



**Т.И. Попова  
Ю.В. Королева**

**СБОРНИК ЗАДАЧ  
ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

**Часть II**

**Калининград  
2005**

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И. КАНТА

Т.И. Попова  
Ю.В. Королева

## СБОРНИК ЗАДАЧ ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Часть II

Издательство  
Российского государственного университета им. И. Канта  
2005

**Попова Т.И., Королева Ю.В.**

П 58 Сборник задач по аналитической химии. — Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2005. — Ч. 2. — 45 с.

Даны примеры решения задач и разобраны некоторые теоретические вопросы по нескольким разделам количественного анализа. Представлены задачи по гравиметрическому (расчет навески, количества осадителя, вычисление потерь осадка) и титриметрическим методам (кислотно-основное, окислительно-восстановительное, осадительное и комплексно-нометрическое титрование).

Сборник предназначен для студентов химического и биоэкологического факультетов.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Российского государственного университета им. И. Канта.

УДК 543.062(075.8)

ББК 24.442.я73

© Издательство РГУ им. И. Канта, 2005

© Т.И. Попова, Ю.В. Королева, 2005

**ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**

Отношение молярной массы определяемого компонента к молярной массе гравиметрической формы называют гравиметрическим фактором:

$$F = \frac{a \cdot M_{\text{опред.комп}}}{b \cdot M_{\text{грав.ф}}},$$

где  $a, b$  — стехиометрические коэффициенты.

Величина навески анализируемой пробы зависит от массы гравиметрической формы, массовой доли определяемого компонента и его содержания в гравиметрической форме:

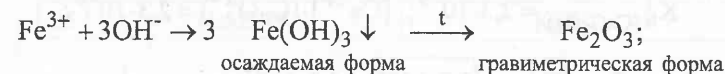
$$m_{\text{опред.комп}} = m_{\text{грав.ф}} \cdot F;$$

$$m_{\text{опред.комп}} = \frac{F \cdot m_{\text{грав.ф}}}{\omega} \cdot 100,$$

где  $m_{\text{опред.комп}}$  — масса определяемого компонента;  $m_{\text{грав.ф}}$  — масса гравиметрической формы;  $F$  — гравиметрический фактор;  $\omega$  — массовая доля вещества в навеске.

Практически удобная масса гравиметрической формы определяемого вещества для кристаллических осадков — 0,5 г, для аморфных — 0,1 г.

**Пример.** Какую навеску  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  следует взять для определения  $\text{Fe}^{3+}$ , если осаждаемая форма  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  аморфна?



$$F = \frac{2 \cdot M_{\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}}}{1 \cdot M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} = \frac{2 \cdot 404}{159,7} = 5,0595;$$

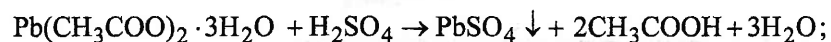
масса навески  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  определяется следующим образом:

$$m = F \cdot m_{\text{грав.ф}} = 5,0595 \cdot 0,1 = 0,5060 \text{ г.}$$

Осаждение считают количественным, если концентрация определяемого компонента в растворе не превышает  $10^{-6}$  М и остаточное количество осаждаемого вещества не выходит за пределы точного взвешивания на аналитических весах  $2 \cdot 10^{-4}$  г.

Для более полного выделения осаждаемого компонента вводят избыток осадителя по сравнению с величиной, рассчитанной согласно стехиометрии реакции.

**Пример.** Какой объем 0,5 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  необходим для осаждения свинца, если навеска ацетата свинца  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  равна 0,7 г? Следует учесть 1,5-кратный избыток растворителя.



$$\begin{aligned} \nu_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} &= \nu_{(\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})} = \frac{m_{(\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})}}{M_{(\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O})}} = \\ &= \frac{0,7}{379,3} = 0,001846 \text{ моль}; \end{aligned}$$

$$V_{(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{\nu_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}}{C_{(\text{H}_2\text{SO}_4)}} = \frac{0,001846}{0,5} = 0,0037 \text{ дм}^3,$$

или  $3,7 \text{ см}^3$ , что с учетом 1,5-кратного избытка составит  $3,7 \cdot 1,5 = 5,5 \text{ см}^3$ .

При вычислении объема промывной жидкости необходимо учитывать потери осадка. Масса потерь не должна превышать 0,0002 г.

**Пример.** Вычислить потери осадка от растворимости  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , если 0,1 г осадка промывают 200  $\text{см}^3$  воды.

$$K_S^T(\text{CaC}_2\text{O}_4) = 2,3 \cdot 10^{-9}; [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}] = 2,3 \cdot 10^{-9};$$

$$S = \sqrt{K_S^T} = \sqrt{2,3 \cdot 10^{-9}} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ моль / дм}^3.$$

$$m_{\text{потерь}} = S \cdot M \cdot V = 4,8 \cdot 10^{-5} \cdot 128,1 \cdot 0,2 = 0,0012 \text{ г};$$

$$\omega(\%) = \frac{m_{\text{потерь}}}{m_{\text{осадка}}} \cdot 100 = \frac{0,0012}{0,1} \cdot 100 = 1,2 \text{ \%}.$$

### Вычисление аналитических множителей

№	Определяемое вещество	Гравиметрическая форма
1	$\text{Ag}_2\text{O}$	$\text{AgCl}$
2	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	$\text{CaO}$
3	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{PtCl}_6$
4	$\text{HF}$	$\text{CaF}_2$
5	$\text{P}$	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$
6	$\text{Cr}$	$\text{BaCrO}_4$
7	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$
8	$\text{F}$	$\text{CaF}_2$
9	$\text{Mg}$	$\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$
10	$\text{Cr}$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$
11	$\text{S}$	$\text{BaSO}_4$
12	$\text{Ca}$	$\text{CaC}_2\text{O}_4$
13	$\text{F}$	$\text{SiF}_4$
14	$\text{Zn}$	$\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$
15	$\text{Ag}$	$\text{Ag}_2\text{CrO}_4$
16	$\text{Fe}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
17	$\text{Al}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$
18	$\text{Pb}$	$\text{PbCrO}_4$
19	$\text{K}$	$\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$
20	$\text{Nb}$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$
21	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	$\text{AgCl}$
22	$\text{P}$	$\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$
23	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{PbCrO}_4$
24	$\text{Pb}_3\text{O}_4$	$\text{PbSO}_4$
25	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	$\text{KBF}_4$

### Вычисление массы навески и массовой доли определяемого вещества

26. Какие навески суперфосфата надо взять для определения фосфора в виде магний аммоний фосфата с прокаливанием его до пирофосфата магния?

27. Рассчитайте навеску руды для определения железа в виде оксида железа, если его содержание составляет 20 %.

28. Какую массу технического сульфата натрия с массовой долей  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  98 % нужно взять для гравиметрического анализа, чтобы масса осадка  $\text{BaSO}_4$  была равной 0,5 г?

29. При определении магния осаждением в виде  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  масса прокаленного осадка не должна превышать 0,3 г. Рассчитать массу образца для анализа с массовой долей  $\text{MgCO}_3$  40 %.

30. При определении железа осаждением в виде гидроксида масса прокаленного осадка должна быть не более 0,15 г. Рассчитать массу соли Мора, необходимую для анализа.

31. Из навески стали массой 1,0000 г получили осадок  $\text{SiO}_2$  и  $\text{WO}_3$  общей массой 0,1327 г. После обработки и прокаливания осадка  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{HF}$  его масса уменьшилась на 0,0631 г. Каковы массовые доли (%) Si и W в стали?

32. Для анализа технического  $\text{NaCl}$  взяли две навески. Из одной навески массой 0,1350 г получили 0,2826 г  $\text{AgCl}$ . В другой — нашли содержание влаги — 4,05 %. Найдите массовую долю  $\text{NaCl}$  в сухом продукте (%).

33. Из навески смеси  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{SrCO}_3$  массой 0,3500 г после прокаливания получили 0,2231 г оксидов. Каковы массовые доли  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{SrCO}_3$  в смеси?

34. Из навески стали массой 0,6667 г получили 0,1010 г  $\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_2)_2$  и 0,2472 г  $\text{PbMoO}_4$ . Каковы массовые доли Pb и Ni в стали?

35. При прокаливании смеси  $\text{KHCO}_3$  и  $\text{K}_2\text{CO}_3$  их масса — 0,4280 г — уменьшилась на 0,0663 г. Каковы массовые доли компонентов смеси?

36. Из навески смеси  $\text{NaCl}$  и  $\text{KCl}$  массой 0,3575 г выделили 0,1162 г  $\text{KClO}_4$ . Рассчитайте массовые доли солей в пробе.

37. При определении массовой доли оксида кремния в минерале масса прокаленного осадка  $\text{SiO}_2$  должна быть не более 0,2 г. Вычислить массу минерала, необходимую для анализа, если в его составе находится 30 % кремния.

38. Какую навеску  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  следует взять для анализа, чтобы получить 0,3 г гравиметрической формы в виде  $\text{CaO}$ ?

39. Рассчитайте навеску стали, содержащей около 12 % никеля, для определения его в виде диметилглиоксимата.

40. В результате анализа навески сплава массой 0,5892 г получено 0,0672 г пирофосфата магния. Определить процент магния в сплаве.

41. В результате анализа навески сплава массой 0,8519 г получено 0,1426 г оксида алюминия. Определить процент алюминия в сплаве.

42. Из навески пирита массой 0,2794 г после обработки получено 0,4524 г прокаленного сульфата бария. Сколько процентов серы содержит пирит?

43. Какую навеску  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  следует взять для анализа на медь, если она определяется в виде  $\text{CuO}$  после осаждения гидроксида?

44. Какую навеску известняка, содержащего 8 % примесей, следует взять для анализа на содержание  $\text{CaCO}_3$ , если осаждаемая форма  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ?

45. Какую навеску сплава, содержащего 2 % цинка, надо взять для осаждения Zn в виде  $\text{ZnNH}_4\text{PO}_4$ ? Гравиметрическая форма —  $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ .

46. Какую навеску алюмо-калиевых квасцов следует взять для анализа на алюминий, который осаждается в виде  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ?

47. Какую навеску смеси, содержащей 40 % хлорида натрия и 60 % хлорида калия, следует взять для анализа, если в пробе содержится 0,1—0,15 г хлора?

48. Вычислить массовую долю примесей в техническом образце хлорида натрия, если его навеска была массой 0,5721 г, а в результате анализа получен осадок 1,0261 г  $\text{AgCl}$ .

49. Вычислить массовую долю  $\text{P}_2\text{O}_5$  в апатите, если его навеска была массой 1,0000 г, а в результате анализа получено 0,6255 г гидрофосфата натрия.

50. Определить процент фосфора, если получено 0,1218 г пирофосфата магния в результате анализа навески чугуна массой 10,8160 г.

#### *Расчет количества осадителя*

51. Какой объем 15%-ной соляной кислоты требуется для растворения 1,5 г оксида магния?

52. Какой объем 2%-ного раствора диметилглиоксима требуется для осаждения никеля из стали массой 0,6530 г, содержащей 2,78 % никеля?

53. Какой объем 0,1 М щавелевой кислоты необходим для осаждения кальция из раствора, содержащего 0,6 г мрамора?

54. Какой объем 0,5 М соляной кислоты следует взять для растворения 1,5 г мела, содержащего 25 % нерастворимых примесей?

55. Сколько см<sup>3</sup> HCl ( $\rho = 1,2$  г/см<sup>3</sup>) требуется для осаждения ионов серебра из навески, содержащей 0,2 г серебра?

56. Какой объем 10%-ной серной кислоты требуется для растворения 0,2 г железа, содержащего 10 % примесей?

57. Сколько см<sup>3</sup> раствора аммиака ( $\rho = 0,98$  г/см<sup>3</sup>) требуется для осаждения железа из 0,2 г железняка, содержащего 30 % железа?

58. Какой объем 2 М гидроксида натрия требуется для растворения 0,5 г алюминия при 100%-ном избытке растворителя?

59. Какой объем 0,25 М раствора оксалата аммония потребуется для осаждения кальция, полученного растворением 1 г мела, содержащего 25 % примесей?

60. Сколько см<sup>3</sup> 0,25 М раствора щавелевой кислоты необходимо для осаждения кальция из 0,4273 г соединения, содержащего 28,4 % CaO?

61. Какой объем 5%-ного раствора нитрата серебра (см<sup>3</sup>) следует взять для количественного осаждения хлорида серебра из 200 см<sup>3</sup> 0,01 М раствора соляной кислоты?

62. Сколько см<sup>3</sup> 1%-ного раствора Na<sub>2</sub>S необходимо для осаждения Cd<sup>2+</sup> из 1,3450 г образца, содержащего 85 % CdCl<sub>2</sub>?

63. Сколько см<sup>3</sup> 0,3 М хромата калия необходимо для осаждения свинца из 2 г сплава, содержащего 15 % Pb?

64. Какой объем 10%-ной серной кислоты потребуется, чтобы растворить 0,3 г алюминия?

65. Сколько см<sup>3</sup> раствора аммиака ( $\rho = 0,99$  г/см<sup>3</sup>) нужно взять для осаждения железа из раствора, полученного при растворении 1 г железо-аммонийных квасцов?

66. Сколько см<sup>3</sup> 5%-ного раствора BaCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O нужно для осаждения сульфат-иона из 10 см<sup>3</sup> 5,5%-ного раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ( $\rho = 1,035$  г/см<sup>3</sup>)?

67. Сколько см<sup>3</sup> 0,1 М раствора соляной кислоты необходимо для количественного осаждения хлорида серебра из 200 см<sup>3</sup> раствора, содержащего нитрат серебра массой 10 мг?

68. Какой объем 10%-ного аммиака нужен для осаждения алюминия из 1,8 г KAlSO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O, содержащих 5 % инертных примесей?

69. Какой объем 2,5%-ного уксуснокислого раствора оксигинолина C<sub>9</sub>H<sub>7</sub>NO необходим для осаждения Al<sup>3+</sup> из 250 см<sup>3</sup> 0,05 М раствора сульфата алюминия? Для полноты осаждения требуется 10%-ный избыток реагента.

70. Какой объем 0,1 М серной кислоты нужен для осаждения стронция из 0,6542 г образца, содержащего 93 % SrCl<sub>2</sub>?

71. Какой объем оксалата аммония, содержащего 0,0248 г в 1 дм<sup>3</sup>, необходимо добавить к 500 см<sup>3</sup> насыщенного раствора сульфата кальция для осаждения кальция в виде оксалата?

72. Какой объем 2,5%-ного раствора иодида калия необходим для осаждения Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup> из 100 см<sup>3</sup> 0,02 М раствора Hg<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>? Следует учесть 20%-ный избыток осадителя.

73. Сколько см<sup>3</sup> 1%-ного раствора Na<sub>2</sub>S необходимо для осаждения Cd<sup>2+</sup> из 1,3450 г образца, содержащего 85 % CdCl<sub>2</sub>?

74. Кобальт из 0,5 г образца, содержащего 2 % Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, осажден 1-нитрозо-2-нафтолом (C<sub>10</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub>). Какой объем 0,7%-ного раствора реагента в ледяной уксусной кислоте следует добавить, если для уменьшения потерь необходим 10%-ный избыток осадителя (молярное соотношение Co к реагенту составляет 1: 3)?

75. Никель из 0,7500 г образца, содержащего 2,7 % NiO, осадил нитрозо-R-солью. Какой объем 0,5%-ного раствора реагента был добавлен, если молярное соотношение Ni к реагенту составляет 1: 2, а для полноты осаждения необходим 10%-ный избыток осадителя?

