

## 4. РАСТВОРЫ

### 4.1. Концентрации растворов

**Раствор** – гомогенная (однородная) система, состоящая из двух или более компонентов, состав которой может непрерывно изменяться в определенных пределах. По агрегатному состоянию растворы могут быть газообразными, жидкими и твердыми.

В растворах выделяют растворитель и растворенное вещество. Растворителем называют компонент, который образует непрерывную среду. Остальные компоненты, которые распределены в среде растворителя в виде дискретных частиц, называются растворенными веществами. Состав раствора (концентрация) чаще всего выражается следующими способами.

• **Массовая доля или процентное содержание** – соотношение масс растворенного вещества  $m_b$  и раствора  $m_{p-p}$ , выраженное в долях или процентах:

$$\omega = m_b / m_{p-p}. \quad (4.1)$$

• **Концентрация, выраженная в граммах на литр**, показывает, какая масса растворенного вещества  $m_b$ , выраженная в граммах, содержится в единице объема раствора  $V_{p-p}$ :

$$C_{г/л} = m_b / V_{p-p} \quad (4.2)$$

• **Молярная концентрация, или молярность**, – число молей растворенного вещества  $n_b$  в 1 дм<sup>3</sup> (1 л) раствора:

$$C_M = \frac{n_b}{V_{p-p}} = \frac{m_b}{M_b V_{p-p}}. \quad (4.3)$$

• **Моляльная концентрация, или моляльность**, – число молей растворенного вещества, приходящееся на 1 кг растворителя:

$$C_m = \frac{n_b}{m_{p-ль}} = \frac{m_b}{M_b m_{p-ль}}. \quad (4.4)$$

• **Молярная доля или молярные проценты** – число молей компонента (растворителя или растворенного вещества), содержащееся в одном моле раствора:

$$x_i = n_i / \sum n_i. \quad (4.5)$$

• **Нормальная концентрация, или нормальность**, – количество эквивалентов  $n_{эв}$  растворенного вещества, содержащееся в 1 л раствора:

$$C_N = \frac{n_{эв}}{V_{p-p}} = \frac{m_b}{\Theta_b V_{p-p}} z = z C_M, \quad (4.6)$$

где  $z$  – количество обменных эквивалентов растворенного вещества, содержащееся в 1 моль вещества.

Для кислот  $z$  соответствует основности кислоты, т.е. числу атомов водорода в составе кислоты, обмениваемых в данной реакции на металл или нейтрализуемых основанием.

Для оснований  $z$  соответствует кислотности основания, т.е. числу гидроксильных групп в составе основания, обмениваемых на кислотный остаток или нейтрализуемых кислотой.

Для солей  $z$  рассчитывают как произведение числа атомов и степени окисления металла в составе соли.

Для окислителей и восстановителей в окислительно-восстановительных реакциях  $z$  – изменение их степени окисления в ходе реакции.

**Пример 1.** Раствор серной кислоты в воде с концентрацией 16 % (по массе) имеет плотность  $d = 1,109$  г/см<sup>3</sup>. Выразить концентрацию этого раствора всеми возможными способами.

**Решение.** 1. Выделим мысленно 1 кг раствора и установим его объем:

$$V_{p-p} = \frac{m_{p-p}}{d_{p-p}} = \frac{1000}{1,109} = 902 \text{ мл} = 0,902 \text{ л}.$$

2. Определим массу растворенного вещества ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) по формуле (4.1):

$$m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{\omega}{100} \cdot m_{\text{p-p}} = \frac{16}{100} \cdot 1000 = 160 \text{ г.}$$

3. По формуле (4.2) рассчитаем концентрацию раствора серной кислоты

$$C_{\text{г/л}} = \frac{m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}}{V_{\text{p-p}}} = \frac{160}{0,902} = 177,4 \text{ г/л.}$$

4. Найдем число молей серной кислоты:

$$n_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}}{M_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}} = \frac{160}{98} = 1,63 \text{ моль.}$$

5. По формуле (4.3) вычислим молярную концентрацию раствора серной кислоты:

$$C_{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{n_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}}{V_{\text{p-p}}} = \frac{1,63}{0,902} = 1,81 \text{ моль/л.}$$

6. Найдем массу растворителя ( $\text{H}_2\text{O}$ ):

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{\text{p-p}} - m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 1000 - 160 = 840 \text{ г} = 0,84 \text{ кг.}$$

7. По формуле (4.4) вычислим моляльную концентрацию раствора серной кислоты:

$$m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{n_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}}{m_{(\text{H}_2\text{O})}} = \frac{1,63}{0,84} = 1,94 \text{ моль/кг.}$$

8. Найдем число молей воды:

$$n_{(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m_{(\text{H}_2\text{O})}}{M_{(\text{H}_2\text{O})}} = \frac{840}{18} = 46,67 \text{ моль.}$$

9. По формуле (4.5) вычислим мольную долю серной кислоты:

$$x_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{n_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}}{n_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} + n_{(\text{H}_2\text{O})}} = \frac{1,63}{1,63 + 46,67} = 0,03.$$

10. По формуле (4.6) определим нормальную концентрацию раствора серной кислоты (для серной кислоты количество обменных эквивалентов в 1 моль вещества  $z = 2$ ):

$$C_{N(\text{H}_2\text{SO}_4)} = z C_{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 2 \cdot 1,81 = 3,62 \text{ экв/л.}$$

**Пример 2.** Какой объем раствора серной кислоты концентрацией 10 % ( $d = 1,066 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления 200 мл 1 н. раствора?

**Решение.** 1. Найдем массу серной кислоты, содержащейся в 200 мл 1 н. раствора. Для этого вычислим молярную концентрацию раствора по формуле (4.3):  $C_M = C_N / z = 0,5 \text{ моль/л}$ , а также количество вещества серной кислоты  $n_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = C_{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} V_{\text{p-p}(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ моль}$  и ее массу  $m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = n_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} M_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 0,1 \cdot 98 = 9,8 \text{ г}$ .

2. Подставим найденную массу серной кислоты в уравнение (4.1) и вычислим объем 10-процентного раствора:

$$V_{\text{p-p}} = \frac{m_{\text{p-p}}}{d_{\text{p-p}}} = \frac{m_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} \cdot 100}{\omega_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} \cdot d_{\text{p-p}}} = \frac{9,8 \cdot 100}{10 \cdot 1,066} = 91,9 \text{ см}^3.$$

**Пример 3.** Какой объем воды следует добавить к 500 мл раствора, содержащего 40 г сульфата никеля, чтобы понизить его концентрацию до 0,05 моль/л?

**Решение.** По уравнению (4.3) вычислим объем 0,05 М раствора:

$$V_2 = \frac{n_{(\text{NiSO}_4)}}{C_{M(\text{NiSO}_4)}} = \frac{m_{(\text{NiSO}_4)}}{M_{(\text{NiSO}_4)} C_{M(\text{NiSO}_4)}} = \frac{40}{156,7 \cdot 0,05} = 5,1 \text{ л}$$

и объем воды:

$$V_{(\text{H}_2\text{O})} = V_2 - V_1 = 5,1 - 0,5 = 4,6 \text{ л.}$$

**Пример 4.** Найти молярную концентрацию раствора карбоната натрия, полученную при смешивании 600 мл 2,15-процентного раствора ( $d = 1,02 \text{ г/см}^3$ ) и 200 мл 8,82-процентного раствора ( $d = 1,09 \text{ г/см}^3$ ).

**Решение.** Количество вещества карбоната натрия в каждом из смешиваемых растворов соответственно

$$n_{1(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{m_{1(\text{Na}_2\text{CO}_3)}}{M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}} = \frac{\omega_1 m_{\text{р-р1}}}{100M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}} = \frac{\omega_1 d_1 V_{\text{р-р1}}}{100M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}} =$$

$$\frac{2,15 \cdot 1,02 \cdot 600}{100 \cdot 160} = 0,082 \text{ моль};$$

$$n_{2(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{m_{2(\text{Na}_2\text{CO}_3)}}{M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}} = \frac{\omega_2 m_{\text{р-р2}}}{100M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}} = \frac{\omega_2 d_2 V_{\text{р-р2}}}{100M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}} =$$

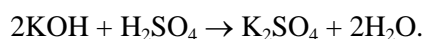
$$= \frac{8,82 \cdot 1,09 \cdot 200}{100 \cdot 160} = 0,12 \text{ моль}.$$

Молярная концентрация полученного раствора

$$C_{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{n_{1(\text{Na}_2\text{CO}_3)} + n_{2(\text{Na}_2\text{CO}_3)}}{V_1 + V_2} = \frac{(0,082 + 0,12)}{(0,6 + 0,2)} = 0,25 \text{ моль/л}.$$

**Пример 5.** Какой объем раствора серной кислоты концентрацией 0,42 моль/л потребуется для нейтрализации 20 мл раствора гидроксида калия концентрацией 6 % ( $d = 1,053 \text{ г/см}^3$ )?

**Решение 1.** Составим уравнение реакции:



2. С учетом уравнения (4.1) найдем количество вещества KOH

$$n_{(\text{KOH})} = \frac{m_{(\text{KOH})}}{M_{(\text{KOH})}} = \frac{\omega m_{\text{р-р}}}{100M_{(\text{KOH})}} = \frac{\omega d V_{\text{р-р}}}{100M_{(\text{KOH})}} = \frac{6 \cdot 1,053 \cdot 20}{100 \cdot 56} = 0,02 \text{ моль}.$$

3. По уравнению реакции на 2 моль KOH приходится 1 моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , следовательно, для реакции с 0,02 моль гидроксида калия требуется 0,01 моль серной кислоты.

4. По уравнению (4.3) найдем объем раствора серной кислоты:

$$V_{\text{р-р}} = \frac{n_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}}{C_{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}} = \frac{0,01}{0,42} = 0,0238 \text{ л} = 23,8 \text{ мл}.$$

**Задание I.** Выразить концентрацию заданного в табл.4.1 раствора всеми возможными способами.

Таблица 4.1

Задача	Вещество	Концентрация раствора	Плотность раствора, $\text{г/см}^3$
1	$\text{H}_2\text{SO}_4$	15 %	1,1
2	$\text{H}_3\text{PO}_4$	2,79 моль/л	1,115
3	$\text{BaCl}_2$	1,69 моль/л	1,28
4	$\text{FeSO}_4$	0,3 экв/л	1,02
5	$\text{AlCl}_3$	0,55 %	1,007
6	$\text{CaCl}_2$	22 %	1,203
7	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,39 моль/л	1,019
8	HCl	0,4 мол. %	1,002
9	KOH	3 мол. %	1,073
10	NaOH	13 %	1,142
11	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	0,15 экв/л	1,009
12	$\text{KMnO}_4$	0,25 экв/л	1,027

13	$K_2Cr_2O_7$	0,18 моль/кг	1,033
14	$CrCl_3$	0,6 экв/л	1,022
15	$CdCl_2$	0,5 моль/л	1,08
16	$MnCl_2$	10 %	1,086
17	$Hg(NO_3)_2$	0,25 моль/л	1,174
18	$ZnSO_4$	1,374 экв/л	1,107
19	$KOH$	34 %	1,336
20	$MgSO_4$	20 %	1,219
21	$H_2SO_4$	1,56 моль/л	1,095
22	$H_3PO_4$	7,3 мол. %	1,181
23	$NaBr$	5,8 мол. %	1,21
24	$NaCl$	7,1 мол. %	1,147
25	$HCl$	17,4 мол. %	1,149
26	$H_2SO_4$	3,4 мол. %	1,109
27	$KOH$	6,3 мол. %	1,147
28	$H_2SO_4$	5,9 мол. %	1,18
29	$KOH$	8,107 экв/л	1,336
30	$Pb(NO_3)_2$	30 %	1,328
31	$H_3PO_4$	30 %	1,181
32	$NaBr$	26 %	1,21
33	$NaCl$	15 %	1,109
34	$KOH$	560 г/л	1,411
35	$H_3PO_4$	855 г/л	1,426

Окончание табл.4.1

Задача	Вещество	Концентрация раствора	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
36	$H_3PO_4$	3 мол. %	1,08
37	$HNO_3$	10,4 экв/л	1,31
38	$H_2SO_4$	40 %	1,303
39	$ZnSO_4$	87 г/л	1,084
40	$H_2SO_4$	30 %	1,218
41	$KOH$	0,12 моль/кг	1,0
42	$HNO_3$	10,4 н.	1,31
43	$NH_4OH$	9 %	0,961
44	$NaCl$	4,5%	1,03
45	$CuSO_4$	1,037 моль/кг	1,206
46	$FeCl_3$	1,9 моль/л	1,234
47	$NH_4OH$	10 %	0,957
48	$H_2SO_4$	20 %	1,139
49	$H_3PO_4$	24 %	1,14
50	$BaCl_2$	10 %	1,092

**Задание II.** Решить задачи.

51. Какой объем 88-процентного раствора серной кислоты плотностью 1,8 г/см<sup>3</sup> надо взять, чтобы приготовить 2 л этой же кислоты концентрацией 2,36 моль/л?

52. Какое количество миллилитров 12 н. раствора едкого кали (KOH) надо взять, чтобы приготовить 500 мл 15-процентного раствора едкого кали плотностью 1,14 г/см<sup>3</sup>?

53. Какое количество воды надо добавить к 200 мл 52-процентного раствора едкого натра плотностью 1,35 г/см<sup>3</sup>, чтобы получить раствор с концентрацией 2,78 моль/л?

54. Раствор серной кислоты концентрацией 3 моль/л имеет плотность 1,18 г/см<sup>3</sup>. Какое количество воды надо добавить к 118 г этого раствора, чтобы получить раствор с концентрацией 12 %?

55. Сколько воды надо добавить к 125 мл 26-процентного раствора соляной кислоты плотностью 1,13 г/см<sup>3</sup>, чтобы получить раствор с концентрацией 14,5 %?

56. Какое количество воды надо добавить к 150 г раствора хлорида бария в воде (концентрация 2 экв/л, плотность 1,2 г/см<sup>3</sup>), чтобы получить раствор с концентрацией 8 %?

57. Какое количество миллилитров раствора фосфорной кислоты, мольная доля которого 0,01 (плотность раствора 1,025 г/см<sup>3</sup>), надо взять, чтобы получить 200 г раствора с концентрацией 2,6 %?

58. Сколько миллилитров 2,25 М раствора хлорида калия надо взять, чтобы приготовить 1,5 л 6-процентного раствора плотностью 1,04 г/см<sup>3</sup>?
59. Какой объем раствора соляной кислоты (концентрация 38 %, плотность 1,189 г/см<sup>3</sup>) потребуется для приготовления 250 мл 0,08 н. раствора?
60. Сколько миллилитров раствора серной кислоты (концентрация 96 %, плотность 1,84 г/см<sup>3</sup>) потребуется для приготовления 2 л 0,25 н. раствора?
61. Сколько граммов едкого кали надо взять для приготовления 2 л раствора концентрацией 10 % и плотностью 1,09 г/см<sup>3</sup>?
62. Какой объем раствора серной кислоты (концентрация 98 %, плотность 1,837 г/см<sup>3</sup>) надо взять для приготовления 500 мл 0,1 н. раствора?
63. Какой объем 3 н. раствора фосфорной кислоты надо взять для приготовления 1 л 0,5 М раствора?
64. Как приготовить 500 мл 0,5 н. раствора соды из 2 н. ее раствора?
65. Сколько миллилитров воды надо прибавить к 300 мл раствора едкого кали, (концентрация 25 %, плотность 1,236 г/см<sup>3</sup>), чтобы получить 8-процентный раствор?
66. Какой объем азотной кислоты (концентрация 56 %, плотность 1,345 г/см<sup>3</sup>) потребуется для приготовления 1 л 0,1 М раствора?
67. Сколько миллилитров воды надо прибавить к 100 мл раствора серной кислоты (концентрация 48 %, плотность 1,376 г/см<sup>3</sup>), чтобы получить 0,5 н. раствор?
68. До какого объема надо разбавить 200 мл 1 н. раствора хлорида натрия, чтобы получить раствор концентрацией 4,5 % и плотностью 1,029 г/см<sup>3</sup>?
69. Сколько граммов сульфата натрия надо прибавить к 1 л раствора (концентрация 10 %, плотность 1,09 г/см<sup>3</sup>), чтобы получить 15-процентный раствор?
70. Сколько воды надо прибавить к 200 мл раствора азотной кислоты (концентрация 32 %, плотность 1,193 г/см<sup>3</sup>), чтобы получить 10-процентный раствор?
71. Сколько раствора соляной кислоты (концентрация 36 %, плотность 1,179 г/см<sup>3</sup>) потребуется для приготовления 1 л 0,5 н. раствора?
72. Сколько воды надо добавить к 50 мл 2 н. раствора, чтобы получить 0,25 н. раствор?
73. Сколько граммов хлорида аммония надо добавить к 5 л 2,1 М раствора плотностью 1,054 г/см<sup>3</sup>, чтобы получить 20-процентный раствор?
74. Сколько граммов едкого натра надо взять для приготовления 2 л раствора концентрацией 10 % и плотностью 1,080 г/см<sup>3</sup>?
75. Как приготовить 1 л 1 н. раствора КОН из 49-процентного раствора той же щелочи плотностью 1,5 г/см<sup>3</sup>?
76. Имеется раствор серной кислоты (концентрация 80 %, плотность 1,732 г/см<sup>3</sup>). Как из него приготовить 2 л 6 М раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>?
77. Сколько серной кислоты (концентрация 60 %, плотность 1,503 г/см<sup>3</sup>) надо взять для приготовления 10 л 0,1 н. ее раствора?
78. Сколько воды надо испарить, чтобы из 10 л 0,25 М раствора ортофосфорной кислоты получить 6 М раствор?
79. В лаборатории имеется 20 кг 12-процентного раствора поташа K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Сколько килограммов технического поташа, содержащего 8 % посторонних примесей, надо взять для повышения концентрации имеющегося раствора до 20 %?
80. Какой объем раствора карбоната натрия (концентрация 10 %, плотность 1,105 г/см<sup>3</sup>) требуется для приготовления 5 л 2-процентного раствора плотностью 1,02 г/см<sup>3</sup>?
81. Сколько граммов хлористого аммония потребуется для приготовления 600 мл 0,5 М раствора?
82. Какую массу нитрата свинца (II) надо взять для приготовления 300 мл 0,2 н. раствора?
83. Сколько граммов медного купороса (пентагидрата сульфата меди (II)) надо взять для приготовления 1 л 2 н. раствора?
84. Какой процентной концентрации получится соляная кислота, если к 100 мл раствора HCl (концентрация 36 %, плотность 1,179 г/см<sup>3</sup>) прибавить 200 мл воды?
85. Сколько граммов азотной кислоты содержится в 1 л 36-процентного раствора плотностью 1,221 г/см<sup>3</sup>?
86. Какой процентной концентрации получится раствор, если к 500 мл 30-процентного раствора КОН плотностью 1,288 г/см<sup>3</sup> прибавить 500 мл воды?

