + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.117.**  $2\text{VO}_3^- + 2\text{NH}_2\text{OH} + 6\text{H}^+ = 2\text{VO}^{2+} + \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ . **18.118.**  $\text{SO}_3^{2-} + 2\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{S} + 2\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ . **18.119.**  $5\text{S}_3\text{O}_6^{2-} + 8\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ = 8\text{Mn}^{2+} + 15\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.120.**  $\text{UO}_2^{2+} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{H}^+ = \text{U}^{4+} + \text{CH}_3\text{CHO} + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.121.**  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ = 2\text{N}_2 + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ . **18.122.**  $2\text{MnO}_4^- + 5\text{U}^{4+} + 4\text{OH}^- = 2\text{Mn}^{2+} + 5\text{UO}_2^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.123.**  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 4\text{ClO}^- + 2\text{OH}^- = 2\text{SO}_4^{2-} + 4\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ . **18.124.**  $3\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 4\text{ClO}_3^- + 6\text{OH}^- = 6\text{SO}_4^{2-} + 4\text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ . **18.125.**  $2\text{MnO}_4^- + 3\text{Mn}^{2+} + 4\text{OH}^- = 5\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.126.**  $2\text{MnO}_4^- + 3\text{Mn}^{2+} + 14\text{OH}^- = 5\text{MnO}_3^{2-} + 7\text{H}_2\text{O}$ . **18.127.**  $\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{Cr}^{3+} + 4\text{OH}^- = 3\text{CrO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.128.**  $4\text{Zn} + \text{NO}_3^- + 7\text{OH}^- = \text{NH}_3 + 4\text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.129.**  $8\text{Al} + 3\text{NO}_3^- + 5\text{OH}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 8\text{AlO}_2^- + \text{NH}_3$ . **18.130.**  $3\text{Zn} + \text{NO}_3^- + 5\text{OH}^- = 3\text{ZnO}_2^{2-} + \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.131.**  $2\text{Al} + \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^- = 2\text{AlO}_2^- + \text{NH}_3$ . **18.132.**  $6\text{P} + 5\text{IO}_3^- + 18\text{OH}^- = 6\text{PO}_4^{3-} + 5\text{I}^- + 9\text{H}_2\text{O}$ . **18.133.**  $6\text{P} + 5\text{IO}_3^- + 12\text{OH}^- = 6\text{HPO}_4^{3-} + 5\text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ . **18.134.**  $10\text{P} + 6\text{IO}_3^- + 14\text{OH}^- = 10\text{HPO}_4^{3-} + 3\text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.135.**  $6\text{VO}^{2+} + \text{IO}_3^- + 18\text{OH}^- = 6\text{VO}_3^- + \text{I}^- + 9\text{H}_2\text{O}$ . **18.136.**  $\text{Pb}^{2+} + \text{NO}_3^- + 2\text{OH}^- = \text{PbO}_2 + \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$ . **18.137.**  $\text{S} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{OH}^- = 3\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ . **18.138.**  $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{PO}_2^- + 4\text{OH}^- = \text{CuH}_2 + \text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.139.**  $\text{Br}^- + 3\text{ClO}^- = \text{BrO}_3^- + 3\text{Cl}^-$ . **18.140.**  $\text{Co}(\text{NH}_2)_2 + 3\text{BrO}^- = \text{CO}_2 + \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{Br}^-$ . **18.141.**  $\text{CN}^- + \text{IO}^- = \text{CNO}^- + \text{I}^-$ . **18.142.**  $3\text{AsO}_3^{3-} + \text{BrO}^- = 3\text{AsO}_4^{3-} + \text{Br}^-$ . **18.143.**  $\text{S} + 2\text{NO}_3^- = \text{SO}_4^{2-} + 2\text{NO}$ . **18.144.**  $2\text{NH}_3 + 3\text{BrO}^- = \text{N}_2 + 3\text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ . **18.145.**  $\text{ClO}_3^- + 3\text{SO}_3^{2-} = \text{Cl}^- + 3\text{SO}_4^{2-}$ . **18.146.**  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{NO}_2^- = \text{N}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.147.**  $\text{SO}_4^{2-} + \text{HPO}_3^{2-} = \text{SO}_3^{2-} + \text{HPO}_4^{2-}$ . **18.148.**  $2\text{IO}_3^- + 5\text{SO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{I}_2 + 5\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ . **18.149.**  $\text{SO}_3^{2-} + 3\text{HPO}_3^{2-} = \text{S}^{2-} + 3\text{HPO}_4^{2-}$ . **18.150.**  $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.151.**  $\text{ClO}_3^- + 3\text{NO}_2 = 3\text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$ . **18.152.**  $3\text{AsO}_3^{3-} + \text{ClO}_3^- = 3\text{AsO}_4^{3-} + \text{Cl}^-$ . **18.153.**  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{ClO}^- = \text{AsO}_4^{3-} + \text{Cl}^-$ . **18.154.**  $\text{CrO}_2^- + \text{MnO}_4^- = \text{CrO}_4^{2-} + \text{MnO}_2$ . **18.155.**  $3\text{N}_2\text{H}_4 + 2\text{IO}_3^- = 3\text{N}_2 + 2\text{I}^- + 6\text{H}_2\text{O}$ . **18.156.**  $\text{CNS}^- + 3\text{I}_2 + 8\text{OH}^- = \text{CN}^- + \text{SO}_4^{2-} + 6\text{I}^- + 4\text{H}_2\text{O}$ . **18.157.**  $\text{CNS}^- + \text{IO}_3^- + 2\text{OH}^- = \text{CN}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{I}^- + \text{H}_2\text{O}$ . **18.158.**  $2\text{Mn}^{2+} + 5\text{Pb}_3\text{O}_4 + 24\text{H}^+ = 2\text{MnO}_4^- + 15\text{Pb}^{2+} + 12\text{H}_2\text{O}$ . **18.159.**  $\text{FeS}_2 + 5\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ = \text{Fe}^{3+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 5\text{NO}$ . **18.160.**  $3\text{FeCuS}_2 + 17\text{NO}_3^- + 20\text{H}^+ = 3\text{Fe}^{3+} + 3\text{Cu}^{2+} + 6\text{SO}_4^{2-} + 17\text{NO} + 10\text{H}_2\text{O}$ . **18.161.**  $\text{As}_2\text{S}_3 + 28\text{NO}_3^- + 16\text{H}^+ = 2\text{AsO}_4^{3-} + 3\text{SO}_4^{2-} + 28\text{NO}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$ . **18.162.**  $\text{As}_2\text{S}_5 + 40\text{NO}_3^- + 24\text{H}^+ = 2\text{AsO}_4^{3-} + 5\text{SO}_4^{2-} + 40\text{NO}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$ . **18.163.**  $5\text{S}^{2-} + 8\text{MnO}_4^- + 24\text{H}^+ = 5\text{SO}_4^{2-} + 8\text{Mn}^{2+} + 12\text{H}_2\text{O}$ . **18.164.**  $3\text{I}_2 + 10\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ = 6\text{IO}_3^- + 10\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.165.**  $2\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- = 2\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.166.**  $2\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$ . **18.167.**  $2\text{Au}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}_2 + 6\text{OH}^- = 2\text{Au} + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ . **18.168.**  $2\text{Ce}^{4+} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^- =$





## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы аналитической химии. Учебник. В 2 книгах. Книга 1 / Т.А. Большова, Г.Д. Брыкина, А. В. Гармаш [и др.] ; под ред. Ю.А. Золотова. – 5-е изд., стер. – Москва: Академия, 2012. – 383, [1] с. – ISBN 978-5-7695-9124-2.
2. *Васильев, В. П.* Аналитическая химия. Учебник. В 2 книгах. Книга 1. Титриметрические и гравиметрические методы анализа / В. П. Васильев. – 5-е изд., стер. – Москва: Дрофа, 2005. – 366, [1] с. – (Высшее образование). – ISBN 5-7107-9657-3.
3. *Дорохова, Е. Н.* Задачи и вопросы по аналитической химии / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. – Москва: Мир, 2001. – 267 с. – ISBN 5-03-003358-0.
4. Сборник задач по аналитической химии. В 2 частях. Часть 1 / А. М. Васильев, В. Ф. Торопов, А. И. Костромин [и др.] ; Казанский государственный университет. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1970. – 113 с.
5. *Петерс, Д. Г.* Химическое разделение и измерение. Теория и практика аналитической химии. В 2 книгах. Книга 1 / Д. Г. Петерс, Дж. Хайес, Г. Хифтье ; пер. с англ. Н. Б. Зорова ; под ред. П. К. Агасяна. – Москва: Химия, 1978. – 477 с.
6. *Воскресенский, А. Г.* Сборник задач и упражнений по аналитической химии / А. Г. Воскресенский, И. С. Солодкин, Г. Ф. Семиколенов. – Москва: Просвещение, 1985. – 176 с.
7. *Лурье, Ю. Ю.* Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: Альянс, 2013. – 448 с. – ISBN 978-5-903034-26-0.