#### *Расчет потерь осадка при промывании*

76. Рассчитайте потери свинца за счет растворимости PbSO<sub>4</sub> при осаждении из 200 см<sup>3</sup> 5 · 10<sup>-3</sup> М раствора нитрата свинца: а) эквивалентным; б) полуторным избытком серной кислоты.

77. Для промывания осадка BaCrO<sub>4</sub> массой 0,3000 г использовали 250 см<sup>3</sup> воды. Вычислить массовую долю потерь осадка за счет промывания.



79. Найдите потери (г) от промывания осадка  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  200 см<sup>3</sup> аммиачного буферного раствора состава:  $\text{NH}_3$  (0,128 М),  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (1,25 М).

80. Во сколько раз будут меньше потери стронция в объеме 200 см<sup>3</sup> при осаждении его в виде  $\text{SrSO}_4$  с использованием избытка серной кислоты как осадителя в концентрации 0,01 моль/дм<sup>3</sup> по сравнению с эквивалентным осаждением?

81. Сколько граммов осадка будет потеряно при промывании  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ : а) 100 см<sup>3</sup> воды; б) равным объемом 0,05%-ного раствора оксалата аммония?

82. Во сколько раз уменьшатся потери осадка  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  при промывании раствором осадителя 0,01 М  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  по сравнению с промыванием водой, если объем промывной жидкости в обоих случаях одинаковый?

83. Во сколько раз будут меньше потери стронция в объеме 200 см<sup>3</sup> при осаждении его в виде  $\text{SrSO}_4$  с использованием избытка серной кислоты как осадителя в концентрации 0,01 моль/дм<sup>3</sup> по сравнению с эквивалентным осаждением?

84. Осадок оксалата кальция промыт 250 см<sup>3</sup> 1%-ного раствора оксалата аммония. Какова будет потеря осадка  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  при промывании в промывной жидкости?

85. Осадок  $\text{ZnS}$  массой 0,1949 г промыли 800 см<sup>3</sup> 0,001 М  $\text{HCl}$ , насыщенной  $\text{H}_2\text{S}$  ( $C = 0,1$  М). Рассчитайте потери цинка (%) при промывании.

86. Рассчитайте потери кальция при промывании осадка  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  250 см<sup>3</sup> воды. При какой общей концентрации оксалата в промывной жидкости с  $\text{pH} = 4$  потери при промывании 0,1 г осадка 250 см<sup>3</sup> этой жидкости не превысят 0,1 % по массе?

87. Найдите потери  $\text{Cl}$  при промывании осадка  $\text{AgCl}$ : а) 100 см<sup>3</sup> воды; б) 100 см<sup>3</sup> 0,1%-ного раствора  $\text{AgNO}_3$ . Допустимы ли эти потери при гравиметрическом определении хлорида?

88. Сколько граммов осадка  $\text{SrCO}_3$  перейдет в раствор, если его промыть 250 см<sup>3</sup> жидкостью, приготовленной из 500 см<sup>3</sup> воды и 5,3 г безводной соды?

89. Сколько  $\text{BaSO}_4$  останется в растворе, если осадок массой 0,5275 г промыть 250 см<sup>3</sup> 0,01 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

90. Осадок, содержащий 0,3 г  $\text{CaCO}_3$ , промыт 300 см<sup>3</sup> 0,1 М раствора карбоната аммония. Сколько граммов осадка будет растворено и сколько это составит процентов?

91. Осадок  $\text{AgI}$  массой 0,3 г промыли 250 см<sup>3</sup> раствора, полученного растворением 0,15 г  $\text{KI}$  в 500 см<sup>3</sup>. Каковы потери при промывании?

92. Вычислить потери при промывании осадка  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  массой 0,5 г раствором 0,001 М фосфата натрия, если объем промывной жидкости 500 см<sup>3</sup>.

93. Осадок хромата свинца массой 0,6374 г промыт 200 см<sup>3</sup> 0,05 М  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Сколько граммов хромата свинца перейдет в раствор?

94. Осадок (2 г)  $\text{CaSO}_4$  промыли 500 см<sup>3</sup> воды. Как изменятся потери в граммах и процентах, если к этому количеству воды добавить 1 см<sup>3</sup> 0,5 М раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

95. Осадок, полученный при смешивании 50 см<sup>3</sup> 0,05 М нитрата серебра с избытком  $\text{KI}$ , отфильтровали и промыли 150 см<sup>3</sup> воды. Сколько серебра осталось в осадке?

96. Осадок йодида свинца (1,5 г) промыли 300 см<sup>3</sup> воды. Как уменьшатся потери массы  $\text{PbI}_2$ , если к 300 см<sup>3</sup> воды добавить 0,5 см<sup>3</sup> 2%-ного раствора  $\text{KI}$ .

97. Алюминий из раствора, содержащего 80 мг  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , осадил 4%-ным раствором оксихинолина. Молярное соотношение  $\text{Al}$  к реагенту составляет 1:3. Осадок отфильтровали и промыли 150 см<sup>3</sup> воды. Определить массу  $\text{Al}^{3+}$ , оставшуюся в растворе, и оценить потери в процентах.

98. Образец массой 1,4750 г, содержащий 20 % хлорида кадмия, обработали 1%-ным раствором  $\text{Na}_2\text{S}$ . Сколько  $\text{CdS}$  выпало в осадок? Каковы будут потери  $\text{CdS}$  при промывании осадка 0,01 М раствором  $\text{Na}_2\text{S}$ .

99. Сталь массой 1,000 г, содержащую 1,5 % хрома, растворили в смеси кислот, перевели  $\text{Cr}$  в  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  и осадил действием  $\text{BaCl}_2$ . Чему равна масса осадка? Сколько граммов хрома перейдет в раствор, если осадок промыть 0,01 М раствором хромата калия?

100. Растворили 1,34 г пробы, содержащей 15 %  $\text{KI}$  и инертные примеси, и обработали раствором нитрата серебра. Осадок отфильтровали, промыли 150 см<sup>3</sup> воды и высушили. Сколько иодида серебра выпало в осадок и сколько его перешло в раствор при промывании.

# ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Электролит	Значение рН среды, моль/дм <sup>3</sup>	Значение рОН среды, моль/дм <sup>3</sup>
Вода при 25 °С	$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$ рН = 7	рОН = рН = 7
Сильная кислота	$pH = -\lg[H^+] = -\lg C_{HAn}$ рН = 14 + lg C <sub>к<sup>и</sup>ОН</sub>	рОН = 14 + lg C <sub>HAn</sub> рОН = -lg C <sub>к<sup>и</sup>ОН</sub>
<i>Титрование слабой кислоты сильным основанием</i>		
До начала титрования (слабая кислота)	$pH = \frac{1}{2} pK_{HAn} - \frac{1}{2} \lg C_{HAn}$	$pOH = 14 - \frac{1}{2} pK_{HAn} + \frac{1}{2} \lg C_{HAn}$
До точки эквивалентности (буферная смесь слабой кислоты и её соли)	$pH = pK_{HAn} - \lg \frac{C_{HAn}}{C_{KAn}}$	$pOH = 14 - pK_{HAn} + \lg \frac{C_{HAn}}{C_{KAn}}$
В точке эквивалентности (соль сильного основания и слабой кислоты)	$pH = 7 + \frac{1}{2} pK_{HAn} + \frac{1}{2} \lg C_{KAn}$	$pOH = 7 - \frac{1}{2} pK_{HAn} - \frac{1}{2} \lg C_{KAn}$
<i>Титрование слабого основания сильной кислотой</i>		
До начала титрования (слабое основание)	$pH = 14 - \frac{1}{2} pK_{KOH} + \frac{1}{2} \lg C_{KOH}$	$pOH = \frac{1}{2} pK_{KOH} - \frac{1}{2} \lg C_{KOH}$
До точки эквивалентности (буферная смесь слабого основания и её соли)	$pH = 14 - pK_{KOH} + \lg \frac{C_{KOH}}{C_{KAn}}$	$pOH = pK_{KOH} - \lg \frac{C_{KOH}}{C_{KAn}}$
В точке эквивалентности (соль слабого основания и сильной кислоты)	$pH = 7 - \frac{1}{2} pK_{KOH} - \frac{1}{2} \lg C_{KAn}$	$pOH = 7 + \frac{1}{2} pK_{KOH} + \frac{1}{2} \lg C_{KAn}$

## Построение кривых титрования

№	Титруемое вещество			Титрант		К <sub>ион</sub>
	Электролит	Концентрация, моль/дм <sup>3</sup>	Объем, см <sup>3</sup>	Электролит	Концентрация, моль/дм <sup>3</sup>	
101	HCl	0,1030	20,00	KOH	0,09270	—
102	HCl	0,09764	15,00	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,1147	$4,5 \cdot 10^{-7}$ $4,8 \cdot 10^{-11}$
103	HCl	0,08845	20,00	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,07540	$7,1 \cdot 10^{-3}$ $6,2 \cdot 10^{-8}$ $5,0 \cdot 10^{-13}$
104	HCOOH	0,01320	20,00	KOH	0,01570	$1,8 \cdot 10^{-4}$
105	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	0,08940	25,00	NaOH	0,09170	$6,3 \cdot 10^{-5}$
106	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH	0,05230	50,00	RbOH	0,04860	$1,3 \cdot 10^{-5}$
107	HNO <sub>2</sub>	0,06040	15,00	LiOH	0,05860	$6,9 \cdot 10^{-4}$
108	CH <sub>3</sub> COOH	0,1075	10,00	KOH	0,09320	$1,74 \cdot 10^{-5}$
109	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,02560	50,00	NaOH	0,02750	$5,6 \cdot 10^{-2}$ $5,4 \cdot 10^{-5}$
110	HClO	0,03670	20,00	KOH	0,03140	$2,9 \cdot 10^{-8}$
111	HCN	0,04830	100,0	LiOH	0,05180	$5,0 \cdot 10^{-10}$
112	HF	0,09180	25,00	NaOH	0,1052	$6,2 \cdot 10^{-4}$
113	NH <sub>4</sub> OH	0,04950	10,00	HCl	0,05180	$1,76 \cdot 10^{-5}$
114	NH <sub>2</sub> OH · H <sub>2</sub> O	0,01190	15,00	HNO <sub>3</sub>	0,01540	$9,33 \cdot 10^{-9}$
115	NH <sub>4</sub> OH	0,05920	50,00	HI	0,04250	$1,76 \cdot 10^{-5}$
116	NH <sub>4</sub> OH	0,12500	10,00	HNO <sub>3</sub>	0,1360	$1,76 \cdot 10^{-5}$
117	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,1000	20,00	KOH	0,05000	$4,5 \cdot 10^{-7}$ $4,8 \cdot 10^{-11}$
118	H <sub>2</sub> S	0,05000	50,00	KOH	0,01000	$8,9 \cdot 10^{-8}$ $1,3 \cdot 10^{-13}$
119	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,1010	10,00	NaOH	0,1510	$7,1 \cdot 10^{-10}$ $1,8 \cdot 10^{-13}$ $1,6 \cdot 10^{-14}$
120	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,1020	10,00	KOH	0,1130	$7,1 \cdot 10^{-3}$ $6,2 \cdot 10^{-8}$ $5,0 \cdot 10^{-13}$
121	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,08815	10,00	LiOH	0,07964	—
122	HNO <sub>3</sub>	0,09360	25,00	NaOH	0,09870	—
123	HClO <sub>4</sub>	0,05140	50,00	NH <sub>4</sub> OH	0,05630	—
124	HBr	0,08730	100,0	NH <sub>4</sub> OH	0,09340	—
125	HI	0,1105	15,00	RbOH	0,1070	—



## Индикаторные ошибки кислотно-основного титрования

При титровании сильных кислот и оснований:

$\Delta H^+$  — водородная ошибка. Значение  $pT$  индикатора меньше, чем  $pH$  в точке эквивалентности:

$$\Delta H^+ = -\frac{10^{-pT} \cdot (V_0 + V_T)}{C_0 \cdot V_0} \cdot 100 \%;$$

$\Delta OH^-$  — гидроксильная ошибка. Значение  $pT$  индикатора больше, чем  $pH$  в точке эквивалентности:

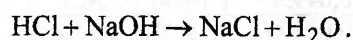
$$\Delta OH^- = -\frac{10^{-(14-pT)} (V_0 + V_T)}{C_0 \cdot V_0} \cdot 100 \%.$$

При титровании слабых кислот и оснований:

$$\Delta H_{An} \text{ — кислотная ошибка: } \Delta H_{An} = -\frac{10^{-pT}}{K_a};$$

$$\Delta MeOH \text{ — щелочная ошибка: } \Delta MeOH = -\frac{10^{-(14-pT)}}{K_b}.$$

**Пример.** Чему равна индикаторная ошибка титрования 0,1 М HCl 0,1 М раствором NaOH с метиловым оранжевым, если  $pT_{м.о} = 4$ ?



$pH_{т.э} = 7$ , так как  $pT < pH_{т.э}$  — водородная ошибка.

Концентрации титранта и титруемого вещества равны, следовательно, в точке эквивалентности объем удваивается.

$$\Delta H = \frac{-10^{-4} \cdot 2V_1}{0,1 \cdot V_1} \cdot 100 = -0,2 \%.$$

Раствор недотитрован. Индикатор подходит для титрования.

**Вычисление ошибки титрования и определение пригодности индикаторов для фиксирования точки эквивалентности**

№	Концентрация, моль/дм <sup>3</sup>		Индикатор	$pT_{инд}$
	Определяемое вещество	Титрант		
126	0,01 М HNO <sub>3</sub>	0,01 М NH <sub>4</sub> OH	Бромкрезоловый синий	5,1
127	0,025 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,025 М NaOH	Метиловый красный	5,5
128	0,1 М HCOOH	0,1 М KOH	Тимолфталейн	10,0

Окончание табл.

№	Концентрация, моль/дм <sup>3</sup>		Индикатор	$pT_{инд}$
	Определяемое вещество	Титрант		
129	0,02 М HCl	0,02 М NH <sub>4</sub> OH	Фенолфталеин	9,0
130	0,03 М HBr	0,03 М NaOH	Фенолфталеин	9,3
131	0,025 М HClO <sub>4</sub>	0,025 М KOH	Метиловый оранжевый	4,0
132	0,025 М HClO <sub>4</sub>	0,025 М NH <sub>4</sub> OH	Метиловый оранжевый	4,0
133	0,02 М CH <sub>3</sub> COOH	0,02 М NaOH	Метиловый оранжевый	4,0
134	0,02 М CH <sub>3</sub> COOH	0,02 М NH <sub>4</sub> OH	Метиловый оранжевый	4,0
135	0,02 М HCOOH	0,02 М KOH	Фенолфталеин	9,0
136	0,02 М HCOOH	0,02 М NH <sub>4</sub> OH	Фенолфталеин	9,0
137	0,02 М HCOOH	0,02 М NH <sub>4</sub> OH	Нейтральный красный	7,0
138	0,025 М C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	0,0125 М KOH	Бромкрезоловый синий	5,1
139	0,1 М C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	0,1 М NaOH	Тимолфталейн	10,0
140	0,01 М C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	0,1 М NaOH	Метиловый красный	5,5
141	0,2 М C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	0,1 М NaOH	Метиловый оранжевый	4,0
142	0,01 М HNO <sub>2</sub>	0,01 М KOH	Фенолфталеин	9,0
143	0,01 М HNO <sub>2</sub>	0,01 М KOH	Метиловый красный	5,5
144	0,01 М HNO <sub>2</sub>	0,01 М KOH	Бромкрезоловый синий	5,1
145	0,01 М HNO <sub>2</sub>	0,01 М KOH	Метиловый оранжевый	4,0
146	0,05 М HBr	0,05 М NaOH	Метиловый оранжевый	4,0
147	0,03 М HBr	0,03 М NH <sub>4</sub> OH	Фенолфталеин	9,0
148	0,025 М HCl	0,025 М KOH	Метиловый красный	5,5
149	0,1 М HCl	0,1 М NaOH	Феноловый красный	7,0
150	0,1 М HCl	0,1 М NaOH	Фенолфталеин	9,0

## Способы выражения концентрации

$M_э$  — молярная масса эквивалента, моль/дм<sup>3</sup>;

$C(f_{эв})$  — молярная концентрация эквивалента (нормальная), моль/дм<sup>3</sup>.