87. Какой объем аммиака следует растворить в воде при 25 °С и 120 кПа для получения 2 л 10-процентного раствора гидроксида аммония, плотностью 0,96 г/см<sup>3</sup>?
88. Какая масса сульфита натрия потребуется для приготовления 5 л 8-процентного раствора плотностью 1,075 г/см<sup>3</sup>?
89. Сколько воды надо прибавить к 50 мл 2 М раствора ортофосфорной кислоты, чтобы получить 0,25 н. раствор?
90. Какой объем воды потребуется для растворения 67,2 л хлороводорода, приведенного к нормальным условиям, для получения 9-процентного раствора плотностью 1,04 г/мл?
91. Сколько граммов десятиводного сульфата натрия нужно растворить в 800 мл воды для получения раствора с концентрацией по безводному сульфату натрия 10 %?
92. Какая масса хлорида калия потребуется для приготовления 200 мл раствора с концентрацией 1,455 моль/л?
93. Необходимо приготовить 100 г раствора хлорида бария с концентрацией 5 %. Какая масса дигидрата хлорида бария потребуется для этого?
94. Какой объем раствора серной кислоты (концентрация 30 %, плотность 1,12 г/см<sup>3</sup>) потребуется для приготовления 2 л раствора концентрацией 0,4 н.?
95. Какой объем аммиака при температуре 25 °С и давлении 1 атм следует растворить в 1 л воды для получения раствора гидроксида аммония концентрацией 20 %?
96. Рассчитать, какой объем воды следует взять для растворения 16 г СН<sub>3</sub>ОН для получения раствора метанола с мольной долей 0,02.
97. Раствор хлорида алюминия в воде имеет концентрацию 2 экв/л и плотность 1,08 г/см<sup>3</sup>. К 50 г этого раствора добавили 35 мл воды, и его плотность стала 1,035 г/см<sup>3</sup>. Найти массовую долю хлорида алюминия в новом растворе.
98. Сколько 5-процентного раствора можно приготовить из 1 т плавленого сульфида натрия, содержащего 30 % примесей?
99. Раствор хлорида алюминия в воде имеет концентрацию 2,18 экв/л и плотность 1,08 г/см<sup>3</sup>. К 50 г этого раствора добавили 35 мл воды и его плотность стала 1,044 г/см<sup>3</sup>. Найти концентрацию нового раствора в процентах.
100. К 200 мл 0,7 н. раствора серной кислоты прибавили 300 г воды. Рассчитать конечную концентрацию серной кислоты в граммах на литр.
101. Смешали 20 мл 0,5 н. раствора соляной кислоты и 10 мл 0,2 н. раствора гидроксида бария. Какое вещество и в каком количестве будет находиться в растворе в избытке?
102. Раствор хлорида бария содержит 2,3 г бария. Сколько миллилитров 0,5 н. раствора серной кислоты потребуется для осаждения всего бария в виде сульфата?
103. Сколько и какого вещества останется в избытке, если к 75 мл 0,3 н. раствора серной кислоты прибавить 125 мл 0,2 н. раствора калиевой щелочи?
104. Для осаждения в виде хлорида всего серебра, содержащегося в 100 мл раствора нитрата серебра, потребовалось 50 мл 0,2 н. раствора соляной кислоты. Какова нормальность раствора нитрата серебра, и какая масса хлорида серебра выпала в осадок?
105. На нейтрализацию 31 мл 0,16 н. раствора щелочи требуется 217 мл раствора серной кислоты. Чему равна нормальность раствора серной кислоты?
106. Какой объем 0,3 н. раствора кислоты требуется для нейтрализации раствора, содержащего 0,32 г гидроксида натрия в 40 мл?
107. На нейтрализацию 1 л раствора, содержащего 1,4 г гидроксида калия, требуется 50 мл раствора кислоты. Вычислить нормальность раствора кислоты.
108. Какая масса азотной кислоты содержалась в растворе, если на нейтрализацию его потребовалось 35 мл 0,4 н. раствора гидроксида натрия?
109. Сколько миллилитров 1 н. раствора едкого натра потребуется для полной нейтрализации 300 мл 0,1 М раствора серной кислоты?
110. Смешали 1 л раствора соляной кислоты (концентрация 20 %, плотность 1,098 г/см<sup>3</sup>) и 1 л раствора соляной кислоты (концентрация 12,5 %, плотность 1,06 г/см<sup>3</sup>). Какой молярной концентрации раствор получится после смешивания?
111. Сколько миллилитров 0,1 н. едкого натра (NaOH) потребуется для осаждения меди в виде гидроксида из 20 мл раствора сульфата меди, в 1 л которого содержится 10 г меди?
112. Сколько миллилитров соляной кислоты (концентрация 10 %, плотность 1,047 г/см<sup>3</sup>) потребуется для нейтрализации раствора, содержащего 8,5 г гидроксида бария?

113. Сколько миллилитров раствора соды, содержащего в 1 л 21,2 г соли, надо добавить к 30 мл 0,2 н. раствора хлорида кальция для полного осаждения кальция в виде карбоната?
114. Сколько граммов гидроксида железа выпадет в осадок, если к 500 мл 0,2 н. раствора хлорида железа (III) добавить избыток щелочи?
115. В каком объемном отношении надо смешать растворы гидроксида бария с концентрацией 95,5 г/л и 0,5 н. соляной кислоты для получения раствора с нейтральной средой?
116. На нейтрализацию 20 мл раствора едкого кали потребовалось 13 мл 0,2 н. раствора кислоты. Сколько граммов едкого кали содержится в 1 л раствора?
117. Сколько миллилитров раствора нитрата серебра, содержащего 5 г/л серебра, надо добавить к 10 мл 0,2 н. раствора хлорида натрия, чтобы полностью удалить из раствора ионы хлора?
118. Сколько миллилитров 2 н. серной кислоты потребуется для превращения 1,56 г гидроксида алюминия в сульфат алюминия?
119. Сколько граммов карбоната кальция можно растворить в 100 мл соляной кислоты (концентрация 20 %, плотность 1,1 г/см<sup>3</sup>)? Вычислить объем, который займет выделившийся газ при нормальных условиях.
120. К 5 г цинка прибавили 100 мл 10,2-процентной соляной кислоты (плотность раствора 1,05 г/см<sup>3</sup>). Какое вещество и в каком количестве осталось в избытке? Вычислить объем водорода, выделившегося при 20 °С и 750 мм рт. ст.
121. На нейтрализацию 20 мл раствора гидроксида калия (концентрация 5,66 %, плотность 1,053 г/см<sup>3</sup>) пошло 12,1 мл раствора серной кислоты плотностью 1,052 г/см<sup>3</sup>. Определить процентную концентрацию раствора серной кислоты.
122. Какое количество миллилитров 0,5 н. раствора сульфата натрия надо долить к 100 мл раствора хлорида бария (концентрация 16 %, плотность 1,156 г/см<sup>3</sup>), чтобы полностью осадить сульфат-ион?
123. На нейтрализацию 50 мл раствора фосфорной кислоты плотностью 1,01 г/см<sup>3</sup> израсходовано 31,2 г 1 н. раствора гидроксида натрия плотностью 1,04 г/см<sup>3</sup>. Определить процентную концентрацию фосфорной кислоты.
124. 10 г сплава меди с цинком обработали соляной кислотой. При этом выделилось 570 мл водорода, измеренных при температуре 27 °С и давлении 10<sup>5</sup> Па. Определить состав сплава и выразить его в массовых и мольных долях.
125. При растворении 15 г сплава серебра с алюминием раствором едкого натра выделилось 13 мл водорода, измеренного при температуре 57 °С и давлении 15·10<sup>5</sup> Па. Определить состав сплава и выразить его в массовых и мольных долях.
126. При растворении в азотной кислоте 5 г сплава меди и золота выделилось 0,99 мл оксида азота (II), измеренных при температуре 37 °С и давлении 1,2·10<sup>5</sup> Па. Определить состав сплава и выразить его в массовых и мольных долях.
127. Для нейтрализации 20 мл 0,1 н. раствора кислоты потребовалось 8 мл раствора гидроксида натрия. Сколько граммов NaOH содержит 1 л этого раствора?
128. Какой объем 0,2 н. раствора кислоты требуется для нейтрализации раствора, содержащего 0,51 г гидроксида калия в 30 мл?
129. Сколько и какого вещества останется в избытке, если к 150 мл 0,4 н. раствора соляной кислоты прибавить 250 мл 0,2 н. раствора гидроксида натрия?
130. Смешали 100 мл 1,5 н. раствора и 100 мл 0,5 н. раствора серной кислоты. Рассчитать молярность полученного раствора.
131. К 100 мл раствора едкого натра (концентрация 10 %, плотность 1,109 г/см<sup>3</sup>) прибавили 200 мл раствора NaOH (концентрация 20 %, плотность 1,219 г/см<sup>3</sup>). Рассчитать нормальность полученного раствора.
132. К 500 мл раствора хлорида натрия (концентрация 6 %, плотность 1,04 г/см<sup>3</sup>) прибавили 1 л раствора хлорида калия концентрацией 8 % и плотностью 1,05 г/см<sup>3</sup>. Рассчитать молярную концентрацию хлорид-иона в растворе после смешения.
133. Смешали два раствора нитрата натрия концентрацией 0,8 и 0,2 моль/л в пропорции 2:1. Рассчитать молярную концентрацию полученного раствора.
134. Определить эквивалентную массу кислоты, если на нейтрализацию раствора, содержащего 0,63 г кислоты, израсходовано 20 мл 0,5 н. раствора щелочи.

135. Смешали 2 л раствора сульфата меди (II) концентрацией 2 % и плотностью  $1,02 \text{ г/см}^3$  и 1 л раствора хлорида меди (II) концентрацией 0,1 н. Рассчитать молярную концентрацию меди в полученном растворе.

136. К 50 мл раствора NaCl концентрацией 10 г/л прибавили 100 мл раствора NaCl концентрацией 2 г/л. Рассчитать молярную концентрацию полученного раствора.

137. К 100 л раствора соли железа с содержанием по железу 5 г/л прибавили 50 л раствора нитрата железа (III) концентрацией 0,3 моль/л. Рассчитать молярную концентрацию железа в полученном растворе.

138. На нейтрализацию раствора, содержащего 4,05 г кислоты, израсходовано 40 мл раствора едкого натра (NaOH) концентрацией 10 % и плотностью  $1,109 \text{ г/см}^3$ . Определить эквивалентную массу кислоты.

139. К 50 л раствора фосфорной кислоты концентрацией 8 % и плотностью  $1,042 \text{ г/см}^3$  прибавили 2 л фосфата натрия концентрацией 5 г/л. Рассчитать молярную концентрацию фосфат-иона в полученном растворе.

140. Смешали 54 мл раствора NaOH концентрацией 0,5 % и плотностью  $1 \text{ г/см}^3$  и 10 мл 2-процентного раствора NaOH плотностью  $1,02 \text{ г/см}^3$ . Рассчитать концентрацию полученного раствора (в процентах).

141. Смешали 120 л раствора с содержанием никеля 0,8 моль/л, 500 л раствора с содержанием никеля 1 г/л и 50 л раствора (концентрация  $\text{NiSO}_4$  14 %, плотность  $1,158 \text{ г/см}^3$ ). Рассчитать молярную концентрацию никеля в полученном растворе.

142. На нейтрализацию 10 мл раствора серной кислоты концентрацией 22 % и плотностью  $1,155 \text{ г/см}^3$  потребовалось 50 мл раствора щелочи концентрацией 41,6 г/л. Определить эквивалентную массу щелочи.

143. Смешали 4 мл серной кислоты (концентрация 40 %, плотность  $1,303 \text{ г/см}^3$ ) и 200 мл серной кислоты концентрацией 0,001 моль/л. Рассчитать нормальную концентрацию полученного раствора.

144. Смешали 8 л раствора соляной кислоты концентрацией 4 моль/л и 11 л раствора той же кислоты концентрацией 2 г/л. Рассчитать концентрацию полученного раствора в граммах на литр.

145. Сколько известняка с содержанием карбоната кальция 70 % потребуется для полной нейтрализации 10 л серной кислоты концентрацией 5 г/л?

146. Смешали 7 л раствора магния концентрацией 0,1 моль/л и 5 л раствора соли кальция концентрацией по кальцию 4 г/л. Рассчитать общее содержание металлов в растворе (в молях на литр).

147. К раствору, содержащему 5 г сульфата цинка, объемом 2 л добавили 3 л раствора сульфата меди (II) концентрацией 0,3 моль/л. Рассчитать молярную концентрацию сульфат-иона в полученном растворе.

148. Смешали растворы нитрата аммония концентрацией 0,3 моль/кг и 0,08 моль/л в соотношении 1:3. Рассчитать молярную концентрацию полученного раствора. Плотность всех растворов принять равной  $1 \text{ г/см}^3$ .

149. К раствору объемом 30 мл, содержащему 10 г серной кислоты в 100 мл раствора, прибавили 40 мл раствора NaOH, содержащего 9 г гидроксида натрия в 100 мл раствора. Найти молярную концентрацию вещества, которое останется в избытке.

150. Смешали раствор нитрата серебра (концентрация 1 %, плотность  $1,01 \text{ г/см}^3$ ) и раствор соляной кислоты (концентрация 5 %, плотность  $1,02 \text{ г/см}^3$ ) в соотношении 3:4. Рассчитать молярную концентрацию нитрат-иона в полученном растворе.

151. Какой объем раствора серной кислоты (концентрация 10 %, плотность  $1,07 \text{ г/см}^3$ ) потребуется для полной нейтрализации 0,5 л раствора NaOH концентрацией 16 г/л?

152. Смешали 10 мл раствора HCl (концентрация 10 %, плотность  $1,047 \text{ г/см}^3$ ) и 10 мл раствора HCl (концентрация 6 %, плотность  $1,028 \text{ г/см}^3$ ). Рассчитать массовую долю и молярную концентрацию соляной кислоты в полученном растворе.

153. Из раствора нитрата серебра (концентрация 2 %, плотность  $1,015 \text{ г/см}^3$ ) по реакции с хлоридом натрия образуется 14,35 г хлорида серебра. Вычислить исходный объем раствора нитрата серебра.

154. Смешали 1 л 1 М раствора  $\text{CuSO}_4$  и 2 л 0,5 М раствора  $\text{CuSO}_4$ . Рассчитать содержание меди в полученном растворе в граммах на литр.

155. Сколько миллилитров 0,5 н. раствора сульфата натрия нужно добавить к 100 мл раствора хлорида бария (концентрация 16 %, плотность 1,156 г/см<sup>3</sup>), чтобы полностью осадить сульфат-ионы?

156. Металл вытеснил из 100 мл соляной кислоты 348 мл водорода, измеренного при 20 °С и 99,5 кПа. Рассчитать нормальную концентрацию хлорида металла в полученном растворе.

## 4.2. Коллигативные свойства растворов

Свойства растворов (температура замерзания и кипения, давление насыщенного пара, осмотическое давление) зависят от природы растворителя и концентрации раствора и называются коллигативными свойствами, так как не зависят от природы растворенного вещества.

**Закон Рауля.** Закон формулируется следующим образом: относительное понижение давления насыщенного пара растворителя над раствором равно молярной доле растворенного вещества в растворе. Согласно закону, понижение парциального равновесного давления насыщенного пара растворителя над раствором является линейной функцией мольной доли растворенного вещества в растворе:

$$p_1 = p_1^0 x_1 = p_1^0 (1 - x_2) \quad (4.7)$$

или

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{\Delta p_1}{p_1^0} = x_2 \quad (\text{при } n_2 \ll n_1), \quad (4.8)$$

где  $p_1$  – давление насыщенного пара растворителя над раствором;  $p_1^0$  – давление насыщенного пара над индивидуальным растворителем;  $x_1$  и  $x_2$  – мольные доли растворителя и растворенного вещества в растворе.