## Приложение 1

### Константы диссоциации некоторых кислот и оснований

Название	Формула	Константа
Азотистоводородная	$\text{HN}_3$	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Азотистая	$\text{HNO}_2$	$5,1 \cdot 10^{-4}$
Алюминиевая	$\text{HAlO}_2$	$4 \cdot 10^{-13}$
Борная	$\text{H}_3\text{BO}_3$	$K_1 = 7,1 \cdot 10^{-10}$ $K_2 = 1,8 \cdot 10^{-13}$ $K_3 = 1,6 \cdot 10^{-14}$
Винная	$\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$	$K_1 = 9,1 \cdot 10^{-4}$ $K_2 = 4,3 \cdot 10^{-5}$
Иодноватая	$\text{HIO}_3$	$1,7 \cdot 10^{-1}$
Кремневая	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	$K_1 = 1,3 \cdot 10^{-10}$ $K_2 = 1,6 \cdot 10^{-12}$
Муравьиная	$\text{HCOOH}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$
Мышьяковая	$\text{H}_3\text{AsO}_4$	$K_1 = 5,6 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 1,7 \cdot 10^{-7}$ $K_3 = 2,95 \cdot 10^{-12}$
Селенистая	$\text{H}_2\text{SeO}_3$	$K_1 = 1,8 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 3,2 \cdot 10^{-8}$
Серная	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$K_2 = 1,15 \cdot 10^{-2}$
Сернистая	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$K_1 = 1,4 \cdot 10^{-2}$ $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$
Сероводородная	$\text{H}_2\text{S}$	$K_1 = 1 \cdot 10^{-7}$ $K_2 = 2,5 \cdot 10^{-13}$
Теллуристая	$\text{H}_2\text{TeO}_3$	$K_1 = 2,7 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 1,8 \cdot 10^{-8}$
Угольная	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$K_1 = 4,5 \cdot 10^{-7}$ $K_2 = 4,8 \cdot 10^{-11}$
Уксусная	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$1,74 \cdot 10^{-5}$
Иодоуксусная	$\text{CH}_2\text{ICOOH}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$
Монохлоруксусная	$\text{CH}_2\text{ClCOOH}$	$1,38 \cdot 10^{-3}$