Фактор эквивалентности ( $f_{эв}$ ) — число, показывающее долю реальной частицы вещества, эквивалентную одному иону водорода в кислотно-основной реакции или одному электрону в окислительно-восстановительной реакции.

В реакциях комплексообразования и осаждения для расчетов используют молярные концентрации и молярные массы.

Титр — количество граммов растворенного вещества, содержащегося в 1 см<sup>3</sup> раствора:

$$T = \frac{m}{V} \text{ (г/см}^3\text{)}.$$

Кроме того, титр может быть вычислен через молярную концентрацию эквивалента  $C_{\text{ф.экв}}$  и эквивалентную массу вещества:

$$T_A = \frac{C_{\text{ф.экв. A}} \cdot M_{\text{э(A)}}}{1000},$$

а также по определяемому веществу:

$$T_{A/B} = \frac{C_{\text{ф.экв. A}} \cdot M_{\text{э(B)}}}{1000} = \frac{T_A \cdot M_{\text{э(B)}}}{M_{\text{э(A)}}}.$$

**Пример.** Вычислить титр раствора Ba(OH)<sub>2</sub>, если молярная концентрация эквивалента его составляет 0,1108 моль/дм<sup>3</sup>.

$$T_{\text{Ba(OH)}_2} = \frac{C_{\text{ф.экв.}} \cdot M_{\text{эBa(OH)}_2}}{1000} = \frac{0,1108 \cdot 85,68}{1000} = 0,009491 \text{ г/см}^3.$$

#### Расчет титров следующих растворов

№	Вещество	$C_{\text{ф.экв.}}$ , моль/дм <sup>3</sup>	№	Вещество	$C_{\text{ф.экв.}}$ , моль/дм <sup>3</sup>
151	HBr	1,0000	164	KMnO <sub>4</sub>	0,05000
152	NH <sub>4</sub> OH	0,1000	165	H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,03600
153	BaCl <sub>2</sub>	0,05000	166	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	0,1520
154	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,01000	167	CuSO <sub>4</sub>	0,04350
155	HNO <sub>3</sub>	0,5000	168	FeCl <sub>3</sub>	0,01570
156	KOH	0,3000	169	Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,03140
157	AlCl <sub>3</sub>	0,02000	170	Ba(OH) <sub>2</sub>	0,2350
158	HCl	0,01000	171	KI	0,04270
159	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,0500	172	Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,03850
160	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,03000	173	Cr <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,1230
161	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02500	174	Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0,03980
162	SnCl <sub>2</sub>	1,0600	175	NaNO <sub>2</sub>	0,05230
163	KMnO <sub>4</sub>	0,05000			

#### Расчет титров по определяемому веществу ( $T_{A/B}$ )

№	A	T, г/см <sup>3</sup>	B	№	A	T, г/см <sup>3</sup>	B
176	AgNO <sub>3</sub>	0,01100	Br <sup>-</sup>	189	KMnO <sub>4</sub>	0,03870	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
177	AgNO <sub>3</sub>	0,01100	Cl <sup>-</sup>	190	KMnO <sub>4</sub>	0,04250	FeO
178	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,02360	NaOH	191	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,08760	Br <sub>2</sub>
179	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,02360	KOH	192	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,009180	I <sub>2</sub>
180	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,01930	CaO	193	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	0,01570	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
181	HCl	0,004270	NaOH	194	Na <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	0,03910	I <sub>2</sub>
182	HCl	0,006150	Ba(OH) <sub>2</sub>	195	Na <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	0,04230	Fe
183	HCl	0,01370	KOH	196	Na <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	0,03910	Br <sub>2</sub>
184	HNO <sub>3</sub>	0,01380	LiOH	197	H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	0,009250	KI
185	HNO <sub>3</sub>	0,02450	CuO	198	H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	0,08670	S
186	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,05190	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	199	KClO <sub>3</sub>	0,01360	KBr
187	HBr	0,03740	Hg	200	KClO <sub>3</sub>	0,009450	Na <sub>2</sub> S
188	HI	0,009230	Pb				

#### Расчет массы растворенных веществ по результатам титрования

Прямое титрование осуществляется двумя методами: методом отдельных навесок и методом пипетирования.

Метод пипетирования:

$$m(A) = \frac{C_{\text{ф.экв. T}} \cdot V_T \cdot M_{\text{э(A)}}}{1000} \cdot \frac{V_{\text{колбы}}}{V_{\text{аликвоты}}};$$

$$w(A), \% = \frac{C_{\text{ф.экв. T}} \cdot V_T \cdot M_{\text{э(A)}}}{1000 \cdot m_{\text{навески}}} \cdot \frac{V_{\text{колбы}}}{V_{\text{аликвоты}}} \cdot 100.$$

Метод отдельных навесок:

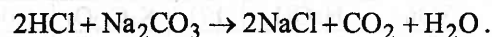
$$m(A) = \frac{C_{\text{ф.экв. T}} \cdot V_T \cdot M_{\text{э(A)}}}{1000};$$

$$w(A), \% = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{C_{\text{ф.экв. T}_1} \cdot V_{T_1}}{m_1} + \dots + \frac{C_{\text{ф.экв. T}_n} \cdot V_{T_n}}{m_n} \right) \cdot \frac{M_{\text{э(A)}}}{1000} \cdot 100,$$

где  $C_{\text{ф.экв. T}}$  — молярная концентрация эквивалента (нормальность) титранта, моль/дм<sup>3</sup>;  $V_T$  — объем титранта, дм<sup>3</sup>;  $M_{\text{э(A)}}$  — молярная

масса эквивалента (эквивалент) титруемого вещества А;  $m_1, \dots, m_n$  — навески;  $n$  — число навесок.

**Пример.** В колбе на 200,0 см<sup>3</sup> было растворено 0,6596 г Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, на титрование 15,00 см<sup>3</sup> полученного раствора было израсходовано 13,90 см<sup>3</sup> HCl. Определить  $T_{\text{HCl}}$  и  $C_{\text{ф. экв. HCl}}$ .



$$M_{\text{Э Na}_2\text{CO}_3} = \frac{1}{2} M_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = 52,99 \text{ г/моль}; M_{\text{Э HCl}} = M_{\text{HCl}} = 36,46 \text{ г/моль};$$

$$C_{\text{ф. экв. HCl}} = \frac{C_{\text{ф. экв. Na}_2\text{CO}_3} \cdot V_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{V_{\text{HCl}}} = \frac{T_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot 1000}{M_{\text{Э Na}_2\text{CO}_3}} \cdot \frac{V_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{V_{\text{HCl}}} =$$

$$= \frac{m_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{V_{\text{колбы}}} \cdot \frac{1000}{M_{\text{Э Na}_2\text{CO}_3}} \cdot \frac{V_{\text{Na}_2\text{CO}_3}}{V_{\text{HCl}}} = \frac{0,6596 \cdot 1000 \cdot 15,00}{250,0 \cdot 52,99 \cdot 13,90} = 0,05373 \text{ моль/дм}^3$$

$$T_{\text{HCl}} = \frac{C_{\text{ф. экв. HCl}} \cdot M_{\text{Э HCl}}}{1000} = \frac{0,05373 \cdot 36,46}{1000} = 0,01961 \text{ г/см}^3.$$

В методах *обратного титрования* массу и массовую долю определяемого вещества рассчитывают по формулам.

В методе пипетирования

$$m_A = \frac{(C_{\text{ф. экв. T}_1} V_{T_1} - C_{\text{ф. экв. T}_2} V_{T_2}) \cdot M_{\text{Э}}(A)}{1000} \cdot \frac{V_{\text{колбы}}}{V_{\text{аликвоты}}},$$

$$w(A), \% = \frac{(C_{\text{ф. экв. T}_1} V_{T_1} - C_{\text{ф. экв. T}_2} V_{T_2}) \cdot M_{\text{Э}}(A)}{1000 \cdot m_{\text{навески}}} \cdot \frac{V_{\text{колбы}}}{V_{\text{аликвоты}}} \cdot 100.$$

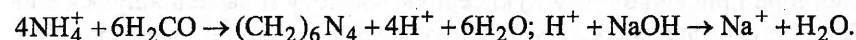
В методе отдельных навесок

$$m_A = \frac{(C_{\text{ф. экв. T}_1} V_{T_1} - C_{\text{ф. экв. T}_2} V_{T_2}) \cdot M_{\text{Э}}(A)}{1000};$$

$$w(A), \% = \frac{(C_{\text{ф. экв. T}_1} V_{T_1} - C_{\text{ф. экв. T}_2} V_{T_2}) \cdot M_{\text{Э}}(A)}{1000 \cdot m_{\text{навески}}} \cdot 100.$$

*Метод замещения* используется тогда, когда определяемое вещество с титрантом не взаимодействует или их взаимодействие протекает нестехиометрично. Расчет результатов титрования проводят по формулам, приведенным выше.

**Пример.** Из колбы вместимостью 100,0 см<sup>3</sup>, содержащей раствор хлорида аммония, взяли аликвоту 10,00 см<sup>3</sup>. К анализируемому раствору хлорида аммония прибавили избыток раствора формальдегида. Образовавшиеся в результате реакции ионы водорода оттитровали 12,50 см<sup>3</sup> 0,1000 М NaOH. Рассчитать массу хлорида аммония. Проявлением слабокислотных свойств формальдегида нужно пренебречь.



$$m_{\text{NH}_4\text{Cl}} = \frac{C_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot M_{\text{Э NH}_4\text{Cl}}}{1000} \cdot \frac{V_{\text{колбы}}}{V_{\text{аликвоты}}} =$$

$$= \frac{0,1000 \cdot 12,50 \cdot 53,49 \cdot 100,0}{1000 \cdot 10,00} = 0,6686 \text{ г}.$$

## КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ ТИТРОВАНИЕ

### Прямое титрование

201. Навеску Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> массой 0,5300 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 см<sup>3</sup>, 25,00 см<sup>3</sup> этого раствора оттитровали 24,50 см<sup>3</sup> HCl в присутствии метилового оранжевого. Вычислить молярную концентрацию эквивалента раствора карбоната натрия и молярную концентрацию раствора HCl.

202. Вычислить молярную концентрацию раствора HNO<sub>3</sub> и  $T_{\text{HNO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3}$ , если на титрование 0,2500 г химически чистой Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> израсходовали 20,50 см<sup>3</sup> этого раствора.

203. На титрование 20,00 см<sup>3</sup> раствора Ba(OH)<sub>2</sub> израсходовали 15,00 см<sup>3</sup> 0,2000 М HCl. Вычислить молярную концентрацию эквивалента и титр Ba(OH)<sub>2</sub>.

204. Вычислить молярную концентрацию эквивалента и титр H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, если на титрование 50,00 см<sup>3</sup> раствора Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, полученного растворением 0,5000 г его навески в мерной колбе на 200,0 см<sup>3</sup>, расходуется 24,00 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

205. Навеску уксусной кислоты массой 1,000 г растворили в мерной колбе вместимостью 200,0 см<sup>3</sup>. На титрование 20,00 см<sup>3</sup> этого раствора израсходовали 15,50 см<sup>3</sup> NaOH,  $T_{(\text{NaOH})} = 0,004088 \text{ г/см}^3$ . Вычислить массовую долю (%) CH<sub>3</sub>COOH в образце.

206. Какой объем 0,09950 М раствора NaOH потребуется для нейтрализации примеси муравьиной кислоты в формалине, навеска которого равна 10,00 г? Массовая доля кислоты составляет 0,04 %.

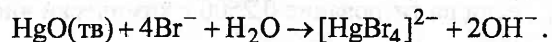
207. Для определения содержания основного продукта в калиевой соли  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты навеску массой 0,7524 г растворили в мерной колбе вместимостью 500,0 см<sup>3</sup>. К 100,0 см<sup>3</sup> полученного раствора прибавили 10%-ную серную кислоту и выделившуюся свободную  $\alpha$ -нафтилуксусную кислоту трижды проэкстрагировали бензолом. Вытяжки собрали вместе, бензол отогнали, кислоту растворили в воде и оттитровали 12,63 см<sup>3</sup> 0,01200 М КОН в присутствии фенолфталеина. Определить массовую долю кислоты.  $M(C_{11}H_9COOK) = 224,3$  г/моль.

208. На титрование 0,2290 г чистой органической кислоты до перехода окраски фенолфталеина потребовалось 29,80 см<sup>3</sup> 0,1000 М NaOH. Какова эквивалентная масса кислоты?

209. Навеску азотной кислоты 0,5050 г перевели в раствор и оттитровали 5,05 см<sup>3</sup> 0,2080 М NaOH. Вычислить массовую долю N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в навеске кислоты.

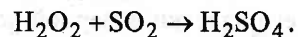
210. В колбе до 250,0 см<sup>3</sup> разбавили 25,00 см<sup>3</sup> моющего раствора. На титрование 50,00 см<sup>3</sup> этого раствора до перехода окраски бромкрезолового зеленого пошло 40,00 см<sup>3</sup> 0,2500 М HCl. Рассчитать содержание аммиака в процентах, если щелочность образца определяется только этим компонентом.

211. Раствор HClO<sub>4</sub> стандартизировали по раствору, содержащему 0,3741 г оксида ртути HgO в растворе бромида калия KBr:



На титрование OH<sup>-</sup> потребовалось 37,70 см<sup>3</sup> хлорной кислоты. Рассчитать молярную концентрацию эквивалента хлорной кислоты.

212. Навеску серусодержащего органического соединения массой 0,1210 г сожгли в токе O<sub>2</sub>. Выделившийся SO<sub>2</sub> поглотили раствором H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:



На титрование образовавшейся кислоты израсходовано 20,50 см<sup>3</sup> 0,1070 М КОН. Рассчитать процент серы в образце.

213. Сколько грамм КОН и K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> содержит препарат едкого кали, если на титрование его раствора в произвольном объеме воды с фе-

нолфталеином пошло 22,40 см<sup>3</sup> соляной кислоты, а с метилоранжем — 25,80 см<sup>3</sup> 0,09500 М HCl?

214. Какую навеску янтарной кислоты H<sub>2</sub>C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub> следует взять для стандартизации 0,1000 М КОН, если кислоту растворить в колбе 250,0 см<sup>3</sup>?

215. Сколько грамм H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> содержится в данном растворе, если на титрование этой кислоты израсходовано 23,85 см<sup>3</sup> 0,1539 М раствора КОН?

216. Определить молярную концентрацию эквивалента и титр раствора NaOH, если на титрование 0,1495 г янтарной кислоты, растворенной в произвольном объеме, расходуется 25,20 см<sup>3</sup> щелочи.

