

**Г.М. Курунина,  
О.М. Иванкина**

**Сборник заданий для самостоятельной работы  
и лабораторный практикум по дисциплине  
«Аналитическая химия»  
для заочной формы обучения**

**Волжский  
2022**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Курунина Г.М., Иванкина О.М.**

**Сборник заданий для самостоятельной работы и  
лабораторный практикум по дисциплине  
«Аналитическая химия»  
для заочной формы обучения**

*Электронное учебное пособие*



Волжский

2022

УДК 543(07)  
ББК 24.27я3  
К 938

Р е ц е н з е н т ы:  
руководитель Испытательной лаборатории (РНТЦ) ООО «Технологическая  
компания Шлюмберже», к.х.н., доцент  
*Паршин Г. Ю.*;  
доцент кафедры Энергетики филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Волжском, к.т.н.  
*Байдакова Н.В.*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Курунина, Г.М.

**Сборник заданий для самостоятельной работы и лабораторный практикум по дисциплине «Аналитическая химия» для заочной формы обучения [Электронный ресурс] : учебное пособие / Курунина Г.М., Иванкина О.М. ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 764 КБ). – Волжский, 2022. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.**

ISBN 978-5-9948-4414-4

В учебном пособии представлены примеры решения задач по дисциплине «Аналитическая химия». Даны задачи по различным тематикам, которые могут быть использованы на практических занятиях в аудитории или для самостоятельной работы студентов вне аудитории. Предназначено для студентов заочной формы обучения по направлению 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 18.03.01 «Химическая технология».

Табл. 9, библиограф.: 9 назв.

ISBN 978-5-9948-4414-4

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2022

© Волжский политехнический  
институт, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1	ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ	4
2	ВАРИАНТЫ ЗАДАЧ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	9
3	МЕТОДЫ ОСАЖДЕНИЯ	28
	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Определение содержания железа в растворе методом осаждения	37
4	ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА	40
	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 Определение содержания гидроксида натрия в растворе методом кислотно-основного титрования	45
5	КОМПЛЕКСОНОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ	50
	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 Определение общей жесткости воды методом комплексонометрического титрования	51
6	МЕТОД ХРОМАТОМЕТРИИ	55
	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 Определение содержания железа методом хроматометрии	60
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ		64

## 1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

**Задача 1.** Вычислить активность ионов  $H^+$  в 0,3 М растворе азотной кислоты.

**Решение.**

Так как концентрация раствора азотной кислоты достаточно велика, коэффициенты активности ионов  $H^+$  и  $NO_3^-$  вычисляем с учетом ионной силы раствора:

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [i] z_i^2 = \frac{1}{2} (0,3 \cdot 1^2 + 0,3 \cdot 1^2) = 0,3;$$

$$-lg \gamma = \frac{0,5 z_i^2 \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} = \frac{0,5 \cdot 1^2 \cdot \sqrt{0,3}}{1 + \sqrt{0,3}} = 0,177;$$

$$\gamma_{H^+} = \gamma_{NO_3^-} = 0,66; \quad a_{H^+} = \gamma_{H^+} \cdot C_{HNO_3} = 0,66 \cdot 0,3 = 0,2 \text{ моль/дм}^3.$$

**Задача 2.** Во сколько раз растворимость сульфата бария в воде больше растворимости в 0,1н. растворе сульфата натрия? ПР  $BaSO_4$  равен  $1,1 \cdot 10^{-10}$ .

**Решение.**

$S_1$  – растворимость в воде,  $S_2$  – растворимость в  $Na_2SO_4$

$$S_1 = \sqrt{ПП} = \sqrt{1,1 \cdot 10^{-10}} = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Рассчитаем молярную концентрацию  $Na_2SO_4$ :

$$C_{M(Na_2SO_4)} \frac{C_H(Na_2SO_4)}{k \cdot z} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ г/моль}$$

$$S_2 = \frac{ПП}{[SO_4^{2-}]} = \frac{1,1 \cdot 10^{-10}}{0,05} = 2,2 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}$$

$$S_1 / S_2 = 1,05 \cdot 10^{-5} / 2,2 \cdot 10^{-9} = 4773$$

**Ответ:** Растворимость в воде в 4773 раза больше, чем в 0,1н. растворе сульфата натрия.

**Задача 3.** Какую навеску тирита, содержащего около 30 % серы, нужно взять для анализа, чтобы получить 0,3 г осадка  $BaSO_4$ ?