Приложения

Название	Формула	Константа
Дихлоруксусная	$\text{CHCl}_2\text{COOH}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$
Трихлоруксусная	$\text{CCl}_3\text{COOH}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
Фосфорная	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$K_1 = 7,1 \cdot 10^{-3}$ $K_2 = 6,2 \cdot 10^{-8}$ $K_3 = 5,0 \cdot 10^{-13}$
Фтористоводородная	$\text{HF}$	$6,2 \cdot 10^{-1}$
Хлористая	$\text{HClO}_2$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
Хлорноватистая	$\text{HClO}$	$2,95 \cdot 10^{-8}$
Хромовая	$\text{H}_2\text{CrO}_4$	$K_1 = 1,6 \cdot 10^{-1}$ $K_2 = 3,2 \cdot 10^{-7}$
Цианистоводородная	$\text{HCN}$	$5,0 \cdot 10^{-10}$
Циановая	$\text{HCNO}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$
Щавелевая	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$K_1 = 5,6 \cdot 10^{-2}$ $K_2 = 5,4 \cdot 10^{-5}$
Аммиака раствор	$\text{NH}_4\text{OH}$	$1,76 \cdot 10^{-5}$
Анилин	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	$4,3 \cdot 10^{-10}$
Бутиламин	$\text{C}_4\text{H}_9\text{N}_2$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
Гидразин	$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	$9,3 \cdot 10^{-7}$
Гидраксиламин	$\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{H}_2\text{O}$	$8,9 \cdot 10^{-9}$

## Приложение 2

### Константы нестойкости комплексов

$$K_n = \frac{[\text{Me}^+][\text{L}]^n}{[\text{MeL}_n]}$$

		$K_n$	pK
1	$\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$	$9,31 \cdot 10^{-8}$	7,03
2	$\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	$7,56 \cdot 10^{-8}$	7,12
3	$\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	$7,75 \cdot 10^{-6}$	5,11
4	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	$2,14 \cdot 10^{-13}$	12,67
5	$\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	$1,86 \cdot 10^{-9}$	8,73
6	$\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	$3,46 \cdot 10^{-10}$	9,46
7	$\text{Pb}(\text{OH})_3^-$	$2,4 \cdot 10^{-13}$	12,62
8	$\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$	$3,6 \cdot 10^{-16}$	15,44
9	$\text{In}(\text{OH})_4^-$	$2,5 \cdot 10^{-30}$	29,6
10	$\text{HgI}_4^{2-}$	$1,48 \cdot 10^{-30}$	29,83
11	$\text{Hg}(\text{CNS})_4^{2-}$	$5,9 \cdot 10^{-22}$	21,23
12	$\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_4^{6-}$	$2,8 \cdot 10^{-34}$	33,24
13	$\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$	$2,5 \cdot 10^{-14}$	13,60
14	$\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3^{5-}$	$1,44 \cdot 10^{-14}$	13,84
15	$\text{Pb}(\text{S}_2\text{O}_3)_3^{4-}$	$4,48 \cdot 10^{-7}$	6,35
16	$\text{HgCl}_4^{2-}$	$1,2 \cdot 10^{-15}$	14,92
17	$\text{Ag}(\text{CN})_2^-$	$8 \cdot 10^{-22}$	21,1
18	$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	$5,0 \cdot 10^{-39}$	38,3
19	$\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$	$1,41 \cdot 10^{-19}$	18,81
20	$\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$	$5,0 \cdot 10^{-32}$	31,3
21	$\text{Hg}(\text{CN})_4^{2-}$	$4,0 \cdot 10^{-42}$	41,4
22	$\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$	$1,3 \cdot 10^{-17}$	16,89
23	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_4^{2-}$	$3,8 \cdot 10^{-2}$	1,41
24	$[\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_4(\text{COO})\text{O})]^+$	$4,0 \cdot 10^{-17}$	16,4