217. Для установки титра H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> была взята навеска буры массой 0,4718 г. На титрование этого количества буры, растворенной в произвольном объеме, затрачено 18,75 см<sup>3</sup> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Вычислить  $T_{H_2SO_4/Na_2B_4O_7}$  и  $C_{f экв. H_2SO_4}$ .

218. Растворением навески тетрабората натрия (буры) массой 0,6227 г приготовили 200,0 см<sup>3</sup> раствора, из которого 20,00 см<sup>3</sup> оттитровали 19,50 см<sup>3</sup> раствора HCl. Вычислить молярную концентрацию эквивалента Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> и молярную концентрацию HCl.

219. Для приготовления 250,0 см<sup>3</sup> раствора бифталата калия C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>COONaCOOK взята навеска массой 5,000 г. Определить молярную концентрацию эквивалента и титр раствора КОН, если на титрование 20,00 см<sup>3</sup> щелочи расходуется 19,55 см<sup>3</sup> раствора бифталата калия.

220. Определить  $T_{NaOH/H_3PO_4}$  и массу кислоты в данном растворе, если при титровании данного раствора израсходовано 21,30 см<sup>3</sup> 0,2057 М NaOH.

221. При титровании 25,00 см<sup>3</sup> раствора, содержащего смесь NaHCO<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, с фенолфталеином израсходовано 9,46 см<sup>3</sup>, а с метилоранжем — 24,85 см<sup>3</sup> 0,1010 М HCl. Сколько NaHCO<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> содержится в 200,0 см<sup>3</sup> раствора?

222. Сколько грамм КОН и K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> содержит навеска препарата технического едкого кали, если на титрование ее раствора в произвольном количестве воды при использовании фенолфталеина в качестве индикатора расходуется 22,40 см<sup>3</sup> 0,0950 М HCl, а при использовании метилоранжа — 25,80 см<sup>3</sup>?



223. Уксусную кислоту приготовили путем растворения  $1,00 \text{ см}^3$  ледяной кислоты в колбе на  $500,0 \text{ см}^3$ . Определить титр и молярную концентрацию эквивалента уксусной кислоты, если на титрование  $15,00 \text{ см}^3$  полученного раствора израсходовано  $17,25 \text{ см}^3$   $0,09360 \text{ М}$  КОН.

224. Определить молярную концентрацию эквивалента и титр раствора NaOH, если на титрование навески  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  массой  $0,1487 \text{ г}$ , растворенной в произвольном объеме, расходуется  $21,30 \text{ см}^3$  раствора NaOH.

225. Определить массовую долю примесей в образце технической азотной кислоты, если на титрование ее  $1,000 \text{ г}$  идет  $25,00 \text{ см}^3$  КОН с  $T_{\text{КОН}} = 0,01120 \text{ г/см}^3$ .

#### *Обратное титрование, метод замещения*

226. Азот из навески органического вещества массой  $1,000 \text{ г}$  с помощью концентрированной серной кислоты переведен в  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . При кипячении соли с концентрированной щелочью выделившийся аммиак поглощен  $50,00 \text{ см}^3$   $0,1500 \text{ М}$  ( $1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ). На обратное титрование затрачено  $12,00 \text{ см}^3$  раствора  $0,09980 \text{ М}$  NaOH. Вычислить массовую долю азота в навеске.

227. Навеску карбоната натрия массой  $0,1054 \text{ г}$  обработали  $25,00 \text{ см}^3$   $0,2000 \text{ М}$  HCl; избыток кислоты оттитровали  $25,40 \text{ см}^3$   $0,1200 \text{ М}$  NaOH. Вычислить массовую долю  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

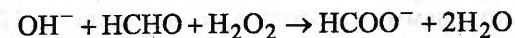
228. Вычислить величину навески химически чистого  $\text{CaCO}_3$ , если после ее обработки  $50,00 \text{ см}^3$   $0,2000 \text{ М}$  раствора HCl на титрование остатка кислоты израсходовано  $10,00 \text{ см}^3$  раствора NaOH. Установлено, что на титрование  $25,00 \text{ см}^3$  NaOH расходуется  $24,00 \text{ см}^3$  HCl.

229. Навеску  $1,5000 \text{ г}$  технического  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  растворили в мерной колбе вместимостью  $250,00 \text{ см}^3$ ;  $25,00 \text{ см}^3$  этого раствора прокипятили с концентрированной щелочью. Выделившийся при этом аммиак поглощен  $40,00 \text{ см}^3$   $0,1040 \text{ М}$  ( $1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ) переведен в  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . При кипячении соли с концентрированной щелочью выделившийся аммиак поглощен  $50,00 \text{ см}^3$   $0,1500 \text{ М}$  ( $1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ). А на обратное титрование израсходовано  $25,00 \text{ см}^3$  раствора  $0,09700 \text{ М}$  NaOH. Вычислить массовую долю аммиака в навеске  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

230. Навеска массой  $1,6160 \text{ г}$  технического сульфата аммония для определения содержания в нем  $\text{NH}_3$  растворена в мерной колбе на  $250,0 \text{ см}^3$ . При кипячении  $25,00 \text{ см}^3$  полученного раствора с концентрированной NaOH выделившийся аммиак поглощен  $40,00 \text{ см}^3$   $0,1020 \text{ М}$  ( $1/2 (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), а избыток кислоты оттитрован  $0,09600 \text{ М}$  NaOH. На обратное титрование израсходовано  $17,00 \text{ см}^3$  NaOH. Вычислите процент  $\text{NH}_3$  в техническом образце.

231. Пробу массой  $0,8160 \text{ г}$ , содержащую диметилфталат  $\text{C}_6\text{H}_4(\text{COOCH}_3)_2$  ( $M = 154 \text{ г/моль}$ ) и неактивные компоненты, разложили кипячением с  $50,00 \text{ см}^3$   $0,1030 \text{ М}$  NaOH. По окончании реакции на титрование избытка гидроксида натрия израсходовали  $24,20 \text{ см}^3$   $0,1640 \text{ М}$  HCl. Рассчитайте процентное содержание диметилфталата в пробе.

232. Для определения формальдегида в препарате пестицида в колбу, содержащую  $50,00 \text{ см}^3$   $0,9960 \text{ М}$  NaOH и  $50,00 \text{ см}^3$  перекиси водорода, поместили  $2,700 \text{ г}$  жидкой пробы. После протекания реакции



избыток щелочи оттитровали  $23,30 \text{ см}^3$   $1,010 \text{ М}$  ( $1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ). Рассчитайте процентное содержание муравьиной кислоты в пробе.

233. Продажный КОН массой  $1,210 \text{ г}$ , имеющий примесь  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , растворили в воде и разбавили до  $500,0 \text{ см}^3$ , из которых  $50,00 \text{ см}^3$  обработали  $40,00 \text{ см}^3$   $0,05300 \text{ М}$  HCl и прокипятили до удаления  $\text{CO}_2$ . На титрование избытка кислоты израсходовали  $4,74 \text{ см}^3$   $0,04980 \text{ М}$  NaOH. Вычислите процентное содержание КОН в техническом образце.

234. Пробу массой  $14,35 \text{ г}$ , содержащую  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и неактивные компоненты, растворили и разбавили до  $200,0 \text{ см}^3$  в мерной колбе. К  $50,00 \text{ см}^3$  раствора прибавили щелочь и выделившийся  $\text{NH}_3$  отогнали в  $30,00 \text{ см}^3$   $0,08420 \text{ М}$  HCl. На титрование избытка HCl израсходовано  $10,0 \text{ см}^3$   $0,08800 \text{ М}$  NaOH. Рассчитайте массовую долю (%)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в пробе.

235. Для определения  $\text{Mg}^{2+}$  его осадили в виде  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$ , осадок растворили в  $50,00 \text{ см}^3$  HCl. Избыток кислоты оттитрован  $15,50 \text{ см}^3$   $0,1010 \text{ М}$  NaOH. Какова масса  $\text{Mg}^{2+}$ , если на титрование  $20,00 \text{ см}^3$  HCl расходуется  $18,10 \text{ см}^3$  щелочи?

236. К раствору сульфата аммония добавили  $20,00 \text{ мл}$  раствора NaOH с  $T(\text{NaOH}) = 0,008540 \text{ г/см}^3$ . Кипячением удалили аммиак, а

избыток гидроксида оттитровали 7,50 см<sup>3</sup> раствора HCl с  $T(\text{HCl}) = 0,005720 \text{ г/см}^3$ . Вычислить массу  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в анализируемом растворе.

237. Навеску массой 1,5300 г, содержащую  $\text{CaCO}_3$  и инертные примеси, растворили в 0,2000 М HCl и довели объем до 250,0 см<sup>3</sup>. Отобрали 50,00 см<sup>3</sup> этого раствора и оттитровали избыток кислоты 13,70 см<sup>3</sup> 0,02500 М KOH. Определить массовую долю (%)  $\text{CaCO}_3$  в образце.

238. Для определения содержания  $\text{BaCl}_2$  в образце массой 1,1234 г барий осадили в виде  $\text{BaSO}_4$ , для чего добавили 25,00 см<sup>3</sup> 0,2000 М  $(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4)$ . Избыток кислоты оттитровали. Было затрачено 3,25 см<sup>3</sup> 0,05000 М HCl. Определите массовую долю (%) бария в образце.

239. Для определения  $\text{NH}_3$  в солях аммония 0,3200 г образца, содержащего  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и инертные примеси, растворили в воде и к этому раствору добавили 40,00 см<sup>3</sup> 0,09975 М NaOH. Избыток щелочи оттитровали 0,1015 М HCl. Было затрачено 7,50 см<sup>3</sup> HCl. Определить массовую долю (%) аммиака в образце.

240. Сколько грамм известняка, содержащего 12 % инертных примесей, было взято для анализа, если после обработки навески 50,00 см<sup>3</sup> 0,2000 М HCl на титрование избытка кислоты расходуется 8,00 см<sup>3</sup> NaOH. Известно, что 25,00 см<sup>3</sup> HCl реагируют с 24,10 см<sup>3</sup> NaOH.

241. Органическое вещество массой 0,8881 г обработали концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и перевели азот в сульфат аммония, при кипячении которого с концентрированным NaOH был получен аммиак. Выделившийся  $\text{NH}_3$  был поглощен 50,00 см<sup>3</sup> 0,1200 М HCl. Сколько процентов азота содержит органическое вещество, если на титрование избытка HCl израсходовано 12,00 см<sup>3</sup> 0,09800 М KOH?

242. К анализируемому раствору хлорида аммония прибавили 25,00 см<sup>3</sup> раствора NaOH с  $T(\text{NaOH}) = 0,004500 \text{ г/см}^3$ , затем кипячением удалили из раствора аммиак, а избыток NaOH оттитровали 10,50 см<sup>3</sup> раствора HCl с  $T(\text{HCl}) = 0,003750 \text{ г/см}^3$ . Вычислить массу аммиака в анализируемом растворе.

243. Навеску азотной кислоты массой 1,0100 г перевели в раствор, содержащий 25,00 см<sup>3</sup> 0,5020 М раствора NaOH. Оставшийся после реакции избыток NaOH оттитровали 10,50 см<sup>3</sup> 0,1010 М HCl. Вычислить массовую долю  $\text{HNO}_3$  в кислоте.

244. Какую массу нитрата натрия следует взять для анализа, чтобы после восстановления  $\text{NO}_3^-$  выделившийся аммиак мог быть поглощен 40,00 см<sup>3</sup> 0,1044 М HCl, а избыток кислоты оттитрован 20,00 см<sup>3</sup> 0,1112 М NaOH.

245. Пробу соли аммония массой 1,0000 г обработали избытком концентрированного NaOH. Выделившийся аммиак был поглощен 50,00 см<sup>3</sup> 1,0510 М HCl. Избыток кислоты оттитровали 25,00 см<sup>3</sup> раствора NaOH;  $T_{\text{NaOH}} = 0,04200 \text{ г/см}^3$ . Вычислить массовую долю (%) аммиака в пробе соли.

246. К навеске химически чистого  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  массой 0,1000 г прибавили 50,00 см<sup>3</sup> 0,2000 М  $(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4)$ . На обратное титрование избытка кислоты с метиловым оранжевым израсходовали 15,00 см<sup>3</sup> NaOH. Определить молярную концентрацию раствора щелочи.

247. Образец стали массой 1,0000 г растворили в HCl. Содержащийся в стали вольфрам окислили до  $\text{H}_2\text{WO}_4$ . Осадок отфильтровали, промыли и растворили в 40,00 см<sup>3</sup> NaOH, имеющей  $T_{\text{NaOH}/W} = 0,001020 \text{ г/см}^3$ . Сколько процентов W в стали, если на титрование избытка NaOH израсходовано 18,00 см<sup>3</sup>  $\text{HNO}_3$ . Азотная кислота объемом 1,00 см<sup>3</sup> реагирует с 1,02 см<sup>3</sup> раствора NaOH.

248. Образец сплава массой 1,5000 г растворили в концентрированной HCl. Цинк, содержащийся в сплаве, осадили в виде  $\text{ZnNH}_4\text{PO}_4$ . Осадок промыли и растворили в 50,00 см<sup>3</sup> KOH с  $T_{\text{KOH}/\text{Zn}} = 0,001120 \text{ г/см}^3$ . Сколько процентов цинка в сплаве, если на титрование избытка щелочи израсходовано 16,50 см<sup>3</sup>  $\text{HNO}_3$ ?  $\text{HNO}_3$  объемом 10,00 см<sup>3</sup> реагирует с 10,35 см<sup>3</sup> раствора KOH.

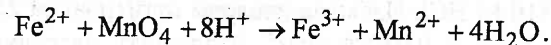
249. Для определения аммонийного азота навеску удобрения массой 1,9643 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 см<sup>3</sup>. К 25,00 см<sup>3</sup> полученного раствора добавили формальдегид и выделившуюся кислоту оттитровали 16,50 см<sup>3</sup> раствора NaOH с  $T_{\text{NaOH}} = 0,002005$ . На титрование формальдегида в холостом опыте израсходовали 0,50 мл NaOH. Вычислить массовую долю (%) азота в удобрении.

250. В каком объеме соляной кислоты с  $T = 0,003918 \text{ г/см}^3$  нужно растворить навеску  $\text{CaCO}_3$  массой 0,1301 г, чтобы на титрование избытка кислоты с метиловым оранжевым израсходовать 18,50 см<sup>3</sup> раствора NaOH с  $T_{\text{NaOH}/\text{CaO}} = 0,002514 \text{ г/см}^3$ .

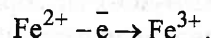


## ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ ТИТРОВАНИЕ

**Пример.** Вычислить потенциал системы, если к 10,00 см<sup>3</sup> 0,05000 М раствора соли мора добавили 0,5000 М (1/5 KMnO<sub>4</sub>) в объеме: а) 5,80 см<sup>3</sup>; б) 10,00 см<sup>3</sup>; в) 11,20 см<sup>3</sup> при [H<sup>+</sup>] = 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.