**Изменение температур фазовых переходов растворов.** Повышение температуры кипения

$$\Delta_{\text{кип}} T = T_{\text{кип}} - T_{\text{кип}}^0 = \frac{R(T_{\text{кип}}^0)^2}{\Delta_{\text{исп}} H^0} x_2 = K_{\text{эб}} C_m, \quad (4.9)$$

где  $T_{\text{кип}}$  и  $T_{\text{кип}}^0$  – соответственно температуры кипения раствора и индивидуального растворителя;  $C_m$  – молярная концентрация растворенного вещества, моль/кг;  $K_{\text{эб}}$  – эбуллиоскопическая константа растворителя,  $K_{\text{эб}(\text{H}_2\text{O})} = 0,52 \text{ К} \cdot \text{кг/моль}$ .

Изменение температуры кристаллизации

$$\Delta_{\text{кр}} T = T_{\text{кр}}^0 - T_{\text{кр}} = \frac{R(T_{\text{пл}}^0)^2}{\Delta_{\text{пл}} H_1^0} x_2 = K_{\text{кр}} C_m, \quad (4.10)$$

где  $T_{\text{кр}}$  и  $T_{\text{кр}}^0$  – соответственно температуры кристаллизации раствора и чистого растворителя;  $C_m$  – молярная концентрация растворенного вещества;  $K_{\text{кр}}$  – криоскопическая постоянная растворителя,  $K_{\text{кр}(\text{H}_2\text{O})} = 1,86 \text{ К} \cdot \text{кг/моль}$ .

**Осмотическое давление.** Процесс самопроизвольного перехода растворителя в раствор через полупроницаемую мембрану называется осмосом. Давление, которое нужно приложить к раствору, чтобы осмос прекратился, называется осмотическим давлением, которое можно вычислить по формуле

$$\pi = \frac{RT}{V_1^0} x_2 = C_M RT \cdot 10^3, \quad (4.11)$$

где  $V_1^0$  – объем 1 моль растворителя, м<sup>3</sup>.

Для электролитов необходим поправочный множитель  $i$ , названный изотоническим коэффициентом:

$$\Delta p = i p_1^0 x_2; \quad (4.12)$$

$$\Delta_{\text{кип}} T = i \frac{R(T_{\text{кип}}^0)^2}{\Delta_{\text{исп}} H^0} x_2 = i K_{\text{эб}} C_m ;$$

$$\Delta_{\text{кр}} T = i \frac{R(T_{\text{кр}}^0)^2}{\Delta_{\text{пл}} H^0} x_2 = i K_{\text{кр}} C_m ;$$

$$\pi = i \frac{RT}{V_1^0} x_2 = i C_M RT \cdot 10^3 .$$

Изотонический коэффициент – показатель увеличения (уменьшения) числа частиц вследствие диссоциации (ассоциации). При  $i > 1$  протекает процесс диссоциации, при  $i < 1$  – процесс ассоциации. Численное значение изотонического коэффициента позволяет вычислить степень диссоциации и ассоциации. Соответственно

$$\alpha = \frac{i-1}{z-1} ; \quad \beta = \frac{(1-i)z'}{z'-1} ,$$

где  $z$  – число частиц, получающихся из одной частицы при диссоциации;  $z'$  – число частиц, объединяющихся в одну при ассоциации.

**Пример 6.** Относительное понижение упругости пара над раствором тростникового сахара ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) в воде составляет 2%. Определить осмотическое давление этого раствора при температуре 47 °С. Плотность раствора 1,15 г/см<sup>3</sup>. Определить изменение температуры плавления и кристаллизации, если  $K_{\text{эб}} = 0,52 \text{ К} \cdot \text{кг/моль}$ ,  $K_{\text{кр}} = 1,86 \text{ К} \cdot \text{кг/моль}$ ,  $\Delta_{\text{кип}} H_{H_2O} = 40 \text{ кДж/моль}$ ;  $\Delta_{\text{пл}} H_{H_2O} = 6 \text{ кДж/моль}$ ;  $V_1^0 = 18,16 \text{ мл}$ .

**Решение.** Из закона Рауля (4.7), (4.8) следует, что мольная доля сахара в растворе составляет 0,02. По формуле (4.9) определим повышение температуры кипения раствора:

$$\Delta_{\text{кип}} T = \frac{R(T_{\text{кип}}^0)^2}{\Delta_{\text{исп}} H^0} x_2 = \frac{8,31 \cdot 373^2}{40,02 \cdot 10^3} \cdot 0,02 = 0,58 \text{ К} .$$

По формуле (4.10) понижение температуры замерзания раствора:

$$\Delta_{\text{кр}} T = \frac{R(T_{\text{пл}}^0)^2}{\Delta_{\text{пл}} H_1^0} x_2 = \frac{8,31 \cdot 273^2}{6 \cdot 10^3} \cdot 0,02 = 2,06 \text{ К} .$$

Вычислим осмотическое давление по формуле (4.11):

$$\pi = \frac{RT}{V_1^0} x_2 = \frac{8,31 \cdot 320}{18,16 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,02 = 2929 \text{ кПа} = 2,93 \text{ МПа} .$$

**Пример 7.** Раствор магния в олове содержит 0,833 г магния в 100 г олова. Температура плавления олова 505 К, а теплота плавления 7200 Дж/моль. Определить температуру начала кристаллизации этого раствора.

**Решение.** Определим мольную долю  $x_2$  магния в олове:

$$x_2 = \frac{n_{\text{Mg}}}{n_{\text{Mg}} + n_{\text{Sn}}} = \frac{0,833}{\frac{24}{119} + \frac{0,833}{24}} = 0,04 .$$

По уравнению (4.10) вычислим температуру кристаллизации расплава:

$$T_{\text{кр}} = T_{\text{кр}}^0 - \Delta_{\text{кр}} T = 505 - \frac{8,31 \cdot 505^2}{7200} \cdot 0,04 = 493,2 \text{ К}$$

**Пример 8.** В системе свинец (II)-серебро (I) при  $T = 1490 \text{ К}$  закон Рауля справедлив для растворов, содержащих менее 18% свинца. Давление насыщенного пара над чистым серебром 7,47 Па. Вычислить давление пара серебра над раствором, содержащим 17,5% свинца.

**Решение.** Выделим мысленно 100 г расплава и примем их за 100 %, тогда  $m_{Pb} = 17,5$  г, а  $m_{Ag} = 100 - 17,5 = 82,5$  г. Мольная доля свинца в сплаве

$$x_2 = \frac{\frac{17,5}{207}}{\frac{17,5}{207} + \frac{82,5}{108}} = 0,099.$$

По уравнению (4.8) вычислим давление пара серебра над расплавом

$$p_1 = p_1^0(1 - x_2) = 7,47 \cdot (1 - 0,099) = 6,73 \text{ Па}.$$

**Пример 9.** Давление насыщенного пара над раствором, содержащим 5 г едкого натра в 180 г воды, при 100 °С составляет  $0,99 \cdot 10^5$  Па. Давление насыщенного пара над чистой водой при 100 °С составляет  $1,013 \cdot 10^5$  Па. Определить состояние едкого натра в растворе.

**Решение.** Состояние едкого натра в растворе можно оценить по величине изотонического коэффициента  $i$ . По закону Рауля (4.8)

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{(1,013 - 0,99) \cdot 10^5}{1,013 \cdot 10^5} = 0,0227;$$

$$x_2 = \frac{n_{NaOH}}{n_{NaOH} + n_{H_2O}} = \frac{\frac{5}{40}}{\frac{5}{40} + \frac{180}{18}} = 0,012$$

Из уравнения (4.12) вычислим

$$i = \frac{0,0227}{0,012} = 1,89.$$

Полученное значение  $i > 1$  указывает на наличие диссоциации NaOH. Кажущаяся степень диссоциации

$$\alpha_{\text{каж}} = \frac{i - 1}{z - 1} = \frac{1,816 - 1}{2 - 1} = 0,816.$$

**Задание III.** Решить задачи.

157. Определить осмотическое давление раствора, содержащего 30 г глицерина в 120 г воды, если плотность этого раствора близка к единице, а температура 27 °С.

158. Определить осмотическое давление раствора хлорида натрия в воде концентрацией 5 %, если плотность раствора  $1,04 \text{ г/см}^3$ , температура 17 °С. Кажущаяся степень диссоциации 95 %.

159. К 100 мл 0,5 М водного раствора сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11}$  добавлено 300 мл воды. Чему равно осмотическое давление полученного раствора при 25 °С?

160. При 293 К давление насыщенного пара над водой равно 2,34 кПа. Сколько граммов глицерина  $C_3H_5(OH)_3$  надо растворить в 180 г воды, чтобы понизить давление пара на 133,3 Па?

161. При растворении 13 г неэлектролита в 400 г диэтилового эфира  $(C_2H_5)_2O$  температура кипения раствора повысилась на 0,453 К. Определить молярную массу растворенного вещества.

162. В 60 г бензола растворено 2,09 г некоторого вещества, содержащего 50,69 % С, 4,23 % Н, 45,08 % О. Установить молекулярную формулу вещества. Чистый бензол кристаллизуется при 5,5 °С.

163. Температура кипения водного раствора сахарозы  $C_{12}H_{22}O_{11}$  101,4 °С. Вычислить молярную концентрацию и массовую долю сахарозы в растворе. При какой температуре этот раствор замерзает?

164. Определить осмотическое давление раствора хлорида бария в воде, если его концентрация 5 %, плотность  $1,08 \text{ г/см}^3$ , температура 7 °С, кажущаяся степень диссоциации 97 %.

165. Определить кажущуюся степень диссоциации хлорида калия в его 0,1 н. водном растворе, если при температуре 27 °С осмотическое давление раствора  $4,72 \cdot 10^5$  Па.

166. Осмотическое давление гипертонического раствора (водный раствор хлорида натрия концентрацией 10 %) при температуре 20 °С составляет  $84 \cdot 10^5$  Па. Найти кажущуюся степень диссоциации соли в этом растворе, если его плотность  $1,1 \text{ г/см}^3$ .

167. Установить концентрацию раствора сульфата натрия в воде и выразить ее всеми способами, если известно, что осмотическое давление раствора при температуре 15 °С составляет  $32,5 \cdot 10^5$  Па, кажущаяся степень диссоциации 91 %.

168. Водный раствор соли хрома (III) имеет осмотическое давление  $18,1 \cdot 10^5$  Па, плотность раствора  $1,06$  г/см<sup>3</sup>. Определить концентрацию раствора и выразить ее всеми способами, если соль диссоциирована нацело.

169. Сколько граммов хлорида кальция надо растворить в 1 л воды, чтобы полученный раствор при температуре 27 °С имел осмотическое давление  $23,7 \cdot 10^5$  Па? Кажущаяся степень диссоциации 95 %.

170. Сколько граммов сульфата меди (II) надо растворить в 100 мл воды, чтобы при температуре 7 °С полученный раствор имел осмотическое давление  $16 \cdot 10^5$  Па? Кажущаяся степень диссоциации 87 %.

171. Определить концентрацию хлорид-ионов в растворе хлорида ртути (II), если при температуре 17 °С и концентрации раствора 0,1 моль/л его осмотическое давление  $2,62 \cdot 10^5$  Па.

172. Раствор роданида железа (III) в воде с концентрацией 0,5 моль/л при температуре 27 °С имеет осмотическое давление  $15,5 \cdot 10^5$  Па. Определить концентрацию роданид-ионов в данном растворе.

173. Найти давление паров воды над раствором хлорида натрия концентрацией 5 %, если температура раствора 20 °С, кажущаяся степень диссоциации 98 %,  $p_1^0 = 2,3 \cdot 10^5$  Па.

174. Определить молярную концентрацию раствора карбамида, если при температуре 35 °С давление паров воды над раствором оказалось на 2 % ниже, чем над индивидуальной водой ( $p_1^0 = 5,55 \cdot 10^5$  Па). Карбамид в водных растворах не диссоциирует.

175. Вычислить кажущуюся степень диссоциации сульфата калия в его водном растворе концентрацией 3 %, если относительное понижение давления паров воды над раствором составляет  $9,23 \cdot 10^{-3}$  Па.

176. Рассчитать давление паров воды над 0,5-процентным раствором хлорида бария при 15 °С, если кажущаяся степень диссоциации 96 %,  $p_1^0 = 1,683 \cdot 10^5$  Па.

177. Определить концентрацию сульфата цинка в водном растворе, если относительное понижение давления пара над этим раствором 0,1 %, и соль диссоциирована нацело.

178. Какова концентрация хлорида алюминия в растворе, если относительное понижение давления пара над раствором 0,16 %, степень диссоциации соли 100 %?

179. Осмотическое давление раствора хлорида натрия при температуре 20 °С составляет  $8,4 \cdot 10^5$  Па. Определить давление паров воды над этим раствором, если плотность раствора  $1,05$  г/см<sup>3</sup>, кажущаяся степень диссоциации соли 92 %,  $p_1^0 = 2,31 \cdot 10^3$  Па.

180. Раствор хлорида калия в воде имеет осмотическое давление  $9,44 \cdot 10^5$  Па. Определить давление паров воды над этим раствором, если его температура 27 °С, плотность раствора  $1,07$  г/см<sup>3</sup>, кажущаяся степень диссоциации соли 92 %,  $p_1^0 = 3,5 \cdot 10^5$  Па.

181. Определить давление паров воды над раствором глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ , если в 100 г воды растворено 20 г глицерина, плотность раствора  $1,1$  г/см<sup>3</sup>,  $p_1^0 = 1,95 \cdot 10^5$  Па.

182. Определить концентрацию раствора сульфата натрия в воде, если при температуре 22 °С давление паров воды над этим раствором  $2,61 \cdot 10^3$  Па, кажущаяся степень диссоциации 95,7 %,  $p_1^0 = 2,62 \cdot 10^3$  Па.

183. При какой температуре закипит водный раствор хлорида меди (II) концентрацией 2 %, если кажущаяся степень диссоциации 97 %?

184. Найти температуру кипения раствора сульфата натрия в воде, если при 27 °С раствор этой соли имеет осмотическое давление  $7,16 \cdot 10^5$  Па, плотность  $1,06$  г/см<sup>3</sup>. Кажущаяся степень диссоциации 96 %.

185. Какой должна быть концентрация раствора хлорида цинка в воде, чтобы этот раствор закипал при температуре 100,52 °С? Соль диссоциирована на 100 %. Выразить концентрацию раствора (плотность  $1,04$  г/см<sup>3</sup>) всеми способами.

186. Определить кажущуюся степень диссоциации нитрата натрия, если этот раствор кипит при температуре 100,1 °С, а в 100 г воды растворено 0,85 г соли.

187. Раствор хлорида алюминия в воде концентрацией 0,2 моль/кг кипит при температуре 100,406 °С. Найти осмотическое давление этого раствора при температуре кипения, если его плотность 1,06 г/см<sup>3</sup>.

188. В 100 г воды содержится 0,58 г хлорида натрия. При какой температуре закипит этот раствор, если кажущаяся степень диссоциации 96 %?

189. Какова кажущаяся степень диссоциации бромида калия в растворе концентрацией 2 %, если он закипает при 100,17 °С.

190. Определить эбуллиоскопическую постоянную этилового спирта, если известно, что раствор, содержащий 0,506 г йодноватой кислоты и 31,8 г этанола, кипит при температуре 78,464 °С. В данных условиях кислота диссоциирована на 32,6 %, а температура кипения чистого этанола 78,3 °С.

191. Вычислить относительное понижение давления водяного пара над раствором хлорида кобальта (II), если при кажущейся степени диссоциации 93 % раствор кипит при температуре 100,30 °С.

192. Определить, сколько граммов глицерина надо добавить к 100 г воды, чтобы получившийся раствор не замерзал до температуры -3,2 °С.

193. При какой температуре начнется кристаллизация воды из раствора хлорида калия концентрацией 3 %, если кажущаяся степень диссоциации 89 %?

194. Определить кажущуюся степень диссоциации сульфата магния в его 0,1 н. растворе плотностью 1,02 г/см<sup>3</sup>, если этот раствор начинает кристаллизоваться при температуре -0,153 °С.

195. При какой температуре начнет кристаллизоваться раствор сульфата железа (II) концентрацией 2 %, если его температура кипения 100,136 °С?

196. При какой температуре закипит раствор глицерина в воде, если он кристаллизуется при температуре -1,5 °С?

197. Кажущаяся степень диссоциации некоторой соли, диссоциирующей на три иона, составляет 97 %. Определить, при какой температуре начнет кристаллизоваться раствор этой соли в воде, если он закипает при температуре 100,2 °С.

198. Относительное понижение давления паров воды над раствором сульфата калия концентрацией 3 % составляет  $9,23 \cdot 10^{-3}$ . Определить, при какой температуре начнется кристаллизация воды из этого раствора.

199. Раствор хлорида калия в воде концентрацией 0,8 % и плотностью 1,02 г/см<sup>3</sup> при температуре 27 °С имеет осмотическое давление  $5,13 \cdot 10^5$  Па. Определить, при какой температуре начнется кристаллизация этого раствора.

200. Температура кристаллизации бензола +5,5 °С, а раствора, содержащего 0,2242 г камфары в 30,55 г бензола, +5,254 °С. Определить молярную массу камфары, если константа кристаллизации бензола 5,16 К·кг/моль.