## Приложение 3

### Произведения растворимости некоторых солей и оснований

№ п/п	ПР		№ п/п	ПР	
	1	AgNO <sub>2</sub>		$6,0 \cdot 10^{-4}$	25
2	AgCN	$1,6 \cdot 10^{-16}$	26	BaF <sub>2</sub>	$1,1 \cdot 10^{-6}$
3	AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$	27	Ba(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	$1,5 \cdot 10^{-9}$
4	AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$	28	Ba(BrO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	$5,5 \cdot 10^{-6}$
5	AgCNS	$1,1 \cdot 10^{-12}$	29	Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$6,0 \cdot 10^{-39}$
6	AgI	$8,3 \cdot 10^{-17}$	30	Bi(OH) <sub>3</sub>	$4,3 \cdot 10^{-31}$
7	AgIO <sub>3</sub>	$3,0 \cdot 10^{-8}$	31	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	$1,0 \cdot 10^{-97}$
8	AgBrO <sub>3</sub>	$5,5 \cdot 10^{-5}$	32	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,3 \cdot 10^{-9}$
9	Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$1,2 \cdot 10^{-12}$	33	CaSO <sub>4</sub>	$2,5 \cdot 10^{-5}$
10	Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-12}$	34	CaCO <sub>3</sub>	$3,8 \cdot 10^{-9}$
11	Ag <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	$1,0 \cdot 10^{-10}$	35	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$2,0 \cdot 10^{-29}$
12	Ag <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$3,5 \cdot 10^{-11}$	36	Ca(OH) <sub>2</sub>	$6,5 \cdot 10^{-6}$
13	Ag <sub>3</sub> AsO <sub>3</sub>	$1,0 \cdot 10^{-17}$	37	Ca(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	$7,0 \cdot 10^{-7}$
14	Ag <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	$1,0 \cdot 10^{-22}$	38	CaF <sub>2</sub>	$4,0 \cdot 10^{-11}$
15	Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$1,3 \cdot 10^{-20}$	39	CaC <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	$7,7 \cdot 10^{-7}$
16	Ag <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	$1,0 \cdot 10^{-22}$	40	Cd(OH) <sub>2</sub>	$2,2 \cdot 10^{-14}$
17	Ag <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	$8,5 \cdot 10^{-45}$	41	CdS	$1,6 \cdot 10^{-28}$
18	AgBO <sub>2</sub>	$4,0 \cdot 10^{-3}$	42	CuI	$1,1 \cdot 10^{-12}$
19	Ag <sub>2</sub> S	$6,3 \cdot 10^{-50}$	43	Cu(OH) <sub>2</sub>	$8,3 \cdot 10^{-20}$
20	Al(OH) <sub>3</sub>	$3,2 \cdot 10^{-34}$	44	CuC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$3,0 \cdot 10^{-8}$
21	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	$4 \cdot 10^{-29}$	45	Cu <sub>2</sub> S	$2,5 \cdot 10^{-48}$
22	BaCO <sub>3</sub>	$4,0 \cdot 10^{-10}$	46	CuS	$6,3 \cdot 10^{-36}$
23	BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-7}$	47	Cr(OH) <sub>3</sub>	$6,3 \cdot 10^{-31}$
24	BaSO <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-10}$	48	Co(OH) <sub>2</sub>	$1,6 \cdot 10^{-18}$