1. До точки эквивалентности потенциал системы определяется полуреакцией

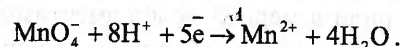


$$\begin{aligned} E &= E_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 + \frac{0,058}{1} \lg \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} = \\ &= 0,771 + 0,058 \lg \frac{C_{(1/5 \text{KMnO}_4)} \cdot V_{\text{KMnO}_4}}{C_{\text{Fe}^{2+}} \cdot V_{\text{Fe}^{2+}} - C_{(1/5 \text{KMnO}_4)} \cdot V_{\text{KMnO}_4}} = \\ &= 0,771 + 0,058 \lg \frac{0,05 \cdot 5,80}{10,00 \cdot 0,5 - 0,05 \cdot 5,80} = 0,70 \text{ В}. \end{aligned}$$

2. В точке эквивалентности —

$$E = \frac{nE_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^0 + mE_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0}{n+m} = \frac{5 \cdot 1,51 + 0,771}{5+1} = 1,39 \text{ В}.$$

3. После точки эквивалентности: потенциал системы определяется полуреакцией



$$\begin{aligned} E &= E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}}^0 + \frac{0,058}{5} \lg \frac{[\text{MnO}_4^-] \cdot [\text{H}^+]^8}{[\text{Mn}^{2+}]} = \\ &= 1,51 + \frac{0,058}{5} \lg \frac{(C_{1/5 \text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4} - C_{\text{Fe}^{2+}} \cdot V_{\text{Fe}^{2+}}) \cdot (10^{-1})^8}{C_{\text{Fe}^{2+}} \cdot V_{\text{Fe}^{2+}}} = \\ &= 1,51 + 0,012 \cdot \lg \frac{(0,05 \cdot 11,20 - 0,05 \cdot 10,00) \cdot 10^{-8}}{0,05 \cdot 10,00} = 1,40 \text{ В}. \end{aligned}$$

## Вычисление потенциала системы ( $E_{\text{red/ox}}$ )

251. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,05215 М (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O в 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> добавлено 5,20; 10,55; 11,60 см<sup>3</sup> 0,04967 М (1/6 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).

252. К 15,00 см<sup>3</sup> 0,05420 М (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O при pH = 2,0 добавлено 3,20; 16,20; 16,30 см<sup>3</sup> 0,0500 М (1/2 NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>).

253. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,1015 М (1/2 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) в 0,1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> добавлено 10,10; 10,15; 10,20 см<sup>3</sup> 0,1000 М (1/5 KMnO<sub>4</sub>).

254. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,05345 М (1/2 H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) в присутствии 8 см<sup>3</sup> 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> добавлено 2,70; 10,40; 11,80 см<sup>3</sup> 0,05500 М (1/5 KMnO<sub>4</sub>).

255. К 15,00 см<sup>3</sup> 0,04219 М (1/2 Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) в 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> добавлено 9,80; 15,00; 15,50 см<sup>3</sup> 0,04196 М Ce(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.

256. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,05205 М (1/6 KBrO<sub>3</sub>) при pH = 2,6 добавлено 9,80; 10,40; 10,45 см<sup>3</sup> 0,05000 М (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O).

257. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,1212 М (1/2 SbCl<sub>3</sub>) при pH = 1,8 добавлено 2,75; 12,12; 12,30 см<sup>3</sup> 0,1000 М (1/6 KBrO<sub>3</sub>).

258. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O) добавлено 5,90; 10,00; 10,05 см<sup>3</sup> 0,1000 М (1/2 I<sub>2</sub>).

259. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,09856 М (1/4 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в 1 М HCl добавлено 9,73; 9,80; 9,86 см<sup>3</sup> 0,1000 М (1/2 I<sub>2</sub>).

260. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,05060 М (1/5 KMnO<sub>4</sub>) при [H<sup>+</sup>] = 10<sup>-3</sup> М добавлено 8,55; 10,20; 10,25 см<sup>3</sup> 0,04961 М (1/4 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

261. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,1020 М K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> при pH = 2,5 добавлено 7,70; 10,70; 13,70 см<sup>3</sup> 0,09532 М (1/5 KMnO<sub>4</sub>).

262. К 15,00 см<sup>3</sup> 0,05000 М (1/2 Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) в 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> добавлено 10,00; 13,50; 13,55 см<sup>3</sup> 0,05534 М (1/5 KMnO<sub>4</sub>).

263. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,1568 М (1/6 KIO<sub>3</sub>) при pH = 2,3 М добавлено 6,80; 10,85; 11,30 см<sup>3</sup> 0,1445 М (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O).

264. К 15,00 см<sup>3</sup> 0,05827 М K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> добавлено 14,00; 14,56; 14,72 см<sup>3</sup> 0,06000 М (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O).

265. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,03275 М (1/4 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> добавлено 5,45; 10,96; 11,54 см<sup>3</sup> 0,02987 М (Ce(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>).

266. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,02525 М (1/2 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) при [H<sup>+</sup>] = 10<sup>-2</sup> М добавлено 5,10; 10,10; 15,00 см<sup>3</sup> 0,02500 М (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O).

267. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,01516 М (KI) при pH = 1,5 добавлено 10,50; 15,20; 16,40 см<sup>3</sup> 0,01000 М (1/6 KIO<sub>3</sub>).

268. К 15,00 см<sup>3</sup> 0,1064 М (1/2 SbCl<sub>3</sub>) при [H<sup>+</sup>] = 10<sup>-3</sup> М добавлено 10,00; 15,00; 16,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М (1/6 KIO<sub>3</sub>).

269. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,1200 М (1/2 SnCl<sub>2</sub>) при pH = 1,9 добавлено 1,30 см<sup>3</sup>; 11,90 см<sup>3</sup>; 12,10 см<sup>3</sup> 0,1000 М (1/6 KIO<sub>3</sub>).

270. К 15,00 см<sup>3</sup> 0,05000 М (1/2 Hg<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) при pH = 2,8 добавлено 1,80 см<sup>3</sup>; 12,50 см<sup>3</sup>; 12,60 см<sup>3</sup> 0,06000 М (1/6 KIO<sub>3</sub>).

271. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,08531 М (1/2 Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) в 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> добавлено 6,20 см<sup>3</sup>; 8,50 см<sup>3</sup>; 8,53 см<sup>3</sup> 0,1000 М Ce (SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>.

272. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М (1/2 NaNO<sub>2</sub>) при pH = 3,1 добавлено 3,30 см<sup>3</sup>; 10,80 см<sup>3</sup>; 11,30 см<sup>3</sup> 0,08965 М (1/5 KMnO<sub>4</sub>).

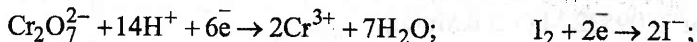
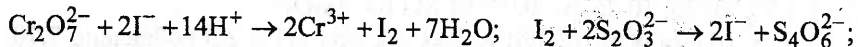
273. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,05627 М FeSO<sub>4</sub> при [H<sup>+</sup>] = 10<sup>-2</sup> М добавлено 4,20 см<sup>3</sup>; 11,00 см<sup>3</sup>; 11,25 см<sup>3</sup> 0,05000 М (1/2 NaNO<sub>2</sub>).

274. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,1250 М (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) при [H<sup>+</sup>] = 0,1 М добавлено 6,55 см<sup>3</sup>; 7,92 см<sup>3</sup>; 8,54 см<sup>3</sup> 0,1578 М (1/2 I<sub>2</sub>).

275. К 10,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М FeSO<sub>4</sub> при pH = 0 добавлено 1,35 см<sup>3</sup>; 8,86 см<sup>3</sup>; 8,87 см<sup>3</sup> 0,1128 М (1/2 Br<sub>2</sub>).

### Вычисление результатов титрования

**Пример.** Навеска бихромата калия массой 0,1180 г в кислой среде обработана йодидом калия и оттитрована раствором тиосульфата натрия, которого было израсходовано 23,80 см<sup>3</sup>. Чему равен титр раствора тиосульфата натрия?



$$T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = \frac{C_{(1/2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} \cdot M_{\text{Э}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}}{1000} = \frac{m_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}}{V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot M_{\text{Э}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}} \times$$

$$\times M_{\text{Э}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} = \frac{0,1180 \cdot 152,10}{23,80 \cdot 49,03} = 0,01599 \text{ г/см}^3.$$

276. Для установки титра раствора перманганата калия взято 0,1152 г электролитического железа, которое растворено в серной кислоте, восстановлено и оттитровано устанавливаемым раствором перманганата калия, которого было израсходовано 40,35 см<sup>3</sup>. Определить для раствора перманганата калия титр, молярную концентрацию эквивалента и поправочный коэффициент к концентрации.

277. При установке титра раствора тиосульфата натрия взят 1,1780 г бихромата калия и растворен в мерной колбе на 250,00 см<sup>3</sup>. На титрование 25,00 см<sup>3</sup> раствора израсходовано 23,38 см<sup>3</sup> раствора тиосульфата натрия. Чему равны молярная концентрация эквивалента раствора тиосульфата натрия и поправочный коэффициент к концентрации?

278. Навеска образца железной руды массой 1,7950 г растворена, восстановлена, раствор разведен до объема в мерной колбе до объема 250,0 см<sup>3</sup>. На титрование 20,00 см<sup>3</sup> этого раствора расходуется 18,65 см<sup>3</sup> раствора перманганата калия с титром T = 0,001842 г/см<sup>3</sup>. Вычислить массовую долю железа в образце.

279. Навеска безводной щавелевой кислоты массой 0,06895 г растворена в произвольном объеме воды и целиком оттитрована устанавливаемым раствором перманганата калия, которого было израсходовано 30,82 см<sup>3</sup>. Определить для раствора перманганата калия титр, молярную концентрацию эквивалента и поправочный коэффициент к концентрации.

280. Для анализа растворили 0,1254 г бихромата калия. Выделенный из йодида калия йод оттитрован 24,85 см<sup>3</sup> 0,09978 М (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O). Вычислить массовую долю (%) оксида хрома (6) в образце.

281. К 10,00 см<sup>3</sup> сероводородной воды прибавлено 50,00 см<sup>3</sup> раствора йода, на титрование избытка которого потребовалось 32,79 см<sup>3</sup> раствора тиосульфата натрия. Вычислить процент сероводорода в воде, если поправочный коэффициент K = 1,1120 к 0,1 М (1/2 I<sub>2</sub>), а K = 0,9730 к 0,1 М (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5 H<sub>2</sub>O).

282. Сколько процентов нитрита натрия содержит технический образец, если после растворения 1,3074 г этого образца в 500,0 см<sup>3</sup> на титрование 25,00 см<sup>3</sup> 0,009815 (1/5 KMnO<sub>4</sub>) затрачено 35,11 см<sup>3</sup> этого раствора.

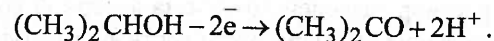
283. Сколько процентов FeC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> содержит образец, если навеска его равна 0,2596 г и на окисление его затрачивается 44,77 см<sup>3</sup> раствора KMnO<sub>4</sub>, для которого K = 1,156; C (1/5 KMnO<sub>4</sub>) = 0,1 моль/см<sup>3</sup>.

284. Сколько процентов сурьмы содержит сплав, если его навеска массой 1,0000 г после растворения оттитрована 42,50 см<sup>3</sup> раствора KMnO<sub>4</sub> с T<sub>KMnO<sub>4</sub>/Sb</sub> = 0,006124 г/дм<sup>3</sup>.

285. Сколько процентов Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> содержит образец, если его навеска массой 0,1700 г после растворения и восстановления железа оттитрована 38,40 см<sup>3</sup> раствора KMnO<sub>4</sub> с T<sub>KMnO<sub>4</sub>/Fe</sub> = 0,0001100 г/см<sup>3</sup>.

286. Для определения массовой доли изопропанола в техническом продукте его навеску массой 1,5000 г обработали 50,00 см<sup>3</sup> 1,000 М (1/6 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) в растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в течение 30 минут. Затем объем рас-

твора довели до 500,0 см<sup>3</sup>, отобрали из него 25,00 см<sup>3</sup> и определили в нем иодометрически избыток K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: прибавили KI, выдержали 10 мин, выделившийся йод оттитровали 0,1000 М Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в присутствии крахмала. На титрование было израсходовано 12,45 см<sup>3</sup> Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При взаимодействии изопропанола с K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> спирт окисляется до ацетона по реакции



Определить массовую долю изопропанола.

287. Для определения примеси этанола в эфире его отогнали из навески эфира массой 3,5000 г. Полученный дистиллят обработали 10,00 см<sup>3</sup> 0,2000 М (1/6 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) в сернокислой среде при нагревании. После охлаждения и разбавления водой к раствору добавили 5 мл 10%-ного раствора KI, выделившийся йод оттитровали 0,1000 М Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, на титрование затрачено 14,85 см<sup>3</sup>. Определить массовую долю этанола, который при взаимодействии с K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> окисляется до уксусной кислоты.

288. Навеска массой 1,1500 г H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> разбавлена в мерной колбе на 250,0 см<sup>3</sup>. На титрование 25,00 см<sup>3</sup> этого раствора расходуется 30,25 см<sup>3</sup> раствора перманганата калия T<sub>KMnO<sub>4</sub>/O</sub> = 0,0004542 г/см<sup>3</sup>. Сколько процентов активного кислорода содержит образец перекиси?

289. Навеска массой 0,0921 г хромотропового ангидрида растворена, обработана KI и HCl и оттитрована 23,75 см<sup>3</sup> раствора тиосульфата T<sub>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/I<sup>-</sup></sub> = 0,01354. Сколько процентов CrO<sub>3</sub> содержал образец?

290. Сколько Na<sub>2</sub>S содержится в исследуемом образце, если был взят образец навески массой 0,9282 г и растворен в 250,0 см<sup>3</sup>. К 25,00 см<sup>3</sup> полученного раствора добавили 40,00 см<sup>3</sup> 0,1011 М (1/2 I<sub>2</sub>), избыток которого был оттитрован 24,40 см<sup>3</sup> 0,1038 М Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

291. Белильная известь массой 1,2116 г растворена в колбе на 250,0 см<sup>3</sup> и обработана KI в кислой среде. На титрование выделившегося йода из 25,00 см<sup>3</sup> раствора извести израсходовано 23,50 см<sup>3</sup> 0,1036 М (1/2 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Определить процент хлора в белильной извести.

292. Навеску сплава меди массой 2,5360 г растворили в азотной кислоте. Раствор довели в мерной колбе до метки 200,0 см<sup>3</sup>, затем отобрали 15,00 см<sup>3</sup> этого раствора и добавили избыток KI, а выделившийся йод оттитровали 0,04900 М Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O, концентрация которого определялось отдельно. На титрование йода пошло 8,70 см<sup>3</sup> тиосульфата натрия. Определить массовую долю меди в сплаве.

293. Для анализа стали на содержание марганца растворили 0,3510 г образца. Марганец окислен до HMnO<sub>4</sub>, на титрование которой израсходовано 8,43 см<sup>3</sup> с поправкой K = 1,004 к 0,03 (1/2 Na<sub>2</sub>AsO<sub>3</sub>). Сколько процентов марганца содержал образец стали?

294. Для определения концентрации раствора арсенита натрия взяли 0,1182 г стандартного образца стали с массовой долей марганца 0,84 %. После соответствующей обработки, в результате которой Mn<sup>2+</sup> превратился в MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>, на титрование полученной HMnO<sub>4</sub> израсходовали 22,27 см<sup>3</sup> раствора арсенита натрия. Чему равен титр арсенита натрия по марганцу?

295. Для определения содержания олова в сплавах его превращают в SnSO<sub>4</sub>, который титруют рабочим раствором йода без доступа воздуха. Определить содержание олова в бронзе, если навеска бронзы составляет 0,9122 г, объем раствора йода 0,03523 М (1/2 I<sub>2</sub>), пошедшего на титрование, — 15,73 см<sup>3</sup>.