201. Раствор некоторого органического вещества в этиловом спирте закипает при температуре 78,41 °С. Определить его молярную массу, если для приготовления раствора было взято 2 г этого вещества, 48 г этилового спирта, температура кипения которого 78,3 °С,  $K_{36} = 1,19$  К·кг/моль.

202. Сколько граммов хлористого натрия надо добавить к 100 г воды, чтобы получившийся раствор не замерзал до температуры -1,8 °С? Считать, что соль диссоциировала на 100 %.

203. Сколько сахара C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub> надо растворить в 200 г воды, чтобы полученный раствор кипел при температуре 100,3 °С?

204. Сколько граммов хлорида бария, диссоциирующего нацело, надо растворить в 1 л воды, чтобы получившийся раствор замерзал при температуре -3,2 °С?

205. Осмотическое давление раствора глицерина в воде при температуре 7 °С составляет  $5,3 \cdot 10^5$  Па. Определить при какой температуре закипит этот раствор, если его плотность 1,02 г/см<sup>3</sup>.

206. Определить степень диссоциации бензойной кислоты C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH, если раствор ее в бензоле кристаллизуется при температуре 5,32 °С. Температура кристаллизации индивидуального бензола 5,5 °С,  $K_{кр} = 5,16$  К·кг/моль, а для приготовления раствора взято 62,5 г бензола и 0,26 г бензойной кислоты.

207. Определить молярную массу бензойной кислоты, если известно, что ее раствор в бензоле кристаллизуется при температуре 5,18 °С. Для бензола  $T_{крис} = 5,5$  °С,  $K_{кр} = 5,16$  К·кг·моль, а

для приготовления раствора взято 100 г бензола и 0,757 г бензойной кислоты. Считать, что в растворе кислота практически не диссоциирована.

208. При какой температуре закипит раствор иодида калия в воде, если для его приготовления взято 300 мл воды и 1,33 г соли, кажущаяся степень диссоциации 98 %?

209. Относительное понижение давления паров воды над раствором некоторой соли составляет 1 %. Определить, при какой температуре закипит этот раствор.

210. Относительное понижение давления паров над раствором некоторого сильного электролита в воде составляет 1,5 %. Определить, при какой температуре начнется кристаллизация этого раствора.

211. Раствор, в 100 мл которого находится 2,3 г вещества, обладает при 298 К осмотическим давлением, равным 618,5 кПа. Определить молярную массу вещества.

212. В 1 мл раствора содержится  $10^{18}$  молекул растворенного неэлектролита. Вычислить осмотическое давление раствора при 298 К.

213. В каком отношении должны находиться массы воды и этилового спирта, чтобы при их смешении получить раствор, замерзающий при  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ?

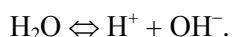
214. При  $25\text{ }^\circ\text{C}$  осмотическое давление некоторого водного раствора 1,24 МПа. Вычислить осмотическое давление раствора при  $0\text{ }^\circ\text{C}$ .

### 4.3. Водородный показатель

Для характеристики кислотно-основных свойств растворов используют водородный показатель рН, равный отрицательному значению десятичного логарифма концентрации ионов водорода. Аналогично рассчитывают гидроксильный показатель рОН, равный отрицательному значению десятичного логарифма концентрации ионов гидроксидов:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]; \quad \text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-]. \quad (4.13)$$

Концентрации ионов водорода и гидроксидов связаны между собой равновесием диссоциации воды:



Константу равновесия называют ионным произведением воды. При 298 К константа равновесия

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

Прологарифмировав это уравнение, получим

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14.$$

В чистой воде (нейтральная среда)  $\text{pH} = \text{pOH} = 7$ . В кислой среде  $\text{pH} < 7$ , в щелочной среде  $\text{pH} > 7$ .

**Расчет рН в растворах сильных кислот и оснований.** Для сильных кислот и щелочей, полностью диссоциированных на ионы,

$$[\text{H}^+] = zC_k \quad \text{и} \quad [\text{OH}^-] = zC_{\text{щ}},$$

где  $C_k$  и  $C_{\text{щ}}$  – молярные концентрации кислоты и щелочи соответственно;  $z$  – основность кислоты или кислотность основания.

Разбавление раствора сильного электролита учитывают в кислой и щелочной среде соответственно по уравнениям

$$\text{pH}_2 = \text{pH}_1 + \lg n,$$

$$\text{pOH}_2 = \text{pOH}_1 - \lg n,$$

где индекс 1 относится к исходному раствору (до разбавления), индекс 2 – к конечному раствору (после разбавления).

В среде, близкой к нейтральной, необходимо принять во внимание диссоциацию воды, в результате которой образуются ионы  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ .

$$[\text{H}^+] = \frac{zC_k}{2n} + \sqrt{\frac{z^2 C_k^2}{4n^2} + 10^{-14}} \cong 10^{-7} + \frac{zC_k}{2n}; \quad (4.14)$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{zC_{\text{ш}}}{2n} + \sqrt{\frac{z^2 C_{\text{ш}}^2}{4n^2} + 10^{-14}} \cong 10^{-7} + \frac{zC_{\text{ш}}}{2n}.$$

При смешивании растворов сильных кислот и оснований возможны два варианта:

- если смешивают два кислых или два щелочных раствора, т.е.  $\text{pH}_1 < 7$  и  $\text{pH}_2 < 7$  или  $\text{pH}_1 > 7$  и  $\text{pH}_2 > 7$ , то

$$[\text{H}^+]_3 = \frac{n_{(\text{H}^+)_1} + n_{(\text{H}^+)_2}}{V_1 + V_2} = \frac{[\text{H}^+]_1 V_1 + [\text{H}^+]_2 V_2}{V_1 + V_2}; \quad (4.15)$$

$$[\text{OH}^-]_3 = \frac{n_{(\text{OH}^-)_1} + n_{(\text{OH}^-)_2}}{V_1 + V_2} = \frac{[\text{OH}^-]_1 V_1 + [\text{OH}^-]_2 V_2}{V_1 + V_2}.$$

- если смешивают кислый и щелочной растворы, т.е.  $\text{pH}_1 < 7$  и  $\text{pH}_2 > 7$ , то конечную концентрацию раствора рассчитывают по веществу, взятому в избытке. При избытке кислоты

$$[\text{H}^+]_3 = \frac{[\text{H}^+]_1 V_1 - [\text{OH}^-]_2 V_2}{V_1 + V_2},$$

при избытке щелочи

$$[\text{OH}^-]_3 = \frac{[\text{OH}^-]_2 V_2 - [\text{H}^+]_1 V_1}{V_1 + V_2}.$$

**Расчет pH в растворах слабых кислот и оснований.** Диссоциация многих электролитов протекает не полностью. Отношение числа диссоциированных молей к общему числу молей электролита в растворе называют степенью диссоциации. Для его количественного описания используют константу равновесия, называемую константой диссоциации. Для одноосновной кислоты, диссоциирующей по уравнению,  $\text{HAn} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{An}^-$ , где  $\text{An}^-$  – кислотный остаток, константа диссоциации

$$K_d = \frac{[\text{H}^+][\text{An}^-]}{[\text{HAn}]}. \quad (4.16)$$

Так как  $[\text{An}^-] = [\text{H}^+]$  и  $[\text{HAn}] = C$ , то

$$K_d = [\text{H}^+]^2 / C; \quad (4.17)$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_d C},$$

где  $C$  – концентрация слабой кислоты, моль/л.

Для растворов слабых оснований

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_d C}, \quad (4.18)$$

где  $C$  – концентрация слабого основания, моль/л.

По значению константы диссоциации можно рассчитать степень диссоциации слабого электролита:

$$\alpha = \sqrt{K_d / C}.$$

Многоосновные кислоты диссоциируют ступенчато, например:  $\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons \text{HS}^- + \text{H}^+$  (1-я ступень);  $\text{HS}^- \rightleftharpoons \text{S}^{2-} + \text{H}^+$  (2-я ступень).

При расчетах pH обычно учитывают только первую ступень диссоциации, пренебрегая второй и третьей ступенями. Таким образом, уравнения (4.16) и (4.18) справедливы и для многоосновных кислот при использовании первой константы диссоциации  $K_{d1}$ .

Константы диссоциации некоторых слабых кислот и оснований даны в прил.1.

**Пример 10.** Вычислить pH раствора серной кислоты концентрацией 0,3 % ( $d = 1,0 \text{ г/см}^3$ ).

**Решение.** 1. Перейдем к моляльной концентрации серной кислоты. Для этого выделим мысленно 100 г раствора, тогда масса серной кислоты составит 0,3 г, а масса воды – 99,7 г. По уравнению (4.4) вычислим моляльную концентрацию:

$$C_{m(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,3}{98 \cdot 0,0997} = 0,031 \text{ моль/кг.}$$

2. Согласно уравнению диссоциации  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ , из 1 моль серной кислоты образуется 2 моль  $\text{H}^+$ , следовательно,  $[\text{H}^+] = 2C_{m(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 2 \cdot 0,031 = 0,062 \text{ моль/кг.}$

3. По уравнению (4.13) вычислим  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 0,062 = 1,21$ .

**Пример 11.** Вычислить pH раствора гидроксида бария концентрацией 0,0068 экв/л.

**Решение.** 1. По уравнению диссоциации  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2\text{OH}^-$  из 1 моль гидроксида бария образуется 2 моль гидроксил-ионов:

$$[\text{OH}^-] = 2C_{M(\text{Ba}(\text{OH})_2)} = C_{N(\text{Ba}(\text{OH})_2)} = 0,0068 \text{ моль/кг.}$$

2. По уравнению (4.13) найдем  $\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 0,0068 = 2,17$  и вычислим  $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 2,17 = 11,83$ .

**Пример 12.** Определить pH, если раствор одноосновной кислоты с  $\text{pH} = 5,5$  разбавлен в 100 раз.

**Решение.** По уравнению (4.14) найдем концентрацию ионов водорода в конечном растворе

$$[\text{H}^+]_2 = 10^{-7} + \frac{zC_K}{2n} = 10^{-7} + \frac{1 \cdot 10^{-5,5}}{2 \cdot 100} = 1,15 \cdot 10^{-7},$$

и вычислим

$$\text{pH}_2 = -\lg[\text{H}^+]_2 = -\lg 1,15 \cdot 10^{-7} = 6,9.$$

**Пример 13.** Определить значение pH при смешении 10 л раствора с  $\text{pH}_1 = 2$  и 17 л раствора с  $\text{pH}_2 = 4$ .

**Решение.** По уравнению (4.15) найдем концентрацию ионов водорода в конечном растворе

$$[\text{H}^+]_3 = \frac{10^{-\text{pH}_1} V_1 + 10^{-\text{pH}_2} V_2}{V_1 + V_2} = \frac{10^{-2} \cdot 10 + 10^{-4} \cdot 17}{10 + 17} = 4,6 \cdot 10^{-3}$$

и вычислим  $\text{pH}_3 = -\lg[\text{H}^+]_3 = -\lg(4,6 \cdot 10^{-3}) = 2,33$ .

**Пример 14.** Смешали 250 мл раствора с  $\text{pH} = 3$  и 300 мл раствора гидроксида калия концентрацией 0,001 моль/л. Определить pH полученной смеси.

**Решение.** Обозначим объемы смешиваемых растворов  $V_1$  и  $V_2$  соответственно. Найдем число молей  $\text{OH}^-$ :

$$n_{(\text{KOH})} = C_{M(\text{KOH})} V_2 = 0,001 \cdot 0,3 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Согласно уравнению диссоциации  $\text{KOH} \rightarrow \text{K}^+ + \text{OH}^-$ ,  $n_{(\text{KOH})} = n_{(\text{OH}^-)} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$

Найдем число молей  $\text{H}^+$ :

$$n_{(\text{H}^+)} = [\text{H}^+] V_1 = 10^{-\text{pH}} V_1 = 10^{-3} \cdot 0,25 = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Очевидно, что в избытке находятся гидроксил-ионы. Их остаточную концентрацию в полученном растворе найдем по уравнению

$$[\text{OH}^-]_3 = \frac{n_{(\text{OH}^-)} - n_{(\text{H}^+)}}{V_2 + V_1} = \frac{(3 - 2,5) \cdot 10^{-4}}{0,3 + 0,25} = 9,1 \cdot 10^{-5}.$$

Вычислим

$$\text{pH}_3 = 14 + \lg[\text{OH}^-]_3 = 14 + \lg(9,1 \cdot 10^{-5}) = 9,96.$$

**Пример 15.** Найти pH раствора борной кислоты с мольной долей 0,0025 ( $d_{\text{p-p}} = 1,0 \text{ г/см}^3$ ).

**Решение.** 1. Выделим мысленно 1 кг раствора. Запишем

$$m_{\text{p-p}} = m_1 + m_2 = n_1 M_1 + n_2 M_2,$$

где индекс 1 относится к растворителю, т.е. к воде, а индекс 2 – к растворенному веществу, т.е. к  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . Так как  $M_1 = 18$  г/моль,  $M_2 = 61,8$  г/моль и

$$x_2 = \frac{n_2}{n_2 + n_1} \Rightarrow n_1 = n_2 \frac{1 - x_2}{x_2} = n_2 \frac{1 - 0,0025}{0,0025} = 399n_2,$$

то

$$m_{p-p} = 399n_2M_1 + n_2M_2.$$

Вычислим

$$n_2 = \frac{m_{p-p}}{399M_1 + M_2} = \frac{1000}{399 \cdot 18 + 61,8} = 0,138 \text{ моль}.$$

2. Так как плотность раствора  $1$  г/см<sup>3</sup>, то его объем соответствует  $1$  л, и молярная концентрация численно равна количеству вещества борной кислоты, т.е.  $C_M(\text{H}_3\text{BO}_3) = 0,138$  моль/л.

3. Диссоциация борной кислоты по первой ступени протекает по реакции  $\text{H}_3\text{BO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{BO}_3^-$ , для которой константа диссоциации  $K_{d1} = 7,1 \cdot 10^{-10}$ . Второй и третьей ступенями диссоциации борной кислоты пренебрегаем.

4. В соответствии с уравнениями (4.17) и (4.13) вычислим

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{d1(\text{H}_3\text{BO}_3)} C_{M(\text{H}_3\text{BO}_3)}} = \sqrt{7,1 \cdot 10^{-10} \cdot 0,138} = 9,9 \cdot 10^{-6},$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(9,9 \cdot 10^{-6}) = 5.$$

**Пример 16.** Сколько граммов бутиламина содержится в  $1$  л его раствора, имеющего  $\text{pH} = 11,5$ ?

**Решение.** Гидрат бутиламина диссоциирует как основание по уравнению  $\text{C}_4\text{H}_9\text{NH}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{C}_4\text{H}_9\text{NH}_3^+ + \text{OH}^-$ . Константа диссоциации  $K_d = 4,57 \cdot 10^{-4}$ ,  $\text{p}K_d = 3,340$ , гидроксильный показатель  $\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 2,5$ .

По формуле (4.18) найдем молярную концентрацию бутиламина

$$\lg C_M = \text{p}K_d - 2\text{pOH} = 3,34 - 2 \cdot 2,5 = -1,66;$$

$$C_M = 10^{-1,66} = 0,022 \text{ моль/л}.$$

Масса бутиламина, содержащаяся в  $1$  л раствора,  $C_{г/л} = C_M M$ , где  $M$  – молярная масса бутиламина  $73$  г/моль. Тогда  $C_{г/л} = 0,022 \cdot 73 = 1,6$  г/л.

**Задание IV.** Определить  $\text{pH}$  предложенного раствора сильного электролита (табл.4.2).

Таблица 4.2

Номер задачи	Электролит	Концентрация раствора	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
215	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	0,07 %	1,00
216	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	0,5 %	1,003
217	$\text{H}_2\text{SO}_4$	0,01 мол. %	1,0
218	$\text{Sr}(\text{OH})_2$	$5 \cdot 10^{-4}$ н.	1,0
219	$\text{HCl}$	1,36 %	1,005
220	$\text{H}_2\text{SO}_4$	1,73 %	1,012
221	$\text{KOH}$	0,577 %	1,003
222	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$5 \cdot 10^{-4}$ М	1,0
223	$\text{KOH}$	0,001 н.	1,0
224	$\text{HClO}_4$	0,25 М	1,013
225	$\text{NaOH}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$ М	1,0
226	$\text{HCl}$	1,0 %	1,003
227	$\text{HNO}_3$	3 %	1,01
228	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	5 %	1,04
229	$\text{HCl}$	0,3 %	1,0
230	$\text{KOH}$	5,8 г/л	1,004

231	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,05 г/л	1,0
232	KOH	0,6 г/л	1,0
233	Ba(OH) <sub>2</sub>	0,1 М	1,02
234	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,1 н.	1,0
235	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,5 %	1,0
236	NaOH	0,5 %	1,0
237	HCl	0,01 н.	1,0
238	Ca(OH) <sub>2</sub>	0,02 н.	1,0
239	KOH	4 г/л	1,0
240	NaOH	5 г/л	1,0
241	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,005 М	1,0
242	HCl	0,006 М	1,0
243	LiOH	0,8 г/л	1,0
244	NaOH	0,1 г/л	1,0
245	RbOH	1 %	1,0
246	CsOH	0,5 %	1,0
247	HCl	0,02 мол. %	1,0
248	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,6 %	1,003
249	HNO <sub>3</sub>	0,7 мол. %	1,0
250	HClO <sub>4</sub>	0,08 мол. %	1,0
251	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,3 %	1,001

Окончание табл.4.2

Номер задачи	Электролит	Концентрация раствора	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
252	HNO <sub>3</sub>	0,05 г/л	1,0
253	HNO <sub>3</sub>	0,6 г/л	1,0
254	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,03 н.	1,0
255	Ca(OH) <sub>2</sub>	0,03 %	1,00
256	Sr(OH) <sub>2</sub>	0,3 %	1,001
257	Ba(OH) <sub>2</sub>	0,05 г/л	1,0
258	HCl	0,2 %	1,0
259	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,0012 М	1,0
260	HNO <sub>3</sub>	0,06 г/л	1,0
261	Ba(OH) <sub>2</sub>	0,1 г/л	1,0
262	Sr(OH) <sub>2</sub>	0,02 н.	1,0
263	Ca(OH) <sub>2</sub>	0,09 г/л	1,0
264	CsOH	0,5 %	1,002

**Задание V.** Определить pH следующих растворов.

265. Раствор гидроксида бария концентрацией 0,1 моль/л, если к 1 л этого раствора добавили 7,1 г гидроксида натрия.