49	CoS	$3,1 \cdot 10^{-23}$	80	Pb(OH) <sub>2</sub>	$9,1 \cdot 10^{-16}$
50	Cs <sub>2</sub> [PtCl <sub>6</sub> ]	$3,0 \cdot 10^{-8}$	81	PbF <sub>2</sub>	$3,2 \cdot 10^{-8}$
51	Fe(OH) <sub>2</sub>	$7,1 \cdot 10^{-16}$	82	PbCl <sub>2</sub>	$2,4 \cdot 10^{-4}$
52	Fe(OH) <sub>3</sub>	$6,3 \cdot 10^{-38}$	83	PbBr <sub>2</sub>	$7,4 \cdot 10^{-5}$
53	FeCO <sub>3</sub>	$2,5 \cdot 10^{-11}$	84	PbI <sub>2</sub>	$8,1 \cdot 10^{-9}$
54	FeC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,1 \cdot 10^{-7}$	85	Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$1,1 \cdot 10^{-32}$
55	FeS	$3,7 \cdot 10^{-19}$	86	PbHPO <sub>4</sub>	$1,2 \cdot 10^{-10}$
56	Hg <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	$2 \cdot 10^{-9}$	87	PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$3,4 \cdot 10^{-11}$
57	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$6,2 \cdot 10^{-7}$	88	PbS	$3,4 \cdot 10^{-28}$
58	HgS	$4 \cdot 10^{-53}$	89	RaSO <sub>4</sub>	$4,25 \cdot 10^{-11}$
59	K <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	$6,5 \cdot 10^{-7}$	90	Rb <sub>2</sub> [PtCl <sub>6</sub> ]	$5,6 \cdot 10^{-7}$
60	KHC <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	$3,8 \cdot 10^{-4}$	91	SrCO <sub>3</sub>	$1,6 \cdot 10^{-9}$
61	K <sub>2</sub> [PtCl <sub>6</sub> ]	$4,9 \cdot 10^{-5}$	92	SrC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$5,6 \cdot 10^{-8}$
62	La(IO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	$6 \cdot 10^{-10}$	93	SrSO <sub>4</sub>	$2,8 \cdot 10^{-7}$
63	La(OH) <sub>3</sub>	$1,2 \cdot 10^{-19}$	94	SrCrO <sub>4</sub>	$3,6 \cdot 10^{-5}$
64	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$1,7 \cdot 10^{-3}$	95	SrF <sub>2</sub>	$2,8 \cdot 10^{-9}$
65	Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$3,5 \cdot 10^{-9}$	96	Sb(OH) <sub>3</sub>	$4 \cdot 10^{-42}$
66	Mg(OH) <sub>2</sub>	$1,2 \cdot 10^{-11}$	97	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	$2,9 \cdot 10^{-59}$
67	MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub>	$6,5 \cdot 10^{-13}$	98	Sn(OH) <sub>2</sub>	$5 \cdot 10^{-26}$
68	MgF <sub>2</sub>	$7,1 \cdot 10^{-9}$	99	THI	$2,8 \cdot 10^{-8}$
69	MgNH <sub>4</sub> AsO <sub>4</sub>	$3,2 \cdot 10^{-10}$	100	TICNS	$2,2 \cdot 10^{-4}$
70	MnCO <sub>3</sub>	$8,8 \cdot 10^{-10}$	101	TiIO <sub>3</sub>	$2,2 \cdot 10^{-4}$
71	Mn(OH) <sub>2</sub>	$4 \cdot 10^{-14}$	102	TiBrO <sub>3</sub>	$8,5 \cdot 10^{-5}$
72	MnS	$1,4 \cdot 10^{-15}$	103	TiBr	$2,1 \cdot 10^{-6}$
73	Ni(OH) <sub>2</sub>	$1,6 \cdot 10^{-14}$	104	TiCl	$1,5 \cdot 10^{-4}$
74	NiS	$3 \cdot 10^{-21}$	105	Ti[PtCl <sub>6</sub> ]	$1,9 \cdot 10^{-12}$
75	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> [PtCl <sub>6</sub> ]	$1,4 \cdot 10^{-5}$	106	Ti(OH) <sub>2</sub>	$1,4 \cdot 10^{-53}$
76	PbSO <sub>4</sub>	$1,6 \cdot 10^{-8}$	107	Zn(OH) <sub>2</sub>	$1,3 \cdot 10^{-17}$
77	PbCrO <sub>4</sub>	$1,8 \cdot 10^{-14}$	108	ZnCO <sub>3</sub>	$2,7 \cdot 10^{-8}$
78	PbFCl	$2,8 \cdot 10^{-9}$	109	ZnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$1,35 \cdot 10^{-9}$
79	PbCO <sub>3</sub>	$3,3 \cdot 10^{-14}$	110	ZnS	$1,6 \cdot 10^{-24}$