296. Найти массовую долю сульфита натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> в образце, если 0,7346 г его было растворено в колбе на 100,0 см<sup>3</sup>. Полученным раствором титруется 20,00 см<sup>3</sup> 0,05440 М (1/2 I<sub>2</sub>), при этом расходуется 23,15 см<sup>3</sup> анализируемого раствора.

297. К 25,00 см<sup>3</sup> раствора H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> прибавили 50,00 см<sup>3</sup> 0,01960 М (1/2 I<sub>2</sub>). Избыток йода, не вступивший в реакцию, оттитровали 11,00 см<sup>3</sup> 0,02040 М Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Сколько перекиси водорода содержал 1,00 дм<sup>3</sup> исходного раствора?

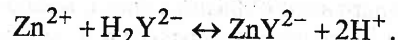
298. После растворения навески оксида железа массой 0,4938 г и восстановления железа до Fe<sup>2+</sup> на титрование израсходовали 12,40 см<sup>3</sup> раствора дихромата калия с T<sub>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></sub> = 0,0005000 г/см<sup>3</sup>. Вычислить массовую долю (%) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в цементе.

299. Для определения свинца навеска руды массой 5,0000 г была растворена в кислоте, а свинец осажден в виде PbCrO<sub>4</sub>, осадок отфильтрован, промыт и растворен в смеси HCl и KI. Выделившийся при этой реакции йод оттитровали 0,5000 М Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 5H<sub>2</sub>O, в результате чего было израсходовано 42,00 см<sup>3</sup> титранта. Сколько процентов свинца в руде?

300. Определить массу салицилата натрия (C<sub>7</sub>H<sub>5</sub>O<sub>3</sub>Na), если его растворили в мерной колбе на 100,0 см<sup>3</sup>, затем отобрали пипеткой 20,00 см<sup>3</sup> и прибавили 25,00 см<sup>3</sup> смеси 0,1000 М (1/6 KBrO<sub>3</sub>), 1 г KBr и 4 М HCl. После перемешивания дали постоять, внесли 1 г KI и 2—3 см<sup>3</sup> хлороформа. Выделившийся йод оттитровали 0,1000 М Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которого пошло на титрование 20,53 см<sup>3</sup>.

## КОМПЛЕКСОНОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

**Пример.** Рассчитать  $pZn^{2+}$ , если к 50,00 см<sup>3</sup> 0,01 М раствора  $ZnCl_2$  добавлено 10,00; 25,00; 25,10 см<sup>3</sup> 0,02 М раствора комплексона III в ацетатном буферном растворе при pH = 5.



1. До точки эквивалентности величина  $pMe$  определяется концентрацией неоттитрованного металла:

$$pMe = -\lg C_{Me} = -\lg \frac{C_{Zn^{2+}}^0 \cdot V_{Zn^{2+}}^0 - C_{H_2Y^{2-}} \cdot V_{H_2Y^{2-}}}{V_{Zn^{2+}}^0 + V_{H_2Y^{2-}}} =$$

$$= \lg \frac{0,01 \cdot 50,00 - 0,02 \cdot 10,00}{50,00 + 10,00} = 2,3$$

2. В точке эквивалентности учитывают конкурирующие реакции, для этого рассчитывают условную константу устойчивости  $\beta^{усл}$ :

$$\beta^{усл} = \beta^T \cdot \alpha;$$

$$\alpha = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4}{[H^+]^4 + K_1 \cdot [H^+]^3 + K_1 \cdot K_2 \cdot [H^+]^2 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot [H^+] + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4};$$

$$\beta_{ZnY^{2-}}^T = 1,82 \cdot 10^{16},$$

где  $K_1, K_2, K_3, K_4$  — константы диссоциации этилендиаминтетрауксусной кислоты (комплексон III).

$$K_1 = 1 \cdot 10^{-2}; K_2 = 2,1 \cdot 10^{-3}; K_3 = 6,9 \cdot 10^{-7}; K_4 = 5,5 \cdot 10^{-11}.$$

При pH = 5  $\alpha = 0,0341$ , следовательно,  $\beta^{усл} = 1,82 \cdot 10^{16} \cdot 0,0341 = 6,21 \cdot 10^{14}$ .

$$pMe = -\frac{1}{2} \lg C_{Me}^0 + \frac{1}{2} \lg \beta_{MeY}^{усл} = -\frac{1}{2} \lg 0,01 + \frac{1}{2} \lg 6,21 \cdot 10^{14} = 1,00 + 7,40 = 8,40.$$

3. После точки эквивалентности концентрация комплексоната остается постоянной, а концентрация лиганда увеличивается:

$$pMe = -\lg C_{Me}^0 + \lg \beta_{MeY}^{усл} + \lg C_{H_2Y^{2-}} =$$

$$= -\lg C_{Me}^0 + \lg \beta_{MeY}^{усл} + \lg \frac{C_{H_2Y^{2-}} \cdot V_{H_2Y^{2-}} - C_{Me}^0 \cdot V_{Me}^0}{V_{H_2Y^{2-}} + V_{Me}^0} =$$

$$= -\lg 0,01 + \lg 6,21 \cdot 10^{14} + \lg \frac{0,02 \cdot 25,10 - 0,01 \cdot 50,00}{25,10 + 50,00} =$$

$$= 2 + 14,79 - 4,58 = 12,22.$$

301. Вычислить  $pCa$ , если к 5,00 см<sup>3</sup> 0,05000 М  $CaCl_2$  прибавлено 2,30; 2,50; 2,52 см<sup>3</sup> 0,1000 М раствора комплексона III при pH = 12,0.

302. Вычислить  $pMg$ , если к 25,00 см<sup>3</sup> 0,08000 М  $MgCl_2$  прибавлено 19,90; 20,10; 23,15 см<sup>3</sup> 0,1000 М раствора комплексона III при pH = 10,0.

303. Вычислить  $pCu$ , если к 10,0 см<sup>3</sup> 0,02500 М  $CuSO_4$  прибавлено 4,99; 5,00; 5,20 см<sup>3</sup> 0,05000 М раствора комплексона III при pH = 4,0.

304. Вычислить  $pCd$ , если к 5,00 см<sup>3</sup> 0,2000 М  $CdSO_4$  прибавлено 9,98; 10,00; 11,05 см<sup>3</sup> 0,1000 М раствора комплексона III при pH = 12,0.

305. Вычислить  $pCo$ , если к 10,00 см<sup>3</sup> 0,01050 М  $CoCl_2$  прибавлено 8,35; 9,02; 11,16 см<sup>3</sup> 0,01164 М раствора комплексона III при pH = 10,0.

306. Вычислить  $pPb$ , если к 5,00 см<sup>3</sup> 0,02525 М  $Pb(NO_3)_2$  прибавлено 5,04; 5,05; 5,06 см<sup>3</sup> 0,02500 М раствора комплексона III при pH = 5,5.

307. Вычислить  $pFe$ , если к 25,00 см<sup>3</sup> 0,02674 М  $FeCl_3$  прибавлено 15,40; 26,70; 27,60 см<sup>3</sup> 0,02500 М раствора комплексона III при pH = 6,0.

308. Вычислить  $pAl$ , если к 10,00 см<sup>3</sup> 0,05100 М  $Al(NO_3)_3$  прибавлено 10,00; 10,20; 10,40 см<sup>3</sup> 0,05000 М раствора комплексона III при pH = 5,5.

309. Вычислить  $pSr$ , если к 15,00 см<sup>3</sup> 0,1254 М  $SrCl_2$  прибавлено 18,80; 18,81; 18,82 см<sup>3</sup> 0,1000 М раствора комплексона III при pH = 9,8.

310. Вычислить  $pSc$ , если к 10,00 см<sup>3</sup> 0,02530 М  $ScCl_3$  прибавлено 5,40; 10,12; 13,20 см<sup>3</sup> 0,02500 М раствора комплексона III при pH = 4,01.

311. Вычислить  $pAg$ , если к 10,00 см<sup>3</sup> 0,2500 М  $AgNO_3$  прибавлено 5,10; 9,07; 11,00 см<sup>3</sup> 0,2754 М раствора комплексона III при pH = 11,2.

312. Вычислить  $pBe$ , если к 5,00 см<sup>3</sup> 0,1110 М  $BeSO_4$  прибавлено 1,50; 5,55; 6,40 см<sup>3</sup> 0,1000 М раствора комплексона III при pH = 10,5.

313. Вычислить  $pBa$ , если к 15,00 см<sup>3</sup> 0,02100 М  $BaCl_2$  прибавлено 9,90; 12,52; 14,10 см<sup>3</sup> 0,02515 М раствора комплексона III при pH = 12,3.

314. Вычислить  $pHg$ , если к 10,00 см<sup>3</sup> 0,04200 М  $Hg(NO_3)_2$  прибавлено 8,75; 10,50; 12,30 см<sup>3</sup> 0,04000 М раствора комплексона III при pH = 3,8.

315. Вычислить  $pNi$ , если к 10,00 см<sup>3</sup> 0,2000 М  $NiSO_4$  прибавлено 11,10; 11,11; 11,12 см<sup>3</sup> 0,1800 М раствора комплексона III при pH = 6,8.

316. Вычислить  $pPd$ , если к 15,00 см<sup>3</sup> 0,05315 М  $PdCl_2$  прибавлено 13,40; 15,95; 17,65 см<sup>3</sup> 0,05000 М раствора комплексона III при pH = 4,9.

317. Вычислить  $pSn$ , если к 5,00 см<sup>3</sup> 0,3588 М  $SnCl_2$  прибавлено 1,42; 3,58; 5,00 см<sup>3</sup> 0,5000 М раствора комплексона III при pH = 5,0.

318. Вычислить  $pGa$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,2000 \text{ М}$   $Ga(NO_3)_3$  прибавлено  $9,98; 10,00; 11,05 \text{ см}^3$   $0,1000 \text{ М}$  раствора комплексона III при  $pH = 3,7$ .

319. Вычислить  $pTi$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,04222 \text{ М}$   $TiCl_3$  прибавлено  $7,54; 10,56; 10,88 \text{ см}^3$   $0,04000 \text{ М}$  раствора комплексона III при  $pH = 1,5$ .

320. Вычислить  $pCe$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,1095 \text{ М}$   $Ce_2(SO_4)_3$  прибавлено  $6,50; 9,95; 12,45 \text{ см}^3$   $0,1100 \text{ М}$  раствора комплексона III при  $pH = 4,8$ .

321. Вычислить  $pGe$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,02000 \text{ М}$   $GeCl_3$  прибавлено  $4,20; 9,28; 11,00 \text{ см}^3$   $0,02155 \text{ М}$  раствора комплексона III при  $pH = 5,05$ .

322. Вычислить  $pLa$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,2000 \text{ М}$   $La(NO_3)_3$  прибавлено  $1,55; 4,48; 5,00 \text{ см}^3$   $0,2233 \text{ М}$  раствора комплексона III при  $pH = 6,4$ .

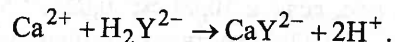
323. Вычислить  $pUO_2$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,01500 \text{ М}$   $UO_2(NO_3)_2$  прибавлено  $2,35; 15,00; 15,50 \text{ см}^3$   $0,01000 \text{ М}$  раствора комплексона III при  $pH = 8,2$ .

324. Вычислить  $pCr$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,2000 \text{ М}$   $Cr(NO_3)_3$  прибавлено  $3,55; 4,55; 5,55 \text{ см}^3$   $0,2200 \text{ М}$  раствора комплексона III при  $pH = 4,3$ .

325. Вычислить  $pBi$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,05000 \text{ М}$   $BiCl_3$  прибавлено  $9,73; 9,74; 9,75 \text{ см}^3$   $0,05135 \text{ М}$  раствора комплексона III при  $pH = 3,9$ .

### Вычисление результатов титрования

**Пример.** На титрование хлорида кальция при  $pH = 9,3$  в присутствии эриохрома черного израсходовано  $25,20 \text{ см}^3$   $0,05000 \text{ М}$  раствора ЭДТА. Рассчитать массу кальция в растворе.



$$m_{Ca} = \frac{C_{ЭДТА} \cdot V_{ЭДТА} \cdot M_{Ca}}{1000} = \frac{0,05000 \cdot 25,20 \cdot 40,08}{1000} = 0,05050 \text{ г.}$$

326. Сколько граммов меди обнаружено в растворе, если на титрование этого раствора уходит  $15,20 \text{ см}^3$   $0,03000 \text{ М}$  раствора ЭДТА в присутствии индикатора мурексида?

327. Навеску хлорида магния, равную  $0,3100 \text{ г}$ , растворили в мерной колбе вместимостью  $250,0 \text{ см}^3$ . На титрование  $25,00 \text{ см}^3$  этого раствора израсходовано  $10,35 \text{ см}^3$   $0,02500 \text{ М}$  раствора ЭДТА. Рассчитать в процентах массовую долю хлорида магния в исследуемом растворе.

328. Концентрация рабочего раствора ЭДТА была установлена по раствору, содержащему в  $1,00 \text{ дм}^3$   $25,00 \text{ г}$  железоаммонийных квасцов. На титрование  $10,00 \text{ см}^3$  этого раствора израсходовано  $12,50 \text{ см}^3$  ЭДТА. Рассчитать молярную концентрацию раствора ЭДТА.

329. На титрование  $15,00 \text{ см}^3$  воды израсходовано  $15,60 \text{ см}^3$   $0,01500 \text{ М}$  раствора ЭДТА. Выразить жесткость воды в молях и граммах оксида кальция на  $1 \text{ дм}^3$  воды.

330. Растворив  $4,4500 \text{ г}$  очищенного и высушенного  $Na_2H_2Y \cdot 2H_2O$  в подходящем объеме воды и разбавив точно до  $1,00 \text{ дм}^3$ , приготовили раствор ЭДТА. Рассчитать молярную концентрацию полученного раствора, учитывая, что исходное вещество содержит  $0,5 \%$  влаги.

331. Титр раствора ЭДТА по кальцию составляет  $1,08 \cdot 10^{-2} \text{ мг/см}^3$ . Рассчитайте для этого раствора молярную концентрацию; титр по  $MgO$  ( $\text{мг/см}^3$ ). Сколько этого раствора ( $\text{см}^3$ ) пойдет на титрование  $20,00 \text{ см}^3$  воды, если ее жесткость составляет  $5,3 \text{ ммоль/дм}^3$ ?

332. Рассчитать концентрацию магния в воде ( $\text{в ммоль/дм}^3$ ), если при титровании  $200,0 \text{ см}^3$  воды ЭДТА при  $pH = 9,7$  с хромогеном черным Т до синей окраски израсходовано  $25,15 \text{ см}^3$   $0,01512 \text{ М}$  раствора.

333. Исследуемый раствор хлорида никеля разбавлен до  $250,0 \text{ см}^3$ . К  $25,00 \text{ см}^3$  этого раствора добавлено  $15,00 \text{ см}^3$   $0,01500 \text{ М}$  ЭДТА, избыток которого оттитровали  $5,60 \text{ см}^3$   $0,01500 \text{ М}$   $MgSO_4$ . Рассчитать массу никеля в исследуемом растворе.

334. Молибдат-ион осадили в виде  $CaMoO_4$ . В осадке оттитровали кальций  $12,50 \text{ см}^3$   $0,04500 \text{ М}$  ЭДТА. Рассчитать массу  $MoO_4^{2-}$  в растворе.

335. На титрование при  $pH = 2$  раствора нитрата тория в присутствии пирокатехинового фиолетового израсходовано  $15,20 \text{ см}^3$   $0,02500 \text{ М}$  ЭДТА. Рассчитать массу тория в растворе.