266. Раствор серной кислоты концентрацией 0,1 моль/л, если к 1 л этого раствора добавили 7,1 г гидроксида бария.

267. Раствор после выщелачивания боксита по следующим данным: масса руды 1 т;  $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 80\%$ ;  $V(\text{NaOH}) = 3,1 \text{ м}^3$ ;  $\omega(\text{NaOH}) = 15\%$ .

268. 10-процентный раствор соляной кислоты ( $d = 1,047 \text{ г/мл}$ ) при условии, что к 20 л этого раствора прибавили 5 м<sup>3</sup> воды, содержащей гидроксид кальция концентрацией 0,02 экв/л.

269. Раствор, содержащий 4 г KOH и 5 г NaOH в 1 л воды.

270. Раствор, содержащий 0,005 моль/л серной кислоты и 0,006 моль/л соляной кислоты.

271. Раствор после выщелачивания по реакции  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Li}_2\text{SO}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \downarrow$ , если масса руды 1 т,  $\omega(\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2) = 70\%$ ;  $V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4 \text{ м}^3$ ;  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5\%$ ,  $d = 1,032 \text{ г/мл}$ .

272. Раствор после выщелачивания руды, если масса руды 1 т, в руде содержится 6 %  $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ ;  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3\%$ ,  $d = 1,03 \text{ г/мл}$ ,  $V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 3 \text{ м}^3$ .

273. Раствор, полученный при разбавлении 20 л 10 % соляной кислоты ( $d = 1,047 \text{ г/мл}$ ) пятью кубометрами воды.

274. Рассчитать pH раствора азотнокислых стоков, если 10 л 5-процентной азотной кислоты сброшены в резервуар емкостью 5 м<sup>3</sup>.

275. Раствор соляной кислоты, если к 100 мл этого раствора, содержащего 5 мг HCl, прибавили 5 мг нитрата свинца (II).

276. Раствор объемом 10 м<sup>3</sup>, содержащий по 50 г серной и дихромовой кислот.

277. Щелочные стоки объемом 5 л, содержащие 2 мэкв щелочи.

278. Раствор дихромовой кислоты, если в нем содержится 2 мг/мл Cr (VI).

**Задание VI.** Определить pH и степень диссоциации предложенного раствора слабого электролита при температуре 25 °С (табл.4.3.)

Таблица 4.3

Номер задачи	Электролит	Концентрация раствора	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
279	NH <sub>4</sub> OH	2 %	0,989
280	CH <sub>3</sub> COOH	0,12 %	1,0
281	HCOOH	4,5 %	1,01
282	CH <sub>3</sub> COOH	2 %	1,001
283	NH <sub>4</sub> OH	2,35 %	0,988
284	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>3</sub> OH	93,02 г/л	-
285	N <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	5 %	1,01
286	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	5 %	1,02
287	HCOOH	0,5 %	-
288	CH <sub>3</sub> COOH	0,65 %	-
289	HNO <sub>2</sub>	0,8 %	-
290	HCN	2,7 %	1,01
291	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	9,4 г/л	-
292	NH <sub>4</sub> OH	0,1 %	-
293	HCN	8 %	1,04
294	HCOOH	2,3 %	1,005
295	CH <sub>3</sub> COOH	1 %	-

Окончание табл.4.3

Номер задачи	Электролит	Концентрация раствора	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
296	NH <sub>4</sub> OH	0,34 %	1,0
297	HCOOH	3 %	1,007
298	H <sub>2</sub> S	0,32 н.	-
299	NH <sub>4</sub> OH	0,5 %	1,0
300	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1 %	1,005
301	C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> NHOH	3 г/л	-
302	Лимонная кислота	120 г/л	-
303	Бензойная кислота	2 %	1,003
304	N <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	0,5 %	-
305	HCOOH	4 %	1,01
306	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>3</sub> OH	0,56 г/л	-
307	CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> OH	24,5 г/л	-
308	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NH <sub>3</sub> OH	23,1 г/л	-
309	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> NH <sub>3</sub> OH	13,65 г/л	-
310	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> NHOH	1 г/л	-
311	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>3</sub> OH	0,5 г/л	-
312	HNO <sub>2</sub>	2 %	1,01
313	Винная кислота	1 %	1,02
314	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	5 %	1,03
315	HBrO	0,1 %	1,0
316	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	10 %	1,04
317	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	6,5 г/л	-
318	H <sub>2</sub> S	10 г/л	-
319	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	8 %	1,05
320	HF	6 %	1,03
321	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> OH	5 г/л	-
322	NH <sub>2</sub> OH·H <sub>2</sub> O	6,2 г/л	-
323	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1,5 %	1,01
324	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> OH	2 г/л	-
325	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> OH	2,8 г/л	-

326	$(\text{CH}_3)_3\text{NHOH}$	3 г/л	-
327	$\text{C}_2\text{H}_5\text{ONH}_3\text{OH}$	1,6 г/л	-
328	$\text{CS}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	20 г/л	-

**Задание VII.** По заданному значению pH (табл.4.4) определить концентрацию предложенного раствора электролита при температуре 25 °С и выразить ее всеми возможными способами (считать, что плотность растворов 1 г/см<sup>3</sup>).

Таблица 4.4

Номер задачи	Электролит	pH	Номер задачи	Электролит	pH
329	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	11,0	354	$\text{HClO}_4$	2,35
330	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	11,8	355	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	13,8
331	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	12,8	356	$\text{H}_2\text{SO}_4$	1,2
332	$\text{KOH}$	13,1	357	$\text{HCl}$	1,28
333	$\text{H}_2\text{SO}_4$	1,95	358	$\text{HNO}_3$	3,1
334	$\text{NaOH}$	12,0	359	$\text{KOH}$	13,6
335	$\text{Sr}(\text{OH})_2$	10,7	360	$\text{HNO}_3$	2,03
336	$\text{H}_2\text{SO}_4$	2,2	361	$\text{H}_2\text{SO}_4$	3,2
337	$\text{HCl}$	1,2	362	$\text{H}_2\text{SO}_4$	1,5
338	$\text{HCl}$	2,8	363	$\text{KOH}$	12,03
339	$\text{H}_2\text{SO}_4$	1,4	364	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	10,9
340	$\text{LiOH}$	12,5	365	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	13,3
341	$\text{KOH}$	13,0	366	$\text{Sr}(\text{OH})_2$	10,7
342	$\text{NaOH}$	11,4	367	$\text{H}_2\text{SO}_4$	1,9
343	$\text{H}_2\text{SO}_4$	3,0	368	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	11,8
344	$\text{RbOH}$	13,0	369	$\text{H}_2\text{SO}_4$	1,49
345	$\text{KOH}$	11,2	370	$\text{HCl}$	3,26
346	$\text{CsOH}$	12,5	371	$\text{NaOH}$	12,1
347	$\text{HClO}_4$	1,6	372	$\text{H}_2\text{SO}_4$	2,6
348	$\text{HCl}$	1,95	373	$\text{HCl}$	2,3
349	$\text{NaOH}$	11,5	374	$\text{HNO}_3$	3,03
350	$\text{H}_2\text{SO}_4$	1,91	375	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	11,4
351	$\text{HCl}$	1,56	376	$\text{Ba}(\text{OH})_2$	11,1
352	$\text{HNO}_3$	1,41	377	$\text{CsOH}$	11,8
353	$\text{HNO}_3$	1,32	378	$\text{Sr}(\text{OH})_2$	12,3

**Задание VIII.** По значению pH определить концентрацию предложенного раствора слабого электролита и выразить ее всеми возможными способами (табл.4.5).

Таблица 4.5

Номер задачи	Электролит	pH	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
379	$\text{NH}_4\text{OH}$	11,5	0,989
380	$\text{CH}_3\text{COOH}$	3,23	1,0
381	$\text{HCOOH}$	1,9	1,01
382	$\text{CH}_3\text{COOH}$	2,6	1,001
383	$\text{NH}_4\text{OH}$	13,5	0,988
384	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3\text{OH}$	9,3	1,01
385	$\text{N}_2\text{H}_5\text{OH}$	10,1	1,01
386	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	5,1	1,02
387	$\text{HCOOH}$	2,0	1,001
388	$\text{CH}_3\text{COOH}$	2,9	1,0
389	$\text{HNO}_2$	1,9	1,0
390	$\text{HCN}$	4,6	1,01
391	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	5,5	1,002

392	NH <sub>4</sub> OH	10,8	1,002
393	HCN	4,4	1,04
394	HCOOH	2,05	1,005
395	CH <sub>3</sub> COOH	2,8	1,0
396	NH <sub>4</sub> OH	11,1	1,0
397	HCOOH	2,9	1,007
398	H <sub>2</sub> S	3,9	1,0
399	NH <sub>4</sub> OH	12,0	1,0
400	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1,6	1,005
401	C <sub>9</sub> H <sub>7</sub> NHOH	8,7	1,0
402	Лимонная кислота	1,7	1,0
403	Бензойная кислота	2,5	1,003
404	N <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	10,6	1,001
405	HCOOH	3,5	1,0
406	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>3</sub> OH	8,1	1,001
407	CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> OH	12,2	1,001

Окончание табл.4.5

Номер задачи	Электролит	pH	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
408	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NH <sub>3</sub> OH	12,1	1,002
409	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> NH <sub>3</sub> OH	11,9	1,0
410	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> NHOH	10,92	1,0
411	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>3</sub> OH	8,6	1,0
412	HNO <sub>2</sub>	1,2	1,01
413	Винная кислота	2,03	1,02
414	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	4,7	1,03
415	HBrO	4,6	1,01
416	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	4,9	1,04
417	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	5,6	1,001
418	H <sub>2</sub> S	3,7	1,0
419	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3,1	1,05
420	HF	1,4	1,03
421	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> OH	11,0	1,003
422	NH <sub>2</sub> OH·H <sub>2</sub> O	10,4	1,0
423	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	4,5	1,01
424	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> OH	11,3	1,002
425	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> NH <sub>2</sub> OH	11,7	1,0
426	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> NHOH	11,2	1,0
427	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ONH <sub>3</sub> OH	10,9	1,0
428	CS(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	9,0	1,01

**Задание IX.** Определить pH при смешивании двух растворов электролитов (табл.4.6).

Таблица 4.6

Номер задачи	Первый раствор		Второй раствор	
	Объем, л	pH	Объем, л	pH
429	0,3	7,54	6,23	0,2
430	0,75	4,07	5,16	0,55
431	1,5	2,48	11,31	1,0
432	2,5	3,16	10,05	1,5
433	0,25	9,58	10,11	0,25
434	1,0	2,56	11,03	1,5

Окончание табл.4.6

Номер задачи	Первый раствор		Второй раствор	
	Объем, л	pH	Объем, л	pH
435	1,2	4,73	5,12	1,3
436	3,0	1,25	12,32	2,0

437	1,5	12,76	13,05	1,5
438	0,5	8,76	6,15	1,0
439	0,2	4,11	5,09	0,3
440	2,2	3,35	8,65	0,3
441	1,25	5,25	6,08	2,25
442	0,35	10,17	4,47	0,16
443	0,65	2,78	9,13	0,85
444	0,25	6,82	5,47	0,75
445	0,5	1,76	2,15	2,5
446	1,5	11,83	10,48	2,5
447	0,5	12,73	2,27	1,25
448	15,0	2,17	4,21	3,0
449	5,0	2	4	200,0
450	400,0	9	11	12
451	5,0	2,31	4,18	7,2
452	2,1	10,81	9,48	10,5
453	10,1	9,2	13	11,2
454	0,2	5,48	6,08	12,8
455	15,0	3,4	5,8	17,0
456	12,3	13,8	10,54	20,5
457	0,3	1,8	9,3	5,4
458	1,44	7,5	8,5	14,4

**Задание X.** Решить задачи.

459. Смешали 10 л соляной кислоты концентрацией 3,65 г/л и 15 л гидроксида натрия концентрацией 2 г/л. Определить рН полученного раствора.

460. Найти объем раствора с рН = 3,8, если после добавления к нему 0,6 л раствора с рН = 10,5 образовался раствор с рН = 4,2.

461. Вычислить объем раствора 0,005 М соляной кислоты, если после добавления к нему 0,5 л раствора гидроксида бария концентрацией 0,003 моль/л получился раствор с рН = 4,03.

462. Определить объем раствора с рН = 10,13, если после добавления к нему 30 л раствора с рН = 9,76 образовался раствор с рН = 9,92.

463. Смешали 40 м<sup>3</sup> раствора с рН = 6,7 и 2000 л раствора с рН = 8,3. Определить рН раствора после смешивания.

464. Определить объем раствора с рН = 13,4, если после добавления к нему 40000 л раствора с рН = 4,8 образовался раствор с рН = 8,5.

465. Определить рН раствора, если к 40 л раствора с рН = 6,7 добавили 2 л раствора с рН = 8,3.

466. Смешали 2 л серной кислоты концентрацией 0,01 моль/л и 3 л щелочи с рН = 12,5. Определить рН полученного раствора.

467. Определить объем раствора с рН = 11,3, если после добавления к нему 0,2 л раствора с рН = 2,9 и 0,5 л раствора с рН = 3,5 образовался раствор с рН = 4,1.

468. Определить объем раствора с рН = 2,14, если после добавления к нему 1,75 л раствора с рН = 11,85 образовался раствор с рН = 10,23.

469. Смешали 0,2 л 0,5 н. HCl и 0,3 л 0,3 М NaOH. Определить рН раствора после смешивания.

470. Определить объем раствора с рН = 10,13, если после добавления к нему 30 л раствора с рН = 9,76 образовался раствор с рН = 9,92.

471. Определить объем раствора с рН = 3,4, если после добавления к нему 9,8 л раствора с рН = 9,8 образовался раствор с рН = 4,6.

472. Определить рН раствора после смешивания 200 мл 0,5 н. раствора серной кислоты и 300 мл раствора едкого натра с концентрацией 0,3 моль/л.

473. Смешали 100 мл 0,015 н. раствора и 100 мл 0,09 н. раствора серной кислоты. Рассчитать рН полученного раствора.

474. Смешали 20 мл 0,5 н. раствора соляной кислоты и 10 мл 0,2 н. раствора гидроксида бария. Найти рН полученного раствора.

475. К 100 мл 0,2-процентного раствора едкого натра (NaOH) прибавили 200 мл 0,1-процентного раствора NaOH. Рассчитать рН полученного раствора.

476. К 200 мл 0,7 н. раствора серной кислоты прибавили 300 г воды. Рассчитать конечную концентрацию серной кислоты и определить рН раствора.

477. Смешали 54 мл 0,5-процентного раствора NaOH и 10 мл 0,2-процентного раствора NaOH. Рассчитать концентрацию полученного раствора и определить его рН.

478. Каким будет рН раствора, если к 500 мл 0,3-процентного раствора KOH прибавить 500 мл воды?

479. Смешали 4 мл серной кислоты концентрацией 0,46 % и 200 мл серной кислоты концентрацией 0,001 моль/л. Рассчитать рН полученного раствора.

480. Смешали 8 л раствора соляной кислоты концентрацией 0,04 моль/л и 11 л раствора ее же концентрацией 2 г/л. Рассчитать рН полученного раствора.

481. К раствору объемом 30 мл, содержащему 0,109 г серной кислоты в 100 мл раствора, прибавили 40 мл раствора NaOH, содержащего 0,098 г гидроксида натрия в 100 мл раствора. Найти концентрацию (в молях на литр) того вещества, которое останется в избытке, и вычислить рН полученного раствора.

482. Смешали 10 мл 0,12-процентного раствора HCl и 10 мл 0,076-процентного раствора HCl. Рассчитать процентную концентрацию и рН полученного раствора.

483. К 10 мл 6-процентного раствора соляной кислоты плотностью 1,03 г/см<sup>3</sup> прибавили 10 мл 1-процентного раствора гидроксида бария плотностью 1,0 г/см<sup>3</sup>. Вычислить рН образующегося раствора.