**Решение.**

F – гравиметрический фактор (аналитический множитель)

$$m(\text{нитрата}) = \frac{m(\text{BaSO}_4) \cdot F \cdot 100\%}{\omega(S)}$$

$$F = \frac{M(S)}{M(\text{BaSO}_4)} = \frac{32,06}{233,40} = 0,1374$$

$$m(\text{нитрата}) = \frac{0,3 \cdot 0,1374 \cdot 100\%}{30\%} = 0,1374 \text{ г}$$

**Задача 4.**  $PP(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = 7 \cdot 10^{-5}$ , вычислите растворимость этой соли в моль/л и г/л.

**Решение.**

$$S = \sqrt[a+b]{\frac{PP(Kt_a An_b)}{a^a \cdot b^b}}$$

$$S(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = \sqrt[3]{\frac{PP}{1^1 \cdot 2^2}} = \sqrt[3]{\frac{7 \cdot 10^{-5}}{4}} = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

$$S'(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = S(\text{Ag}_2\text{SO}_4) \cdot M(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = 2,6 \cdot 10^{-2} \cdot 312 = 8,11 \text{ г/л}$$

**Задача 5.** 0,2 г осадка  $\text{CaCO}_3$  ( $PP = 5 \cdot 10^{-9}$ ) промыли 200 мл воды. Сколько процентов осадка перешло в раствор?

**Решение.**

Находим концентрацию  $\text{CaCO}_3$  в насыщенном растворе:

$$S = \sqrt{PP} = \sqrt{5 \cdot 10^{-9}} = 7,07 \cdot 10^{-5} \text{ М}$$

В граммах и процентах, соответственно, это составит:

$$m(\text{CaCO}_3) = S(\text{CaCO}_3) \cdot V \cdot M(\text{CaCO}_3) = 7,07 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2 \cdot 100 = 1,414 \cdot 10^{-3} \text{ г}$$

$$\omega(\text{ном.}) = \frac{m(\text{CaCO}_3) \cdot 100\%}{m(\text{ос.})} = \frac{1,414 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{0,2} = 0,71\%$$

**Задача 6.** Сколько сплава, содержащего около 50 % железа, следует взять для анализа, чтобы масса прокаленного осадка  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  была 0,1 г?

**Решение.**

$$F = \frac{2 \cdot M(Fe)}{M(Fe_2O_3)} = \frac{2 \cdot 56}{160} = 0,70;$$

Из формулы  $\omega(Fe) = \frac{m(Fe_2O_3) \cdot F \cdot 100\%}{m(сн.)}$

получаем:  $m(сн.) = \frac{m(Fe_2O_3) \cdot F \cdot 100\%}{\omega(Fe)} = \frac{0,1 \cdot 0,7 \cdot 100\%}{50\%} = 0,035 г$

**Задача 7.** Сколько мл 0,1М BaCl<sub>2</sub> потребуется для осаждения серы в виде BaSO<sub>4</sub> из навески 2,0 г каменного угля, содержащего около 4 % серы?

**Решение.**

$$m(S) = 2,0 \cdot 4\% / 100\% = 0,08 \text{ г}$$



$$C_M = \nu/V \rightarrow V = \nu/C = 0,0025/0,1 = 0,025 \text{ л} = 25 \text{ мл}$$

$$V' = V \cdot 1,5 = 25 \cdot 1,5 = 37,5 \text{ мл}$$

**Задача 8.** Определите процентное содержание магния в соли, если после растворения навески этой соли массой 0,2000 г в мерной колбе на 100 мл на титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовано 20,25 мл 0,02500 М раствора комплексона III.

**Решение.** Комплексон III – это двузамещенный этилендиаминтетраацетат-ЭДТА

$$M_{\text{Э}}(Mg) = \frac{M(Mg)}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ г/моль.}$$

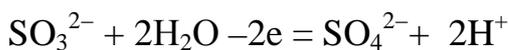
$$C_{\text{H}}(\text{ЭДТА}) = C_{\text{M}}(\text{ЭДТА}) \cdot k_z = 0,025 \cdot 2 = 0,05 \text{ моль/л}$$

$$m(Mg) = \frac{V(\text{ЭДТА}) \cdot C_{\text{H}}(\text{ЭДТА}) \cdot M_{\text{Э}}(Mg)}{1000} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}}}{V_{\text{а}}} = \frac{20,25 \cdot 0,05 \cdot 12 \cdot 100}{1000 \cdot 20} = 0,061 г$$

$$\omega(Mg) = \frac{m(Mg) \cdot 100\%}{m(\text{обр.})} = \frac{0,061 \cdot 100\%}{0,2} = 30,5\%$$

**Задача 9.** Навеску 3,3467 г технического сульфита натрия растворили в мерной колбе на 1000 мл. На титрование 20,00 мл 0,0514 н. раствора йода израсходовали 23,15 мл полученного раствора. Определите процентное содержание Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> в образце.