336. Раствор ЭДТА приготовили растворением  $10,0000 \text{ г}$  чистой этилендиаминтетрауксусной кислоты в небольшом объеме едкого натра и разбавлением точно до  $500,0 \text{ см}^3$ . Рассчитать для этого раствора молярную концентрацию, а также титр по кальцию и по карбонату магния в  $\text{мг/см}^3$ .

337. В колбе на  $500,0 \text{ см}^3$  растворили  $3,8500 \text{ г}$  очищенного  $Na_2H_2Y \cdot 2H_2O$ . Рассчитайте молярную концентрацию и титр по  $Ca^{2+}$  этого раствора. Сколько этого раствора пойдет на титрование  $50,00 \text{ мл}$  воды, имеющей общую жесткость  $3,2 \text{ ммоль/дм}^3$ ?

338. Рассчитать массу алюминия в растворе по следующим данным: к раствору добавили  $25,00 \text{ см}^3$   $0,04000 \text{ М}$  ЭДТА, избыток которого был оттитрован  $5,00 \text{ см}^3$   $0,03500 \text{ М}$  раствора сульфата цинка.

339. Навеску нитрата ртути (2) массой  $0,6865 \text{ г}$  растворили в  $250,0 \text{ см}^3$  воды. На титрование  $25,00 \text{ см}^3$  этого раствора в присутствии индикатора эриохрома черного Т израсходовано  $8,50 \text{ см}^3$   $0,02200 \text{ М}$  раствора ЭДТА. Рассчитать массовую долю нитрата ртути в исследуемом образце соли.



340. Определить содержание NaF (в г/дм<sup>3</sup>) в электролите, если к 10,00 см<sup>3</sup> электролита добавлено 20,00 см<sup>3</sup> 0,05000 М раствора CaCl<sub>2</sub>, избыток которого оттитрован 2,50 см<sup>3</sup> раствора комплексона III с титром по фториду натрия 0,004200 г/см<sup>3</sup>.

341. Минеральную воду объемом 50,00 см<sup>3</sup>, содержащую CaCO<sub>3</sub> и Mg CO<sub>3</sub>, оттитровали 0,04570 М (1/2 ЭДТА). В присутствии хромогена черного было затрачено 7,50 см<sup>3</sup> комплексона, а в присутствии мурексида — 3,20 см<sup>3</sup>. Определить общую жесткость воды (в ммоль/дм<sup>3</sup>), а также содержание (в г/дм<sup>3</sup>) солей в этой воде.

342. На титрование 50,00 см<sup>3</sup> раствора, содержащего Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, потребовалось 13,70 см<sup>3</sup> 0,01200 М ЭДТА при pH = 2 и 29,60 см<sup>3</sup> при pH = 6. Выразить концентрацию каждого из растворенных веществ в мг/см<sup>3</sup>.

343. Титр раствора ЭДТА по MgO равен  $2,34 \cdot 10^{-3}$  мг/см<sup>3</sup>. Рассчитайте молярность этого раствора, нормальность и титр по Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Сколько этого раствора пойдет на титрование 25,00 см<sup>3</sup> воды, имеющей общую жесткость 4,85 ммоль/дм<sup>3</sup>?

344. Определить жесткость воды, если к 50,00 см<sup>3</sup> воды добавлено 25,00 см<sup>3</sup> 0,05000 М комплексона III. Избыток комплексона оттитрован 20,50 см<sup>3</sup> 0,05000 М MgSO<sub>4</sub>.

345. При анализе пробы сточных вод объемом 100,0 мл сульфат-ионы осадил раствором хлорида бария, осадок сульфата бария отфильтровали, промыли и растворили в 30,00 см<sup>3</sup> 0,02502 М ЭДТА. Избыток ЭДТА оттитровали 15,00 см<sup>3</sup> 0,02497 М MgCl<sub>2</sub>. Определить концентрацию (мг/дм<sup>3</sup>) сульфат-ионов.

346. Определить массовую долю Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в образце с массой 0,2458 г. После растворения навески к раствору добавлено 20,00 см<sup>3</sup> 0,04500 М MgSO<sub>4</sub>, избыток которого оттитрован 15,00 см<sup>3</sup> комплексона III, 1,00 см<sup>3</sup> MgSO<sub>4</sub> эквивалентен 1,25 см<sup>3</sup> комплексона III.

347. Определить содержание Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O (в г/дм<sup>3</sup>) в электролите, если к 10,00 см<sup>3</sup> этого раствора добавлено 50,00 см<sup>3</sup> 0,1 М (1/2 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), избыток нитрата свинца оттитрован 10,00 см<sup>3</sup> 0,09000 М (1/2 комплексон III).

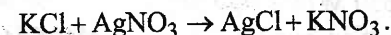
348. Определить массовое содержание пирофосфата натрия, если после растворения навески 0,1000 г добавлено 25,00 см<sup>3</sup> 0,1105 М (1/2 ZnSO<sub>4</sub>). Раствор нейтрализован, осадок отфильтрован, избыток сульфата цинка оттитрован 10,00 см<sup>3</sup> 0,09875 М раствора комплексона III.

349. Определите массовую долю (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, если после растворения навески массой 0,2224 г к раствору добавлено 25,00 см<sup>3</sup> 0,1112 М (1/2 CaCl<sub>2</sub>), избыток соли Ca<sup>2+</sup> оттитрован 18,50 см<sup>3</sup> комплексона III с титром по кальцию 0,002004 г/см<sup>3</sup>.

350. К 10,00 см<sup>3</sup> раствора, содержащего пиридин, добавили спиртовой раствор CdCl<sub>2</sub>. Выпавший осадок Cd(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>N)<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> отфильтровали, растворили и оттитровали 15,25 см<sup>3</sup> 0,01000 М ЭДТА с эриохромом черным Т в аммиачном буферном растворе. Рассчитайте концентрацию (г/дм<sup>3</sup>) пиридина в исходном растворе. Молекулярная масса пиридина — 79,00 г/моль.

## ОСАДИТЕЛЬНОЕ ТИТРОВАНИЕ

**Пример.** Вычислить pAg и pCl, если к 10,00 см<sup>3</sup> 0,01000 М Ag(NO<sub>3</sub>) добавлено 8,50; 10,00; 11,50 см<sup>3</sup> 0,01000 М KCl.



1. До точки эквивалентности концентрация титруемого вещества (в данном случае ионов серебра) определяется его избытком, а концентрация хлорид-иона — через константу растворимости образующегося малорастворимого соединения:

$$\begin{aligned} p\text{Ag} &= -\lg \frac{C_{\text{AgNO}_3}^0 \cdot V_{\text{AgNO}_3}^0 - C_{\text{KCl}} \cdot V_{\text{KCl}}}{V_{\text{AgNO}_3}^0 + V_{\text{KCl}}} = \\ &= -\lg \frac{0,01000 \cdot 10,00 - 0,01000 \cdot 8,50}{10,00 + 8,50} = -\lg 1,1 \cdot 10^{-4} = 3,09; \end{aligned}$$

$$p\text{Cl} = -\lg \frac{K_{\text{S AgCl}}^T}{[\text{Ag}^+]} = -\lg \frac{1,78 \cdot 10^{-10}}{1,1 \cdot 10^{-4}} = -\lg 2,5 \cdot 10^{-7} = 6,66.$$

2. В точке эквивалентности в растворе нет избытка титруемого иона и титранта. В нашем случае имеется бинарное соединение AgCl, поэтому

$$p\text{Ag} = p\text{Cl} = -\frac{1}{2} \lg K_{\text{S AgCl}}^T = -\frac{1}{2} \lg 1,78 \cdot 10^{-10} = 4,87.$$

3. После точки эквивалентности имеется избыток титранта, т.е. избыток одноименных ионов — в данном случае Cl<sup>-</sup>:

$$\begin{aligned} p\text{Cl} &= -\lg \frac{C_{\text{KCl}} \cdot V_{\text{KCl}} - C_{\text{AgNO}_3}^0 \cdot V_{\text{AgNO}_3}^0}{V_{\text{KCl}} + V_{\text{AgNO}_3}^0} = -\lg \frac{0,01 \cdot 11,50 - 0,01 \cdot 10,00}{11,50 + 10,00} = \\ &= -\lg 6,98 \cdot 10^{-4} = 3,16. \end{aligned}$$



$$pAg = -\lg \frac{K_{S AgCl}^T}{[Cl^-]} = -\lg \frac{1,78 \cdot 10^{-10}}{6,98 \cdot 10^{-4}} = 6,60.$$

351. Вычислить  $pHg$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,05000 \text{ М}$   $KCl$  добавлено  $12,0$ ;  $12,50$ ;  $13,30 \text{ см}^3$   $0,07500 \text{ М}$   $(1/2 Hg_2(NO_3)_2)$ .

352. Вычислить  $pCl$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,02550 \text{ М}$   $KCl$  добавлено  $2,45$ ;  $5,10$ ;  $5,25 \text{ см}^3$   $0,02500 \text{ М}$   $(1/2 Hg_2(NO_3)_2)$ .

353. Вычислить  $pHg$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,02754 \text{ М}$   $KI$  добавлено  $7,00$ ;  $7,55$ ;  $8,00 \text{ см}^3$   $0,02080 \text{ М}$   $(1/2 Hg_2(NO_3)_2)$ .

354. Вычислить  $pI$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,05000 \text{ М}$   $KCl$  добавлено  $8,55$ ;  $8,85$ ;  $8,95 \text{ см}^3$   $0,05650 \text{ М}$   $(1/2 Hg_2(NO_3)_2)$ .

355. Вычислить  $pHg$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,04504 \text{ М}$   $NH_4CNS$  добавлено  $2,53$ ;  $5,63$ ;  $5,72 \text{ см}^3$   $0,04000 \text{ М}$   $(1/2 Hg_2(NO_3)_2)$ .

356. Вычислить  $pCl$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,1110 \text{ М}$   $KCl$  добавлено  $4,20$ ;  $4,35$ ;  $5,55 \text{ см}^3$   $0,1275 \text{ М}$   $Ag(NO_3)$ .

357. Вычислить  $pAg$ , если к  $15,00 \text{ см}^3$   $0,4500 \text{ М}$   $KBr$  добавлено  $12,26$ ;  $13,50$ ;  $13,65 \text{ см}^3$   $0,5000 \text{ М}$   $Ag(NO_3)$ .

358. Вычислить  $pAg$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,1000 \text{ М}$   $NH_4CNS$  добавлено  $9,95$ ;  $10,00$ ;  $10,05 \text{ см}^3$   $0,1000 \text{ М}$   $Ag(NO_3)$ .

359. Вычислить  $pCNS$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,1844 \text{ М}$   $NH_4CNS$  добавлено  $4,00$ ;  $4,61$ ;  $4,62 \text{ см}^3$   $0,2000 \text{ М}$   $Ag(NO_3)$ .

360. Вычислить  $pAg$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,03280 \text{ М}$   $NaI$  добавлено  $8,15$ ;  $8,20$ ;  $8,25 \text{ см}^3$   $0,04000 \text{ М}$   $Ag(NO_3)$ .

361. Вычислить  $pI$ , если к  $15,00 \text{ см}^3$   $0,05500 \text{ М}$   $NaI$  добавлено  $9,90$ ;  $16,50$ ;  $16,55 \text{ см}^3$   $0,05000 \text{ М}$   $Ag(NO_3)$ .

362. Вычислить  $pAg$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,09817 \text{ М}$   $(1/2 K_2CrO_4)$  добавлено  $9,12$ ;  $9,55$ ;  $9,72 \text{ см}^3$   $0,1010 \text{ М}$   $Ag(NO_3)$ .

363. Вычислить  $pCrO_4$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,07500 \text{ М}$   $(1/2 K_2CrO_4)$  добавлено  $1,40$ ;  $3,75$ ;  $4,00 \text{ см}^3$   $0,1000 \text{ М}$   $Ag(NO_3)$ .

364. Вычислить  $pBa$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,08510 \text{ М}$   $(1/2 Na_2SO_4)$  добавлено  $8,45$ ;  $9,00$ ;  $9,10 \text{ см}^3$   $0,09450 \text{ М}$   $(1/2 BaCl_2)$ .

365. Вычислить  $pSO_4$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,1000 \text{ М}$   $(1/2 Na_2SO_4)$  добавлено  $9,74$ ;  $9,76$ ;  $9,78 \text{ см}^3$   $0,1025 \text{ М}$   $(1/2 BaCl_2)$ .

366. Вычислить  $pBa$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,05110 \text{ М}$   $(1/2 K_2CrO_4)$  добавлено  $1,55$ ;  $10,25$ ;  $10,65 \text{ см}^3$   $0,04985 \text{ М}$   $(1/2 Ba(NO_3)_2)$ .

367. Вычислить  $pCrO_4$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,1000 \text{ М}$   $(1/2 K_2CrO_4)$  добавлено  $4,12$ ;  $6,42$ ;  $6,44 \text{ см}^3$   $0,07786 \text{ М}$   $(1/2 Ba(NO_3)_2)$ .

368. Вычислить  $pBa$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,1055 \text{ М}$   $KIO_3$  добавлено  $7,35$ ;  $7,15$ ;  $8,00 \text{ см}^3$   $0,1475 \text{ М}$   $(1/2 Ba(NO_3)_2)$ .

369. Вычислить  $pIO_3$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,02100 \text{ М}$   $KIO_3$  добавлено  $5,35$ ;  $10,50$ ;  $10,65 \text{ см}^3$   $0,02000 \text{ М}$   $(1/2 BaCl_2)$ .

370. Вычислить  $pPb$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,08000 \text{ М}$   $(1/2 K_2CrO_4)$  добавлено  $7,30$ ;  $8,89$ ;  $9,10 \text{ см}^3$   $0,09000 \text{ М}$   $(1/2 Pb(NO_3)_2)$ .

371. Вычислить  $pPb$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,02500 \text{ М}$   $(1/3 K_3PO_4)$  добавлено  $5,15$ ;  $5,19$ ;  $5,21 \text{ см}^3$   $0,02408 \text{ М}$   $(1/2 Pb(CH_3COO)_2)$ .

372. Вычислить  $pPO_4$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,01050 \text{ М}$   $(1/3 K_3PO_4)$  добавлено  $8,00$ ;  $8,75$ ;  $9,00 \text{ см}^3$   $0,01200 \text{ М}$   $(1/2 Pb(CH_3COO)_2)$ .

373. Вычислить  $pPb$ , если к  $5,00 \text{ см}^3$   $0,2000 \text{ М}$   $KIO_3$  добавлено  $3,95$ ;  $4,00$ ;  $4,05 \text{ см}^3$   $0,2500 \text{ М}$   $(1/2 Pb(NO_3)_2)$ .

374. Вычислить  $pIO_3$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,2040 \text{ М}$   $KIO_3$  добавлено  $9,70$ ;  $9,71$ ;  $9,72 \text{ см}^3$   $0,2100 \text{ М}$   $(1/2 Pb(CH_3COO)_2)$ .

375. Вычислить  $pZn$ , если к  $10,00 \text{ см}^3$   $0,05000 \text{ М}$   $(1/2 ZnSO_4)$  добавлено  $9,25$ ;  $9,40$ ;  $9,65 \text{ см}^3$   $0,05320 \text{ М}$   $(1/3 K_4Fe(CN)_6)$ .