**Задание XI.** Определить рН раствора после разведения (табл.4.7).

Таблица 4.7

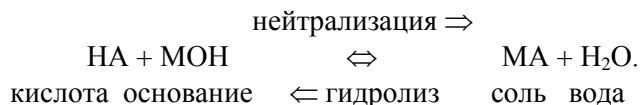
	Номер задачи	рН исходного раствора	Разведение в <i>n</i> раз	Номер задачи	рН исходного раствора	Разведение в <i>n</i> раз
484	10,32	50	489	11,47	250	
485	2,17	120	490	1,55	115	
486	1,51	50	491	13,44	450	
487	2,42	100	492	12,7	170	
488	3,25	300	493	3,45	65	

Окончание табл.4.7

	Номер задачи	рН исходного раствора	Разведение в <i>n</i> раз	Номер задачи	рН исходного раствора	Разведение в <i>n</i> раз
494	1,48	500	519	4,22	500	
495	2,5	255	520	7,50	120	
496	3,13	125	521	5,50	120	
497	4,85	99	522	4,93	350	
498	5,0	20	523	7,93	350	
499	3,5	68	524	8,15	10	
500	2,38	654	525	6,12	110	
501	1,15	342	526	5,22	450	
502	3,0	25	527	5,5	350	
503	2,25	15	528	7,72	65	
504	14,0	151	529	6,72	650	
505	13,5	182	530	6,82	50	
506	12,85	244	531	3,82	525	
507	11,12	58	532	6,0	100	
508	10,48	18	523	8,0	145	
509	9,54	10	524	5,0	650	
510	8,99	33	525	5,72	450	
511	10,95	100	526	6,02	100	
512	12,96	200	527	8,02	100	
513	7,93	85	528	13,99	300	
514	8,02	100	529	6,02	50	
515	5,02	100	540	5,02	250	
516	5,75	300	541	7,76	150	
517	6,75	320	542	4,76	150	
518	8,22	500	543	5,93	85	

#### 4.4. Гидролиз

**Гидролиз** – процесс разложения химических соединений в результате реакции с водой. Гидролиз соли – это реакция, обратная процессу образования соли путем нейтрализации кислоты основанием:

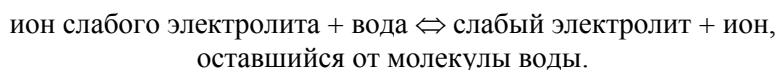


Гидролизуются только соли, содержащие в своем составе ионы слабых электролитов: слабой кислоты или слабого основания.

**Правила составления уравнений гидролиза** следующие:

1. Записывают уравнение диссоциации соли.
2. Определяют ион слабого электролита, который может гидролизироваться. Ионов сильных кислот и оснований сравнительно немного, наиболее распространенные следует запомнить: анионы  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ , катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и других щелочных металлов, а также  $\text{Ba}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$ . *Перечисленные ионы не гидролизуются!* Все остальные ионы, за редким исключением, образуют слабые электролиты и гидролизуются.

3. Составляют ионное уравнение гидролиза по схеме:



4. Записывают молекулярное уравнение гидролиза, добавляя к ионам противоионы.

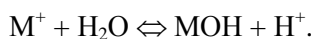
В зависимости от состава соли различают следующие типы гидролиза:

- Гидролиз соли, образованной сильным основанием и слабой кислотой. Гидролизуется анион слабой кислоты.



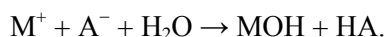
В растворе появляются ионы  $\text{OH}^-$ , поэтому среда – щелочная,  $\text{pH} > 7$ .

Гидролиз соли, образованной слабым основанием и сильной кислотой. Гидролизуется катион слабого основания.



В растворе появляются ионы  $\text{H}^+$ , поэтому среда кислая,  $\text{pH} < 7$ .

- Гидролиз соли, образованной двумя слабыми электролитами. Гидролиз протекает как по катиону, так и по аниону



Образующиеся слабая кислота и основание диссоциируют в разной степени, поэтому среда в растворе зависит от их относительной силы. Если кислота сильнее, то ее константа диссоциации больше и среда слабокислая. Если сильнее основание, то среда слабощелочная.

**Количественные характеристики гидролиза** – константа и степень гидролиза. В большинстве случаев константа гидролиза  $K_h$  не превышает  $10^{-3}$  и гидролиз солей, образованных одним слабым электролитом, протекает в малой степени. Гидролиз многозарядных ионов в основном проходит по первой ступени. От значения константы гидролиза зависит pH раствора соли.

Степень гидролиза  $\beta$  (аналогично степени диссоциации) называют отношение числа гидролизованных ионов к общему числу ионов слабого электролита в растворе.

Вычисление количественных характеристик гидролиза производится в зависимости от того, как образована соль:

- Соль образована одним слабым электролитом. Константа гидролиза

$$K_{h1} = K_w / K_{dn}, \quad (4.20)$$

где  $K_{h1}$  – константа гидролиза по первой ступени,  $K_w$  – ионное произведение воды, при 298 К  $K_w = 10^{-14}$ ;  $K_{dn}$  – константа диссоциации продукта гидролиза.

Константы диссоциации гидроксокомплексов металлов называют ступенчатыми константами нестойкости, их значения даны в справочнике в таблице констант нестойкости гидроксокомплексов (прил.2).

Степень гидролиза связана с константой гидролиза уравнением

$$\beta = \sqrt{K_{hl} / C},$$

где  $C$  – концентрация гидролизующегося иона, моль/кг.

В растворах солей, гидролизующихся по аниону, среда щелочная (см. уравнение (67)) и расчет pH ведут по формуле:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_{hl} C}.$$

В растворах солей, гидролизующихся по катиону, среда кислая, согласно уравнению (4.19), и расчет pH ведут по формуле

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_{hl} C}.$$

- Соль образована двумя слабыми электролитами. Константа гидролиза

$$K_h = K_W / K_{\text{осн}} K_k, \quad (4.21)$$

где  $K_{\text{осн}}$  и  $K_k$  – константы диссоциации основания и кислоты, образующих соль. Формула (4.21) служит для расчета константы гидролиза по табличным значениям констант диссоциации.

Степень гидролиза

$$\beta = \sqrt{K_h} / (1 + \sqrt{K_h}).$$

Отношение концентраций ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  в растворе соли определяется относительной силой кислоты и основания:

$$\frac{[\text{H}^+]}{[\text{OH}^-]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{K_W} = \sqrt{\frac{K_k}{K_{\text{осн}}}},$$

где  $K_k$  и  $K_{\text{осн}}$  – константы диссоциации слабых кислоты и основания, которыми образована соль.

Таким образом, при 298 К ( $K_W = 10^{-14}$ ):

$$[\text{H}^+] = 10^{-7} \sqrt[4]{\frac{K_k}{K_{\text{осн}}}}$$

или

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{4}(\text{p}K_k - \text{p}K_{\text{осн}}).$$

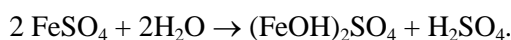
Константа и степень гидролиза у соли, образованной двумя слабыми электролитами, значительно выше, чем у солей, образованных одним слабым электролитом.

**Пример 17.** Составить молекулярное и ионное уравнения гидролиза, указать характер среды для сульфата железа (II).

**Решение.** Напишем уравнение диссоциации соли:  $\text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ . Определим сильный и слабый электролиты. Иону  $\text{Fe}^{2+}$  соответствует слабое основание  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , иону  $\text{SO}_4^{2-}$  – сильная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Следовательно, гидролиз идет по катиону.

Составим ионное уравнение гидролиза (по первой ступени):  $\text{Fe}^{2+} + \text{HON} \rightarrow \text{FeOH}^+ + \text{H}^+$ . В ходе гидролиза образуются ионы  $\text{H}^+$ , среда кислая.

Составим молекулярное уравнение гидролиза и уравняем его как обычную реакцию обмена:

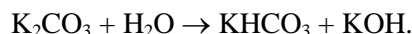


**Пример 18.** Составить молекулярное и ионное уравнения гидролиза, указать характер среды для карбоната калия.

**Решение.** Напишем уравнение диссоциации соли:  $\text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{K}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ . Определим сильный и слабый электролиты. Иону  $\text{K}^+$  соответствует сильное основание  $\text{KOH}$ , иону  $\text{CO}_3^{2-}$  – слабая кислота  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Следовательно, гидролиз идет по аниону.

Составим ионное уравнение гидролиза (по первой ступени):  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HON} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ .  
В ходе гидролиза образуются ионы  $\text{OH}^-$ , среда в растворе щелочная.

Составим молекулярное уравнение гидролиза и уравняем его как обычную реакцию обмена:

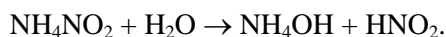


**Пример 19.** Составить молекулярное и ионное уравнения гидролиза, указать характер среды для нитрита аммония.

**Решение.** Напишем уравнение диссоциации соли:  $\text{NH}_4\text{NO}_2 \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^-$ . Определим сильный и слабый электролит. Иону  $\text{NH}_4^+$  соответствует слабое основание  $\text{NH}_4\text{OH}$ , иону  $\text{NO}_2^-$  – слабая кислота  $\text{HNO}_2$ . Следовательно, гидролиз идет как по катиону, так и по аниону. Составим ионное уравнение гидролиза:



Составим молекулярное уравнение гидролиза и уравняем его как обычную реакцию обмена:



**Пример 20.** Вычислить pH раствора сульфата аммония концентрацией 0,1 моль/л.

**Решение.** Составим ионное уравнение гидролиза:  $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4\text{OH} + \text{H}^+$ . Значение константы диссоциации гидроксида аммония  $K_d = 1,76 \cdot 10^{-5}$ . Вычислим константу гидролиза

$$K_h = \frac{K_W}{K_d} = \frac{10^{-14}}{1,76 \cdot 10^{-5}} = 5,68 \cdot 10^{-10}.$$

Найдем концентрацию ионов аммония. Согласно уравнению диссоциации сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{NH}_4^+ + \text{SO}_4^{2-}$ ,

$$C_{M(\text{NH}_4^+)} = 2C_{M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)} = 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ моль/л}.$$

Вычислим концентрацию ионов

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_h C_{M(\text{NH}_4^+)}} = \sqrt{5,68 \cdot 10^{-10} \cdot 0,2} = 1,066 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

и

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(1,066 \cdot 10^{-5}) = 4,97.$$

**Пример 21.** Вычислить степень гидролиза карбоната натрия в растворе с pH = 12.

**Решение.** Составим ионное уравнение гидролиза:  $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ . Вторая константа диссоциации угольной кислоты  $K_{d2} = 4,69 \cdot 10^{-11}$ . Первая константа гидролиза по уравнению (4.20)

$$K_{h1} = \frac{K_W}{K_{d2}} = \frac{10^{-14}}{4,69 \cdot 10^{-11}} = 2,13 \cdot 10^{-4}.$$

Из формулы  $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_h C_{M(\text{CO}_3^{2-})}}$  найдем концентрацию карбонат-иона

$$C_{M(\text{CO}_3^{2-})} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K_h} = \frac{10^{-4}}{2,13 \cdot 10^{-4}} = 0,47 \text{ моль/л},$$

где  $[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-(14-12)} = 10^{-2}$ .

Вычислим степень гидролиза

$$\beta = \sqrt{\frac{K_h}{C_{M(\text{CO}_3^{2-})}}} = \sqrt{\frac{2,13 \cdot 10^{-4}}{0,47}} = 4,53 \cdot 10^{-4} = 0,045\%.$$

**Задание XII.** Составить молекулярные и ионные уравнения гидролиза, указать характер среды.

544. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$	567. $\text{HCOOK}$	590. $\text{NaCN}$
545. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$	568. $\text{HCOONH}_4$	591. $\text{NaH}_2\text{PO}_4$
546. $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	569. $\text{K}_2\text{SiO}_3$	592. $\text{NaHCO}_3$
547. $(\text{ZnOH})_2\text{SO}_4$	570. $\text{K}_2\text{SO}_3$	593. $\text{NaI}$
548. $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	571. $\text{K}_3\text{AsO}_4$	594. $\text{NaNO}_2$
549. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	572. $\text{KClO}_4$	595. $\text{NH}_4\text{Cl}$
550. $\text{Al}_2\text{S}_3$	573. $\text{KCN}$	596. $\text{NH}_4\text{CNS}$
551. $\text{AlCl}_3$	574. $\text{KH}_2\text{AsO}_4$	597. $\text{NH}_4\text{HCO}_3$
552. $\text{Be}(\text{NO}_3)_2$	575. $\text{KHCO}_3$	598. $\text{NH}_4\text{NO}_2$
553. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	576. $\text{KMnO}_4$	599. $\text{NiSO}_4$
554. $\text{CdCl}_2$	577. $\text{LiCN}$	600. $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$
555. $\text{CH}_3\text{COONH}_4$	578. $\text{MgCl}_2$	601. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
556. $\text{CoCl}_2$	579. $\text{MgSO}_4$	602. $\text{PtCl}_4$
557. $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$	580. $\text{MnCl}_2$	603. $\text{Rb}_2\text{S}$
558. $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$	581. $\text{Na}_2\text{CO}_3$	604. $\text{Rb}_3\text{PO}_4$
559. $\text{CrCl}_3$	582. $\text{Na}_2\text{HAsO}_4$	605. $\text{Rb}_3\text{SbO}_4$
560. $\text{Cs}_2\text{SO}_4$	583. $\text{Na}_2\text{S}$	606. $\text{SbCl}_3$
561. $\text{CsF}$	584. $\text{Na}_2\text{SiO}_3$	607. $\text{SnCl}_2$
562. $\text{CuSO}_4$	585. $\text{Na}_2\text{WO}_4$	608. $\text{SnBr}_2$
563. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	586. $\text{Na}_3\text{PO}_4$	609. $\text{SnSO}_4$
564. $\text{FeCl}_3$	587. $\text{NaAlO}_2$	610. $\text{SrSO}_3$
565. $\text{FeBr}_3$	588. $\text{NaCl}$	611. $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$
566. $\text{Ga}(\text{NO}_3)_3$	589. $\text{NaClO}_4$	612. $\text{ZnBr}_2$

**Задание XIII.** Написать в молекулярном и ионном виде реакции взаимоусиления гидролиза

613. Ацетат меди + сульфит лития.
614. Ацетат свинца + карбонат натрия.
615. Ацетат цинка + сульфит натрия.
616. Нитрат алюминия + карбонат натрия.
617. Нитрат висмута + сульфид калия.
618. Нитрат железа (III) + сульфид рубидия.
619. Нитрат свинца + карбонат стронция.
620. Нитрат серебра + карбонат натрия.
621. Нитрат хрома (III) + сульфид калия.
622. Сульфат алюминия + сульфид натрия.
623. Сульфат бария + сульфит цезия.
624. Сульфат кобальта + карбонат калия.
625. Сульфат олова + карбонат цезия.
626. Формиат алюминия + карбонат натрия.
627. Формиат меди + сульфит лития.
628. Формиат цинка + сульфид лития.
629. Фторид алюминия + карбонат калия.
630. Хлорид железа (II) + сульфид натрия.
631. Хлорид магния + сульфит рубидия.
632. Хлорид марганца + сульфит натрия.
633. Хлорид никеля + карбонат цезия.

**Задание XIV.** Найти неизвестные величины в предложенных задачах, дополнив табл.4.8.

Таблица 4.8

Номер задачи	Электролит	Концентрация раствора	pH	$\beta$	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
634	$\text{Na}_2\text{SO}_3$	0,008 М	?	?	-
635	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	?	5,25	?	-
636	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,006 н.	?	?	-
637	$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$	0,02 М	?	?	-
638	$\text{Na}_3\text{PO}_4$	0,02 М	?	?	-
639	$\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa}$	?	?	5 %	-
640	$\text{Na}_2\text{S}$	0,03 М	?	?	-

641	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	?	5,48	?	-
642	NaNO <sub>2</sub>	0,02 н.	?	?	-
643	K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,008 М	?	?	-
644	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OK	?	?	0,02 %	-
645	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	?	7,5	?	-
646	[NH <sub>3</sub> OH]Cl	?	5,5	?	-
647	Na <sub>2</sub> S	0,01 М	?	?	-
648	ZnSO <sub>4</sub>	2 %	?	?	1,019
649	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	?	11,2	?	-
650	(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Ba	0,005 М	?	?	-

Окончание табл.4.8

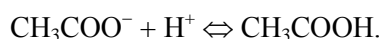
Номер задачи	Электролит	Концентрация раствора	pH	β	Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>
651	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,03 н.	?	?	-
652	CdSO <sub>4</sub>	3 %	?	?	1,028
653	KCN	0,02 М	?	?	-
654	CuSO <sub>4</sub>	0,1 М	?	?	-
655	ZnCl <sub>2</sub>	?	5,84	?	-
656	Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,02 М	?	?	-
657	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,03 М	?	?	-
658	HCOONa	0,02 М	?	?	-
659	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	?	?	0,5 %	-
660	CdSO <sub>4</sub>	?	5,6	?	-
661	NaBO <sub>2</sub>	1 г/л	?	?	-
662	NaNO <sub>2</sub>	5 %	?	?	1,01
663	NH <sub>4</sub> Cl	?	5,48	?	-
664	ZnCl <sub>2</sub>	2 %	?	?	1,016
665	CH <sub>3</sub> COONa	0,01 М	?	?	-
666	HCOONa	1 %	?	?	1,03
667	NH <sub>4</sub> Cl	%	5,63	?	1,02
668	KCN	0,002 н.	?	?	-
669	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OK	0,2 М	?	?	-
670	HCOOK	1 мол. %	?	?	1,02
671	CH <sub>3</sub> COONa	?	8,72	?	-
672	NH <sub>4</sub> Cl	?	5,41	?	-
673	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ONa	?	?	5,6 %	-
674	HCOONa	0,01 н.	?	?	-
675	NH <sub>4</sub> CN	?	9,175	?	-
676	CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	?	?	0,563 %	-
677	CrCl <sub>3</sub>	2 %	?	?	1,014
678	Na <sub>2</sub> Se	11,36 %	?	?	1,1
679	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	1 г/л	?	?	-
680	Na <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1 г/л	?	?	-
681	K <sub>2</sub> GeO <sub>3</sub>	18,22 %	?	?	1,1
682	NaBrO	1 М	?	?	-
683	CoCl <sub>2</sub>	2,6 %	?	?	1,02

#### 4.5. Равновесия в буферных растворах

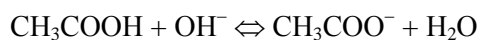
**Буферные** растворы – растворы, способные поддерживать определенное значение pH при разбавлении, а также при добавлении некоторых количеств сильной кислоты или щелочи. Буферное действие основано на связывании добавляемых ионов H<sup>+</sup> или OH<sup>-</sup> в молекулы малодиссоциированных соединений.

Различают следующие типы буферных растворов:

- Смесь слабой кислоты и ее соли (например, уксусная кислота  $\text{CH}_3\text{COOH}$  + ацетат натрия  $\text{NaCH}_3\text{COO}$ ). При добавлении сильной кислоты к этому раствору анионы соли связывают ионы  $\text{H}^+$  в молекулы малодиссоциированной уксусной кислоты:



При добавлении щелочи протекает реакция нейтрализации:



и раствор имеет

$$\text{pH} = \text{p}K_d + \lg \frac{C_c}{C_k},$$

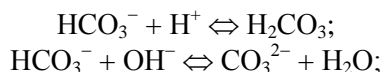
где  $\text{p}K_d$  – показатель константы диссоциации слабой кислоты,  $\text{p}K_d = -\lg K_d$ ;  $C_c$  и  $C_k$  – концентрации соли и кислоты соответственно, моль/л.

- Смесь средней и кислой соли или двух кислых солей слабой многоосновной кислоты (например,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$  или  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NaH}_2\text{PO}_4$ ). Анионы кислой соли реагируют подобно слабой кислоте:

$$\text{pH} = \text{p}K_d + \lg \frac{C_c}{C_k}, \quad (4.22)$$

где  $C_c$  и  $C_k$  – концентрации кислой и средней соли соответственно, моль/л.

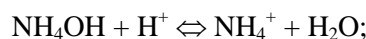
- Кислые соли слабых многоосновных кислот, при добавлении к растворам которых сильных кислот или щелочей, протекают аналогичные реакции:



$$\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{d1} + \text{p}K_{d2}),$$

где  $\text{p}K_n$  – показатель константы диссоциации кислоты по соответствующей ступени.

- Смесь слабого основания и его соли (например,  $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$ ). Буферное действие основано на реакциях

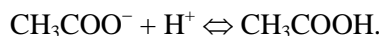
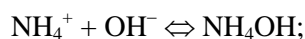


Показатель

$$\text{pOH} = \text{p}K_d + \lg \frac{C_c}{C_{\text{осн}}},$$

где  $\text{p}K_d$  – показатель константы диссоциации слабого основания;  $C_c$  и  $C_{\text{осн}}$  – концентрации соли и основания соответственно, моль/л.

- Соли слабых кислот и слабых оснований (например,  $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$ ). Буферное действие обусловлено реакциями



Емкостью буферного раствора  $B$  называют количество сильной кислоты или щелочи, которое требуется добавить к 1 л раствора для изменения его pH на единицу. Раствор утрачивает буферные свойства при добавлении сильной кислоты или щелочи в количестве, превышающем буферную емкость. Различают буферную емкость раствора по кислоте и по щелочи.

Емкость кислого буфера по щелочи вычисляют по уравнению

$$\Delta \text{pH} = \lg \frac{C_c + B_{\text{щ}}}{C_k - B_{\text{щ}}} - \lg \frac{C_c}{C_k} = 1.$$

Таким образом,

$$B_{\text{щ}} = \frac{9C_c - C_k}{10C_c + C_k}. \quad (4.23)$$

Из уравнения

$$\Delta pH = \lg \frac{C_c - B_k}{C_k + B_k} - \lg \frac{C_c}{C_k} = -1$$

вычислим емкость кислого буфера по кислоте

$$B_k = \frac{9C_c - C_k}{C_c + 10C_k}. \quad (4.24)$$

Емкости основного буфера по кислоте и по щелочи соответственно

$$B_k = \frac{9C_c - C_{\text{осн}}}{10C_c + C_{\text{осн}}};$$

$$B_{\text{щ}} = \frac{9C_c - C_{\text{осн}}}{C_c + C_{\text{осн}}}.$$

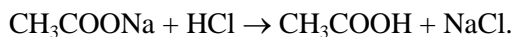
Отношение  $C_c/C_k$  или  $C_c/C_{\text{осн}}$  выбирают в пределах  $0,1 < C_c / C_k < 10$ . По таблицам констант диссоциации (см. прил.1) подбирают слабую кислоту с  $pK_d = pH \pm 1$  (или слабое основание с  $pK_d = pOH \pm 1$ ). Исходя из заданного pH вычисляют отношение концентраций  $C_c/C_k$  (или  $C_c/C_{\text{осн}}$ ).

**Пример 22.** Вычислить изменение pH ацетатного буферного раствора, содержащего по 1 моль/л кислоты и соли, после добавления к 1 л раствора 0,1 моль соляной кислоты.

**Решение.** Вычислим pH данного буферного раствора по формуле (4.22):

$$pH = pK_{d(\text{CH}_3\text{COOH})} + \lg \frac{C_{(\text{CH}_3\text{COONa})}}{C_{(\text{CH}_3\text{COOH})}} = -\lg 1,75 \cdot 10^{-5} + \lg 1 = 4,75.$$

После добавления к буферному раствору соляной кислоты концентрация ацетата натрия уменьшится, а концентрация уксусной кислоты увеличится на 0,1 моль/л вследствие протекания реакции



Вычислив для нового раствора

$$\begin{aligned} pH &= pK_{d(\text{CH}_3\text{COOH})} + \lg \frac{C_{(\text{CH}_3\text{COONa})} - 0,1}{C_{(\text{CH}_3\text{COOH})} + 0,1} = \\ &= -\lg 1,75 \cdot 10^{-5} + \lg \frac{1 - 0,1}{1 + 0,1} = 4,66, \end{aligned}$$

найдем  $\Delta pH = 4,75 - 4,66 = 0,09$ .

**Пример 23.** К 0,8 л 0,5 М раствора HCOOH ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-4}$ ) добавили 0,2 л 0,4 М раствора NaOH. Вычислить pH образовавшегося формиатного буфера и его буферную емкость по кислоте и щелочи.

**Решение.** Количество вещества HCOOH и NaOH соответственно

$$n_{(\text{HCOOH})} = C_{M(\text{HCOOH})} V_{(\text{HCOOH})} = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ моль};$$

$$n_{(\text{NaOH})} = C_{M(\text{NaOH})} V_{(\text{NaOH})} = 0,4 \cdot 0,2 = 0,08 \text{ моль}.$$

Объем буферного раствора

$$V = V_{(\text{HCOOH})} + V_{(\text{NaOH})} = 0,8 + 0,2 = 1 \text{ л}.$$

Количество вещества формиата натрия, образующегося по реакции  $\text{NaOH} + \text{HCOOH} \rightarrow \text{HCOONa} + \text{H}_2\text{O}$ ,  $n_{(\text{HCOONa})} = n_{(\text{NaOH})} = 0,08$  моль. Молярная концентрация формиата натрия в буферном растворе

$$C_{M(\text{HCOONa})} = \frac{n_{(\text{HCOONa})}}{V} = \frac{0,08}{1} = 0,08 \text{ моль/л.}$$

Остаточное количество вещества муравьиной кислоты

$$n_{(\text{HCOOH})} = n_{(\text{HCOOH})\text{исх.}} - n_{(\text{HCOOH})\text{р-ция}} = 0,4 - 0,08 = 0,32 \text{ моль,}$$

$$n_{(\text{HCOOH})\text{р-ция}} = n_{(\text{NaOH})} = 0,08 \text{ моль.}$$

Ее молярная концентрация в буферном растворе

$$C_{M(\text{HCOOH})} = \frac{n_{(\text{HCOOH})}}{V} = \frac{0,32}{1} = 0,32 \text{ моль/л.}$$

Буферный раствор имеет

$$\text{pH} = \text{p}K_{d(\text{HCOOH})} + \lg \frac{C_{(\text{HCOONa})}}{C_{(\text{HCOOH})}} = -\lg 1,8 \cdot 10^{-4} + \lg \frac{0,08}{0,32} = 3,14.$$

Буферная емкость по кислоте согласно уравнению (4.24)

$$B_{\kappa} = \frac{9 \cdot 0,08 - 0,32}{0,08 + 10 \cdot 0,32} = 0,12 \text{ экв/л.}$$

Буферную емкость по щелочи определим при помощи уравнения (4.23):

$$B_{\text{щ}} = \frac{9 \cdot 0,08 - 0,32}{10 \cdot 0,08 + 0,32} = 0,36 \text{ экв/л.}$$

**Пример 24.** Сколько граммов твердого формиата натрия  $\text{HCOONa}$  надо добавить к 100 мл 0,2 М раствора соляной кислоты, чтобы получить буферный раствор с  $\text{pH} = 4,3$ ?

**Решение.** При добавлении к раствору соляной кислоты формиата натрия образуется муравьиная кислота по реакции  $\text{HCOONa} + \text{HCl} \rightarrow \text{HCOOH} + \text{NaCl}$ . Ее концентрация

$$C_{(\text{HCOOH})} = C_{(\text{HCl})} = 0,2 \text{ моль/л.}$$

Для образования формиатного буферного раствора необходима определенная концентрация формиата натрия, которую найдем исходя из формулы (4.22):

$$\text{pH} = \text{p}K_{d(\text{HCOOH})} + \lg \frac{C_{(\text{HCOONa})}}{C_{(\text{HCOOH})}},$$

откуда  $C_{(\text{HCOONa})} = C_{(\text{HCOOH})} \cdot 10^{(\text{pH} - \text{p}K_d)} = 0,2 \cdot 10^{(4,3 - 3,74)} = 0,726 \text{ моль/л.}$

Количество вещества формиата натрия, необходимого для получения данного буферного раствора,

$$n_{(\text{HCOONa})} = 0,2 \cdot 0,1 + 0,726 \cdot 0,1 = 0,0926 \text{ моль,}$$

его масса

$$m_{(\text{HCOONa})} = n_{(\text{HCOONa})} \cdot M_{(\text{HCOONa})} = 0,0926 \cdot 68 = 6,3 \text{ г.}$$

**Задание XV.** Решить задачи.

684. К 200 мл 0,5 н. раствора уксусной кислоты добавили 10 мл 0,8 н. раствора едкого натра. Определить  $\text{pH}$  полученного раствора.

685. Какой объем 20-процентного раствора уксусной кислоты плотностью  $1,026 \text{ г/см}^3$  следует прилить к 1 л 0,075 н. раствора ацетата натрия, чтобы получить буферный раствор с  $\text{pH} = 2,75$ ?

686. Рассчитать рН раствора, содержащего 1,5 моль/л ацетата натрия и 0,75 моль/л уксусной кислоты. Как изменится величина рН при добавлении к 50 мл этого раствора 1 мл 2 н. раствора едкого натра?

687. Сколько граммов безводного бензойнокислого натрия необходимо прибавить к 100 мл 0,02 моль/л раствора бензойной кислоты  $C_6H_5COOH$ , чтобы получить буферный раствор с рН = 5?

688. К 25 мл 2-процентного раствора гидроксида аммония плотностью 0,99 г/см<sup>3</sup> добавили 1,5 г хлорида аммония. Определить рН полученного раствора, если его плотность равна 1,01 г/см<sup>3</sup>.

689. Как изменится рН в 0,1 н. растворе уксусной кислоты после добавления к нему кристаллического ацетата натрия до концентрации 0,1 моль/л?

690. Как изменится рН раствора, полученного смешиванием 100 мл 5-процентного раствора муравьиной кислоты плотностью 1,008 г/см<sup>3</sup> и 100 мл 7-процентного раствора формиата калия плотностью 1,01 г/см<sup>3</sup>, если к нему прилить 50 мл 0,2 н. раствора едкого калия?

691. Какой объем 20-процентного раствора фосфорной кислоты (плотность 1,113 г/мл) надо добавить к 2 л раствора едкого кали с концентрацией 0,2 моль/л для получения буферного раствора с рН = 6?

692. Как изменится рН раствора, содержащего в 200 мл 2,14 г хлорида аммония и 2,1 г гидроксида аммония, в результате добавления к нему 10 мл 2 н. раствора соляной кислоты?

693. Какой объем раствора гидроксида бария концентрацией 0,5 моль/л следует добавить к 1,5 л 5-процентного раствора уксусной кислоты плотностью 1,006 г/см<sup>3</sup>, чтобы получить буферный раствор с рН = 4?

694. Рассчитать рН раствора, полученного смешиванием 10 м<sup>3</sup> 2-процентного раствора едкого натра (плотность 1,021 г/см<sup>3</sup>) и 15 м<sup>3</sup> 5-процентного раствора фосфорной кислоты (плотность 1,026 г/см<sup>3</sup>).

695. Какой объем 20-процентной серной кислоты (плотность 1,139 г/мл) необходимо добавить к 5 л раствора этиламина с концентрацией 0,02 моль/л для получения буферного раствора с рН = 9,8?

696. К 5 л 5-процентного раствора гидроксида аммония плотностью 0,986 г/мл добавили 10 л 3-процентного раствора серной кислоты плотностью 1,019 г/мл. Определить рН полученного раствора.

697. Определить рН борно-натриевого буферного раствора (концентрация  $H_3BO_3$  и  $NaH_2BO_3$  15 и 10 % соответственно, средняя плотность раствора 1,12 г/см<sup>3</sup>).

698. Рассчитать рН раствора, полученного путем поглощения 20 л углекислого газа 6 л раствора едкого натра с концентрацией 0,1 моль/л. Процесс вели при температуре 25 °С и давлении 1 атм.

699. Определить рН фосфорно-натриевого буфера, если в 1 л раствора содержится 19,6 г фосфорной кислоты и 30 г дигидрофосфата натрия.

700. Объем хлористого водорода, равный 5 м<sup>3</sup>, был измерен при температуре 100 °С и давлении 1,5 атм. Определить рН раствора, полученного в результате поглощения этого газа 5 м<sup>3</sup> раствора гидроксида аммония с концентрацией 0,1 моль/л.

701. Рассчитать рН раствора, в 1 л которого содержится 12,5 г ацетата натрия и 17,5 г уксусной кислоты.

702. Какой объем аммиака должен быть поглощен при 25 °С и давлении 1 атм 2-процентным раствором серной кислоты плотностью 1,012 г/мл в количестве 300 мл, чтобы полученный раствор имел рН = 10?

703. Каков рН аммиачно-хлоридного буфера, содержащего в 1 л 70 г гидроксида аммония и 26,7 г хлорида аммония?

704. Какой объем раствора аммиака (концентрация 4,27 %, плотность 0,98 г/см<sup>3</sup>) надо добавить к 200 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты, чтобы получить буферный раствор с рН = 8,24?

705. Рассчитать рН смеси карбоната и гидрокарбоната калия с концентрацией по 0,02 моль/л.

706. Какой объем раствора уксусной кислоты (концентрация 6 %, плотность 1,007 г/см<sup>3</sup>) следует долить к 100 мл раствора едкого натра (концентрация 0,6 %, плотность 1,005 г/см<sup>3</sup>), чтобы получить буферный раствор с рН = 4,18?

707. Рассчитать рН раствора дигидрофосфата натрия с концентрацией 1 моль/л.

708. Сколько граммов гипобромита натрия  $\text{NaBrO}$  следует добавить к 10 л 0,5 н. раствора бромноватистой кислоты, константа диссоциации которой равна  $2,06 \cdot 10^{-9}$ , чтобы получить буферный раствор с  $\text{pH} = 6,74$ ?

709. Рассчитать  $\text{pH}$  раствора гидросульфида калия с концентрацией 1 моль/л.

710. Какой объем аммиака должен быть поглощен при  $25^\circ\text{C}$  и давлении 1 атм 2-процентным раствором соляной кислоты (плотность  $1,008 \text{ г/см}^3$ ) в количестве 300 мл, чтобы полученный раствор имел значение  $\text{pH} = 10$ ?

711. Каково значение  $\text{pH}$  аммиачно-хлоридного буфера, содержащего в 1 л 70 г гидроксида аммония и 26,7 г хлорида аммония?

712. Как изменится  $\text{pH}$   $\text{CH}_3\text{COOH}$  в 0,2 М растворе, если к 100 мл этого раствора прибавили 30 мл 0,3 М раствора ацетата натрия?