### Вычисление результатов титрования

**Пример.** Сколько процентов серебра в образце массой  $1,0000 \text{ г}$ , если после его растворения в азотной кислоте и доведения объема до  $250,0 \text{ см}^3$  на титрование  $20,00 \text{ см}^3$  израсходовано  $18,50 \text{ см}^3$  раствора хлорида натрия, приготовленного растворением  $0,2922 \text{ г}$   $NaCl$  в  $500 \text{ см}^3$ ?



$$C_{NaCl} = \frac{m_{NaCl} \cdot 1000}{M_{Э NaCl} \cdot V_{Колбы}} = \frac{0,2922 \cdot 1000}{58,433 \cdot 500} = 0,1000 \text{ моль/дм}^3.$$

$$w_{Ag} = \frac{C_{(NaCl)} \cdot V_{NaCl} \cdot M_{Э Ag}}{1000 \cdot m_{навески}} \cdot \frac{V_{колбы}}{V_{аликвоты}} \cdot 100 \% =$$

$$= \frac{0,01000 \cdot 18,50 \cdot 107,9}{1000 \cdot 1,0000} \cdot \frac{250,0}{20,00} \cdot 100 = 24,95 \%$$

376. Раствор  $NH_4CNS$  стандартизировался по раствору  $AgNO_3$ , который был получен растворением  $0,1030 \text{ г}$  х.ч.  $AgNO_3$  в произвольном объеме. На титрование израсходовано  $27,50 \text{ см}^3$  раствора роданида аммония. Рассчитать сколько роданида аммония содержится в  $500,0 \text{ см}^3$  раствора.

377. Рассчитайте массовые доли (%) NaCl и KCl в образце, если после растворения навески массой 0,1526 г на титрование полученного раствора израсходовано 25,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М раствора нитрата серебра.

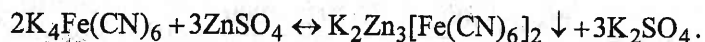
378. Рассчитайте массовую долю (%) KBr в образце. Навеску технического бромида калия массой 1,2550 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 см<sup>3</sup>; к 15,00 см<sup>3</sup> этого раствора добавили 25,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М C(1/2 Hg<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Избыток нитрата ртути (I) оттитровали 0,05000 М раствором хлорида натрия, израсходовав 15,00 см<sup>3</sup>.

379. Рассчитайте массовую долю (%) брома в соединении. Навеску образца массой 0,7589 г обработали этанольным раствором КОН и провели омыление, раствор подкислили и разбавили до 250,0 см<sup>3</sup>, полученный раствор объемом 10,00 см<sup>3</sup> оттитровали 6,80 см<sup>3</sup> 0,05500 М Hg<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. На титрование индикатора Fe(SCN)<sub>n</sub><sup>(3-n)</sup> в контрольном опыте затрачено 0,55 см<sup>3</sup> Hg<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

380. Какое вещество — NaCl или KCl — было взято для анализа, если на титрование 0,2542 г его было израсходовано 30,86 см<sup>3</sup> 0,1105 М AgNO<sub>3</sub>.

381. Рассчитайте массу хлорида бария, содержащуюся в 200,0 см<sup>3</sup> этого раствора, после прибавления к его 20,00 см<sup>3</sup> 35,00 см<sup>3</sup> 0,1105 М AgNO<sub>3</sub>. На обратное титрование избытка нитрата серебра израсходовано 20,50 см<sup>3</sup> 0,1015 М раствора роданида аммония.

382. Какой объем 0,05000 М K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> потребуется на титрование 20,00 см<sup>3</sup> 0,1005 М ZnSO<sub>4</sub>? Расчет произвести в соответствии с уравнением реакции



383. Навеску технического BaCl<sub>2</sub> массой 6,7000 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 см<sup>3</sup>. На титрование 25,00 см<sup>3</sup> раствора израсходовали 23,95 см<sup>3</sup> раствора AgNO<sub>3</sub> T<sub>AgNO<sub>3</sub></sub> = 0,008050. Вычислить массовую долю (%) BaCl<sub>2</sub> в образце.

384. Рассчитайте массу навески сплава, содержащего 40 % серебра, если после растворения сплава добавили 25,25 см<sup>3</sup> 0,1575 М (NH<sub>4</sub>)SCN и избыток его оттитровали 20,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М AgNO<sub>3</sub>.

385. Сколько грамм кальция содержится в 250,0 см<sup>3</sup> раствора CaCl<sub>2</sub>, если после добавления к 25,00 см<sup>3</sup> этого раствора 40,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М (1/2(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) и отделения образовавшегося осадка CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> на титрование не вошедшего в реакцию (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> израсходовано 15,00 см<sup>3</sup> 0,02000 М (1/5 KMnO<sub>4</sub>)?

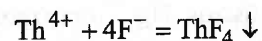
386. Сколько см<sup>3</sup> 0,2500 М (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> требуется для осаждения кальция из раствора, полученного при растворении 0,7000 г мела, который содержит 6 % примесей?

387. Для осаждения серебра из 100,0 см<sup>3</sup> раствора, содержащего 0,3398 г AgNO<sub>3</sub>, израсходовано 17,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М HCl. Вычислить количество серебра, оставшегося неосажденным, и ошибку при анализе (%).

388. В мерной колбе вместимостью 250,0 см<sup>3</sup> растворили 2,5000 г технического KCl. К 25,00 см<sup>3</sup> раствора прибавили 50,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М AgNO<sub>3</sub>. На титрование избытка нитрата серебра израсходовали 20,10 см<sup>3</sup> 0,05050 М KCNS. Вычислить массовую долю (%) NaCl в пробе.

389. Фторид-ион, содержащийся в пробе пестицида массой 0,5100 г, после соответствующей обработки пробы осадили в виде PbClF. Осадок растворили в 5%-ной азотной кислоте и осадили хлорид-ион добавлением 50,00 см<sup>3</sup> 0,2000 М AgNO<sub>3</sub>. Осадок AgCl покрыли слоем нитробензола, а избыток Ag<sup>+</sup> оттитровали, затратив 7,42 см<sup>3</sup> 0,1760 М NH<sub>4</sub>CNS. Рассчитать процентное содержание фторид-иона в пробе.

390. Для определения фторид-иона в салате массой 50,00 г его высушили и прокалили с CaO. Образовавшийся CaF<sub>2</sub> разложили кислотой в присутствии SiO<sub>2</sub>, а полученный газ SiF<sub>4</sub> отогнали. На титрование F<sup>-</sup> по реакции



затратили 7,62 см<sup>3</sup> 0,008930 М (1/4 Th(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>). Сколько процентов фторида в пробе?

391. После растворения и соответствующей обработки 0,9860 г удобрения получили водный раствор, содержащий HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, который количественно осадили добавлением 40,00 см<sup>3</sup> 0,2040 М AgNO<sub>3</sub>. На титрование избытка серебра после отделения осадка потребовалось 8,72 см<sup>3</sup> 0,1170 М KCNS. Рассчитать процент P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в пробе.

392. Пробу массой 7,5 г, содержащую смесь йодида, хлорида бария и инертные примеси, растворили и разбавили до 250,0 см<sup>3</sup>, отбрали 50,00 см<sup>3</sup> раствора и оттитровали раствором 0,08470 М AgNO<sub>3</sub> с индикатором эозином, который адсорбируется только после осаждения иодид-иона. На титрование израсходовали 38,30 см<sup>3</sup> нитрата серебра. Вторую аликвоту объемом 25,00 см<sup>3</sup> оттитровали с бромфеноловым синим, который меняет окраску после осаждения ионов хлора и йода. На титрование пошло 41,20 см<sup>3</sup> AgNO<sub>3</sub>. Сколько процентов BaCl<sub>2</sub> и BaI<sub>2</sub> содержится в исходной пробе?

### Варианты задач

393. Навеску серебряного сплава массой 0,8645 г растворили в азотной кислоте и разбавили водой в мерной колбе на 100,0 см<sup>3</sup>. На титрование 10,00 см<sup>3</sup> раствора потребовалось 9,46 см<sup>3</sup> 0,04672 М KCNS. Вычислить массовую долю (%) Ag в сплаве.

394. К раствору, полученному при обработке кислотой 0,2130 г сплава, содержащего цинк, добавили 40,00 см<sup>3</sup> 0,09320 М (1/3 K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]). Осадок K<sub>2</sub>Zn<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sub>2</sub> и раствор, содержащий избыток K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>], оттитровали, затратив 4,44 см<sup>3</sup> 0,1060 М (1/2 Zn<sup>2+</sup>), в присутствии дифениламина в качестве индикатора. Сколько процентов Zn содержится в сплаве?

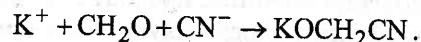
395. Для достижения конечной точки титрования по методу Мора 0,2240 г пробы, содержащей только BaCl<sub>2</sub> и KBr, потребовалось 19,70 см<sup>3</sup> 0,1000 М AgNO<sub>3</sub>. Рассчитать процентное содержание каждого компонента в пробе.

396. Раствор Na<sub>2</sub>S стандартизирован титрованием раствора реагента, приготовленного растворением 0,2130 г чистого цинка в кислоте с последующей нейтрализацией. На титрование Zn<sup>2+</sup> пошло 36,30 см<sup>3</sup> раствора сульфида натрия. Рассчитать C(f<sub>экв.</sub> Na<sub>2</sub>S) и T<sub>Na<sub>2</sub>S/Zn</sub>.

397. Для определения йода в водорослях из навески массой 0,5750 г после соответствующей обработки пробы осадил йод в виде PbI<sub>2</sub>. Осадок растворили и осадил иодид-ион добавлением 25,00 см<sup>3</sup> 0,2000 М Hg<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, избыток Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup> оттитровали, затратив 3,70 см<sup>3</sup> 0,1250 М NH<sub>4</sub>CNS. Рассчитать процент I в пробе.

398. Какую массу органического вещества, содержащего около 5 % хлора, следует взять для анализа, чтобы после разложения образца на титрование хлорида расходовалось 15,00 см<sup>3</sup> 0,1230 М AgNO<sub>3</sub>?

399. Формальдегид из 5,00 г протравы для семян отогнали с водяным паром и сообрали в колбу емкостью 500,0 см<sup>3</sup>. Аликвоту 25,00 см<sup>3</sup> обработали 30,00 см<sup>3</sup> 0,1210 М KCN для превращения CH<sub>2</sub>O в циангидрин калия:



Избыток KCN удалили добавлением 40,00 см<sup>3</sup> 0,1000 М AgNO<sub>3</sub>, на титрование избытка Ag<sup>+</sup> в фильтрате потребовалось 16,10 см<sup>3</sup> 0,1340 М NH<sub>4</sub>CNS. Рассчитать процент CH<sub>2</sub>O в пробе.

400. Для определения Ca<sup>2+</sup> 0,5864 г образца растворили и осадил кальций в виде CaF<sub>2</sub> добавлением 20,00 см<sup>3</sup> 0,4000 М HF. Избыток F<sup>-</sup> был оттитрован раствором 0,05000 М Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. На титрование избытка фторид-иона израсходовано 12,70 см<sup>3</sup> сульфата алюминия. Определить процент Ca в образце.

Вариант	Номера задач
1	1, 26, 51, 76, 101, 126, 151, 176, 201, 226, 251, 276, 301, 326, 351, 376
2	2, 27, 52, 77, 102, 127, 152, 177, 202, 227, 252, 277, 302, 327, 352, 377
3	3, 28, 53, 78, 103, 128, 153, 178, 203, 228, 253, 278, 303, 328, 353, 378
4	4, 29, 54, 79, 104, 129, 154, 179, 204, 229, 254, 279, 304, 329, 354, 379
5	5, 30, 55, 80, 105, 130, 155, 180, 205, 230, 255, 280, 305, 330, 355, 380
6	6, 31, 56, 81, 106, 131, 156, 181, 206, 231, 256, 281, 306, 331, 356, 381
7	7, 32, 57, 82, 107, 132, 157, 182, 207, 232, 257, 282, 307, 332, 357, 382
8	8, 33, 58, 83, 108, 133, 158, 183, 208, 233, 258, 283, 308, 333, 358, 383
9	9, 34, 59, 84, 109, 134, 159, 184, 209, 234, 259, 284, 309, 334, 359, 384
10	10, 35, 60, 85, 110, 135, 160, 185, 210, 235, 260, 285, 310, 335, 360, 385
11	11, 36, 61, 86, 111, 136, 161, 186, 211, 236, 261, 286, 311, 336, 361, 386
12	12, 37, 62, 87, 112, 137, 162, 187, 212, 237, 262, 287, 312, 337, 362, 387
13	13, 38, 63, 88, 113, 138, 163, 188, 213, 238, 263, 288, 313, 338, 363, 388
14	14, 39, 64, 89, 114, 139, 164, 189, 214, 239, 264, 289, 314, 339, 364, 389
15	15, 40, 65, 90, 115, 140, 165, 190, 215, 240, 265, 290, 315, 340, 365, 390
16	16, 41, 66, 91, 116, 141, 166, 191, 216, 241, 266, 291, 316, 341, 366, 391
17	17, 42, 67, 92, 117, 142, 167, 192, 217, 242, 267, 292, 317, 342, 367, 392
18	18, 43, 68, 93, 118, 143, 168, 193, 218, 243, 268, 293, 318, 343, 368, 393
19	19, 44, 69, 94, 119, 144, 169, 194, 219, 244, 269, 294, 319, 344, 369, 394
20	20, 45, 70, 95, 120, 145, 170, 195, 220, 245, 270, 295, 320, 345, 371, 395
21	21, 46, 71, 96, 121, 146, 171, 196, 221, 246, 271, 296, 321, 346, 372, 396
22	22, 47, 72, 97, 122, 147, 172, 197, 222, 247, 272, 297, 322, 347, 373, 397
23	23, 48, 73, 98, 123, 148, 173, 198, 223, 248, 273, 298, 323, 348, 374, 398
24	24, 49, 74, 99, 124, 149, 174, 199, 224, 249, 274, 299, 324, 349, 375, 399
25	25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 376, 400

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев В.П.* Аналитическая химия. Кн. 1: Титриметрические и гравиметрические методы анализа. М.: Дрофа, 2002.
2. *Основы аналитической химии.* Кн. 2: Методы химического анализа / Ю.А. Золотов, Е.Н. Дорохова, В.И. Фадеева и др.; Под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высш. шк., 1996.
3. *Алексеев В.Н.* Количественный анализ. М.: Химия, 1973.
4. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989.
5. *Васильев В.П.* Аналитическая химия: Сб. вопросов, упражнений и задач. М.: Дрофа, 2003.
6. *Основы аналитической химии: Задачи и вопросы* / В.И. Фадеева, Ю.А. Барбалат, А.Г. Гармаш; Под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высш. шк., 2002.
7. *Дорохова Е.Н., Прохорова Г.В.* Задачи и вопросы по аналитической химии. М.: МГУ, 1984.
8. *Клещев Н.Ф., Алферова Е.А.* Задачник по аналитической химии. М.: Химия, 1993.

Учебное издание

**Тамара Иосифовна Попова  
Юлия Владимировна Королева**

**СБОРНИК ЗАДАЧ  
ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

Часть II

Редактор М.В. Королева  
Оригинал-макет подготовлен О.М. Хрустальной

Подписано в печать 20.08.2005 г.

Бумага для множительных аппаратов. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Гарнитура «Таймс».  
Усл. печ. л. 2,8. Уч.-изд. л. 2,6. Тираж 150 экз. Заказ 202

Издательство Российского государственного университета им. И. Канта,  
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14