713. Рассчитать  $\text{pH}$  полученного раствора, если к 100 мл 0,0375 М  $\text{CH}_3\text{COOH}$  прибавили 0,102 г  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

714. Вычислить  $\text{pH}$  раствора, полученного смешиванием 25 мл 0,2 М  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и 15 мл 0,1 М  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

715. Вычислить  $\text{pH}$  полученного раствора, если в 1 л воды содержится 60,05 г  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и 82,03 г  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

716. Вычислить  $\text{pH}$  раствора, если к 2 л воды прибавили 23 г  $\text{HCOOH}$  и 21 г  $\text{HCOOK}$ .

717. Вычислить  $\text{pH}$  раствора, полученного смешиванием 15 мл 0,1 М  $\text{HCOOH}$  и 12 мл 0,2 М  $\text{HCOONa}$ .

718. Какой объем 0,2 М  $\text{NaOH}$  надо прибавить к 40 мл 0,1 М раствора лимонной кислоты, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 3,0$ ?

719. Какой объем раствора  $\text{NaOH}$  (концентрация 0,4 %) надо прибавить к 23 мл 0,2 М раствора ортофосфорной кислоты, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 2,3$ ?

720. Какую массу гидроксида натрия надо растворить в 100 мл 0,1 М раствора гидрокарбоната натрия, чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 10$ ?

721. Какую массу гидрокарбоната натрия надо растворить в 30 мл раствора гидроксида натрия (концентрация 1 %), чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 10,0$ ?

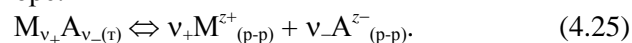
722. Как изменится  $\text{pH}$  1-процентного раствора  $\text{HCOOH}$ , если к 230 мл этого раствора прибавить 540 мл раствора  $\text{HCOOK}$  концентрацией 0,5 %?

723. Сколько миллилитров 0,2 М  $\text{HCl}$  надо добавить к 50 мл 0,1 М  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , чтобы получить раствор с  $\text{pH} = 10,5$ ?

#### 4.6. Равновесия в насыщенных растворах

Насыщенным называют раствор, находящийся в равновесии с избытком растворимого вещества. Концентрацию насыщенного раствора называют растворимостью и обозначают  $S$ . Растворимость зависит от температуры и состава раствора.

Рассмотрим равновесие между солью, состоящей из катионов металла  $\text{M}^{z+}$  и анионов кислотного остатка  $\text{A}^{z-}$ , и ее насыщенным раствором. При этом учтем, что все соли – сильные электролиты, полностью диссоциирующие в растворе:



Константу данного равновесия называют произведением растворимости соли и обозначают  $L$ . Согласно закону действующих масс

$$L = [\text{M}^{z+}]^{v_+} [\text{A}^{z-}]^{v_-} \quad (4.26)$$

Это выражение используют для расчета концентрации ионов в насыщенных растворах. Значения произведений растворимости обычно берут в справочнике (прил.3).

**Бинарная система соль – вода.** Согласно уравнению (4.25),  $[\text{M}^{z+}] = v_+S$  и  $[\text{A}^{z-}] = v_-S$ . Подставив эти соотношения в (4.26), получим

$$L = (v_+S)^{v_+} (v_-S)^{v_-} = (v_{\pm}S)^{\nu},$$

где  $v_{\pm} = (v_+^{v_+} \cdot v_-^{v_-})^{1/\nu}$ ;  $\nu = v_+ + v_-$ .

Таким образом, растворимость соли в воде

$$S = L^{1/v_{\pm}} / v_{\pm}.$$

**Многокомпонентная система с одноименными ионами.** Рассмотрим расчет растворимости соли  $M_{v_+}A_{v_-}$  в системе, содержащей хорошо растворимую соль  $M'A_{v'}$  с одноименным анионом (например,  $BaSO_4-Na_2SO_4-H_2O$ ). Катионы  $M^{z+}$  переходят в раствор только из осадка, поэтому их концентрация определена растворимостью:  $[M^{z+}] = v_+S$ . Концентрация анионов в растворе складывается из двух составляющих: растворимости труднорастворимой соли  $v_-S$  и концентрации соли  $M'A_{v'}$ , которую обозначим  $v'C'$ . После подстановки в формулу (4.26) запишем

$$L = (v_+S)^{v_+}(v_-S + v'C')^{v_-}. \quad (4.27)$$

Растворимость находят путем решения степенного уравнения (4.27). Если растворимость меньше концентрации соли с одноименным ионом в 100 раз и более, т.е.  $v_-S < 0,01v'C'$ , то пренебрегают меньшим слагаемым в сумме и получают

$$S = \frac{L^{1/v_+}}{v_+(v'C')^{v_-/v_+}}.$$

Аналогично вычисляют растворимость в присутствии одноименного катиона. Следует запомнить, что растворимость в присутствии одноименных ионов всегда понижается.

**Условия образования осадков.** Если произведение концентраций ионов, образующих труднорастворимую соль, выше равновесного значения, т.е. правая часть в формуле (4.26) больше левой, то в системе образуется осадок. При противоположном знаке неравенства осадок будет растворяться.

Значение pH, при котором из данного раствора начинает выпадать осадок гидроксида, называют pH гидратообразования. Для расчета этой характеристики используют формулы

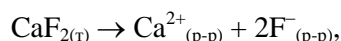
$$M(OH)_{z(p)} \Leftrightarrow M^{z+}_{(p-p)} + zOH^{-}_{(p-p)};$$

$$L = [M^{z+}][OH^{-}]^z. \quad (4.28)$$

Из формулы (4.28) находят концентрацию ионов гидроксида, а затем pH гидратообразования.

**Пример 25.** Рассчитать растворимость флюорита  $CaF_2$  в воде и в растворе NaF (концентрация 0,1 моль/л).

**Решение.** 1. Запишем уравнение диссоциации  $CaF_2$ , отвечающее равновесному растворению флюорита:



согласно которому  $[Ca^{2+}] = S$ ;  $[F^{-}] = 2S$ .

Составим уравнение произведения растворимости  $CaF_2$

$$L = [Ca^{2+}][F^{-}]^2 = S \cdot (2S)^2 = 4S^3,$$

из которого растворимость флюорита в воде

$$S = \sqrt[3]{\frac{L}{4}} = \sqrt[3]{\frac{2,62 \cdot 10^{-10}}{4}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

2. Для расчета растворимости в растворе NaF, которую обозначим  $S_1$ , произведем следующие подстановки в уравнение произведения растворимости  $L = [Ca^{2+}][F^{-}]^2$ :  $[Ca^{2+}] = S_1$ ;  $[F^{-}] = 2S_1 + C_{NaF} = 0,1$  моль/л, так как  $S_1 \ll 0,1$ . Тогда  $L = S_1(0,1)^2$ , откуда

$$S_1 = \frac{L}{(0,1)^2} = \frac{2,62 \cdot 10^{-10}}{0,01} = 2,62 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л.}$$

**Пример 26.** Вычислить pH гидратообразования для раствора сульфата никеля с концентрацией 0,01 моль/л ( $L_{Ni(OH)_2} = 1,2 \cdot 10^{-16}$ ).

**Решение.** Осадок гидроксида образуется из раствора  $\text{NiSO}_4$  в результате установления следующего равновесия:



Гидратообразование начинается при условии  $[\text{Ni}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = L$ , откуда

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{L}{[\text{Ni}^{2+}]}} = \sqrt{\frac{1,2 \cdot 10^{-16}}{0,01}} = 1,09 \cdot 10^{-7} \text{ моль / л};$$

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 1,09 \cdot 10^{-7} = 6,96;$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 7,04.$$

**Пример 27.** Произойдет ли осаждение малорастворимого  $\text{AgNO}_2$  ( $L = 1,6 \cdot 10^{-4}$ ) по реакции  $\text{AgNO}_3 + \text{KNO}_2 \rightarrow \text{AgNO}_2 + \text{KNO}_3$  при смешивании равных объемов растворов  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{KNO}_2$  (концентрация растворов 0,02 М)?

**Решение.** Для образования осадка  $\text{AgNO}_2$  должно выполняться условие  $[\text{Ag}^+][\text{NO}_2^-] \geq L$ . Проверим, выполняется ли это условие. После смешивания равных объемов растворов  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{KNO}_2$  общий объем раствора будет в 2 раза больше каждого из исходных, и концентрации  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{KNO}_2$  соответственно уменьшатся в 2 раза, т.е. будут равны 0,01 моль/л. Так как  $[\text{Ag}^+][\text{NO}_2^-] = 0,01 \cdot 0,01 = 1 \cdot 10^{-4} < L$ , осадок не образуется.

**Задание XVI.** Вычислить растворимость предложенного соединения в воде при температуре 25 °С и в присутствии электролита с одноименным ионом (табл.4.9).

Таблица 4.9

Номер задачи	Твердая фаза	Электролит	Концентрация раствора
724	AgBr	AgNO <sub>3</sub>	0,01 г/л
725	Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,01 М
726	PbI <sub>2</sub>	KI	0,05 н.
727	CaCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,005 н.
728	BaCrO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	0,001 М
729	BaSO <sub>4</sub>	BaCl <sub>2</sub>	0,001 г/л
730	Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,1 %
731	CaSO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,02 %
732	PbBr <sub>2</sub>	KBr	0,003 н.
733	PbSO <sub>4</sub>	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,005 М.
734	ZnS	ZnCl <sub>2</sub>	0,09 г/л
735	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,001 г/л
736	PbCO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,02 г/л
737	BaSO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	0,028 М
738	AgIO <sub>3</sub>	KIO <sub>3</sub>	0,009 н.
739	CaHPO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	0,01 г/л
740	CuI	KI	0,01 М
741	TI	NaI	0,05 н.
742	Hg <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	Hg <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,005 н.
743	Ag <sub>2</sub> S	AgNO <sub>3</sub>	0,001 М
744	TlBr	NaBr	0,001 г/л
745	BaSO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	0,003 н.
746	Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	AgNO <sub>3</sub>	0,005 М.
747	PbS	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,09 г/л
748	CaF <sub>2</sub>	NaF	0,001 г/л
749	LaF <sub>3</sub>	NaF	0,02 г/л
750	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	0,028 М
751	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	NaCl	0,1 %
752	AgBrO <sub>3</sub>	NaBrO <sub>3</sub>	0,02 %
753	AgCl	KCl	0,003 н.
754	AgI	KI	0,005 М.

755	Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	AgNO <sub>3</sub>	0,09 г/л
-----	----------------------------------	-------------------	----------

Окончание табл.4.9

Номер задачи	Твердая фаза	Электролит	Концентрация раствора
756	CdCO <sub>3</sub>	Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,001 г/л
757	CuCl	KCl	0,02 г/л
758	Hg <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	KBr	0,028 М
759	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	KCl	0,009 н.
760	PbCl <sub>2</sub>	KCl	0,01 г/л
761	TlCl	KCl	0,01 М
762	Ba <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,05 н.
763	Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,005 н.
764	Bi <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0,001 М
765	Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,001 г/л
766	In <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>3</sub>	K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	0,003 н.
767	Na <sub>2</sub> BeF <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub>	0,01 г/л
768	K <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	KNO <sub>3</sub>	0,01 М
769	Hg <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Hg <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,05 н.
770	SnS	Na <sub>2</sub> S	0,0005 н.
771	Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,01 М
772	Tl <sub>2</sub> S	Na <sub>2</sub> S	0,0005 н.
773	Zn <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	ZnSO <sub>4</sub>	0,009 н.

**Задание XVII.** Определить рН гидратообразования предложенных солей (табл.4.10).

Таблица 4.10

Номер задачи	Соль	Концентрация соли, моль/л	Номер задачи	Соль	Концентрация соли, моль/л
774	AlCl <sub>3</sub>	0,01	782	CdCl <sub>2</sub>	0,15
775	MgCl <sub>2</sub>	0,38	783	Sb(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0,002
776	Be(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,52	784	CoSO <sub>4</sub>	0,006
777	MnSO <sub>4</sub>	0,062	785	Sc(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0,001
778	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0,046	786	Cr <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,059
779	NiCl <sub>2</sub>	0,031	787	SnCl <sub>2</sub>	0,012
780	CaCl <sub>2</sub>	0,023	788	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,038
781	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,004	789	SnCl <sub>4</sub>	0,003

Окончание табл.4.10

Номер задачи	Соль	Концентрация соли, моль/л	Номер задачи	Соль	Концентрация соли, моль/л
790	FeSO <sub>4</sub>	0,064	794	LaCl <sub>3</sub>	0,008
791	Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,055	795	Y(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0,0012
792	FeCl <sub>3</sub>	0,26	796	ZrOCl <sub>2</sub>	0,056
793	Tl(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0,001	797	ZnSO <sub>4</sub>	0,022

**Задание XVIII.** Решить задачи.

798. Определить концентрацию карбоната натрия, необходимую для того, чтобы снизить растворимость карбоната серебра в 100 раз по сравнению с растворимостью в воде.

799. Чему равно произведение растворимости и растворимость иодида серебра в воде, если концентрация иодида серебра в 0,001 н. растворе иодида калия равна  $1,5 \cdot 10^{-13}$  моль/л?

800. Во сколько раз меньше растворимость гидроксида кобальта (II) в растворе с рН = 12, чем в растворе с рН = 10?

801. Какое из оснований – гидроксид железа (II) или гидроксид железа (III) – и во сколько раз лучше растворимо в щелочном растворе с рН = 9?

802. Определить растворимость и произведение растворимости гидроксида кальция, если его насыщенный раствор имеет  $\text{pH} = 12,4$ .
803. Определить растворимость гидроксида никеля в воде и в растворе с  $\text{pH} = 1$ .
804. При каком значении  $\text{pH}$  растворимость гидроксида кадмия снизится в 20 раз по сравнению с растворимостью в воде?
805. Определить произведение растворимости и растворимость в воде сульфата кальция, если концентрация соли в 0,2 н. растворе серной кислоты составляет  $6 \cdot 10^{-5}$  моль/л.
806. Определить произведение растворимости и растворимость сульфата свинца в воде, если концентрация соли в 0,004 н. растворе серной кислоты равна  $8 \cdot 10^{-6}$  моль/л.
807. Во сколько раз растворимость хлорида серебра в 0,001 н. растворе хлорида натрия меньше, чем в воде?
808. Определить растворимость гидроксида кобальта (II) в воде и в 0,1 н. растворе сульфата кобальта.
809. Определить растворимость гидроксида железа (II) в воде и в 0,05 М растворе сульфата железа (II).
810. Смешаны равные объемы 0,02 н. растворов хлорида кальция и сульфата натрия. Образуется ли при этом осадок сульфата кальция?
811. Во сколько раз растворимость оксалата кальция  $\text{Ca}_2\text{C}_2\text{O}_4$  в 0,1 М растворе оксалата аммония меньше, чем в воде?
812. Во сколько раз уменьшится концентрация ионов серебра в насыщенном растворе хлорида серебра, если прибавить к нему столько соляной кислоты, чтобы концентрация хлорид-ионов в растворе стала равной 0,03 моль/л?
813. Растворимость бромиды таллия (I) в воде  $1,9 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Определить его произведение растворимости и растворимость в 0,1 н. растворе нитрата таллия (I).
814. Растворимость карбоната кальция в воде составляет  $4,15 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Определить его произведение растворимости и растворимость в 0,001 М растворе карбоната натрия.
815. К 150 мл насыщенного раствора  $\text{AgCl}$  прибавили 10 мл раствора  $\text{NaCl}$  концентрацией 3 %. Сколько молей серебра останется в растворе?
816. К 125 мл насыщенного раствора  $\text{PbSO}_4$  прибавлено 5 мл раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концентрацией 0,5 %. Сколько молей свинца останется в растворе?
817. К 20 мл  $\text{Na}_2\text{AsO}_4$  прилили 30 мл 0,12 М раствора  $\text{AgNO}_3$ . Какая масса мышьяка останется в растворе?
818. К 50 мл 0,02 М раствора  $\text{CaCl}_2$  прибавили 50 мл 0,03 М раствора сульфата калия. Какова остаточная концентрация сульфата кальция?
819. Выпадет ли осадок  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  при действии на 0,2 М раствор сульфата магния равным объемом 0,2 М раствора гидроксида аммония?
820. Насыщенный раствор  $\text{CaSO}_4$  смешали с равным объемом раствора, содержащего 0,0248 г  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  в 1 л. Произойдет ли образование осадка  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ?
821. При какой концентрации ионов магния начнется выпадение осадка  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  из раствора, имеющего  $\text{pH} = 8,7$ ?
822. При какой концентрации хромат-ионов начнется выпадение осадка  $\text{PbCrO}_4$  из 0,1 М раствора нитрата свинца (II)?
823. Будет ли осаждаться  $\text{SrSO}_4$  при добавлении 5 мл насыщенного раствора сульфата кальция к 20 мл раствора, содержащего 0,5 экв кальция?
824. В 200 мл раствора содержится по 0,02 экв хлорида и оксалата натрия. К раствору добавляют нитрат серебра. Какова будет остаточная концентрация хлорид-ионов и когда начнется осаждение  $\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ?
825. Какое вещество начнет осаждаться первым при постепенном приливании нитрата серебра к раствору, в 1 л которого содержится 0,01 моль  $\text{KCl}$  и 0,1 моль  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ?
826. В 100 мл раствора содержится 0,01 экв. ионов  $\text{Ba}^{2+}$  и  $\text{Sr}^{2+}$ . Сколько молей  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  следует ввести в раствор, чтобы осадить барий?
827. В 100 мл раствора содержится 0,01 экв. ионов  $\text{Sr}^{2+}$ . Сколько молей  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  следует ввести в раствор, чтобы осадить стронций?