**Решение.**



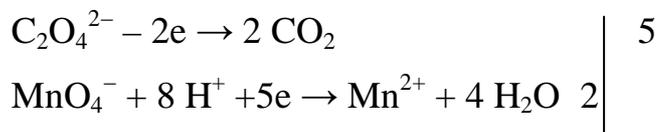
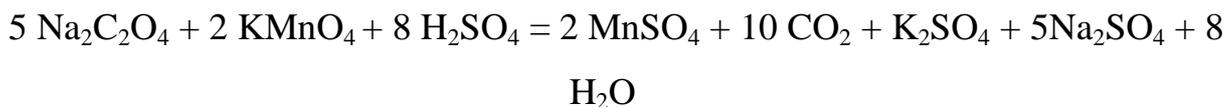
$$M_9(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{M(\text{Na}_2\text{SO}_3)}{n} = \frac{126}{2} = 63 \text{ г/моль}$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{V(\text{I}_2) \cdot C_{\text{H}}(\text{I}_2) \cdot M_9(\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot V_{\text{к}}}{1000 \cdot V_{\text{а}}} = \frac{20 \cdot 0,0514 \cdot 63 \cdot 1000}{1000 \cdot 23,15} = 2,7976 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_3) \cdot 100\%}{m(\text{обр.})} = \frac{2,7976 \cdot 100\%}{3,3467} = 86,6\%$$

**Задача 10.** Сколько граммов перманганата калия (для титрования в кислой среде) следует взять для приготовления 0,8 л раствора с титром по  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  равным 0,003350 г/мл?

**Решение.**



$$M_9(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{M(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{2} = \frac{118}{2} = 59 \text{ г/моль}$$

$$M_9(\text{KMnO}_4) = \frac{M(\text{KMnO}_4)}{5} = \frac{158}{5} = 31,6 \text{ г/моль}$$

$$T(\text{KMnO}_4 / \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4) M_9(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{1000}$$

$$C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4) = \frac{T(\text{KMnO}_4 / \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 1000}{M_9(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)} = \frac{0,00335 \cdot 1000}{59} = 0,0568 \text{ н.}$$

$$m(\text{KMnO}_4) = \frac{V(\text{KMnO}_4) \cdot C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4) \cdot M_9(\text{KMnO}_4)}{1000} = \frac{800 \cdot 0,0568 \cdot 31,6}{1000} = 2,59 \text{ г}$$

**Задача 11.** К подкисленному раствору иодида калия прибавили 20,00 мл 0,1133 н. раствора перманганата калия и выделившийся йод оттитровали 25,90 мл раствора  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Рассчитайте нормальность  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

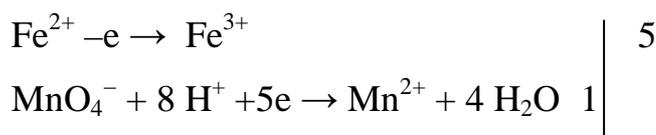
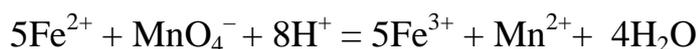
**Решение.**

$$C_{\text{H}_1} \cdot V_1 = C_{\text{H}_2} \cdot V_2$$

$$M_{\text{э}}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{V(\text{KMnO}_4) \cdot C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} = \frac{20 \cdot 0,1133}{25,9} = 0,0875 \text{ з}$$

**Задача 12.** Сколько процентов железа содержит железная проволока, если при растворении 0,1400 г ее в серной кислоте без доступа воздуха на титрование полученного раствора  $\text{FeSO}_4$  израсходовано 24,85 мл 0,100н. раствора  $\text{KMnO}_4$ ?

**Решение.**



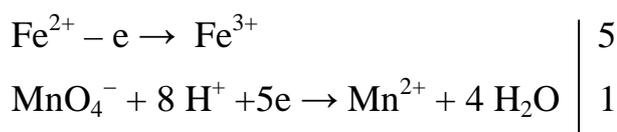
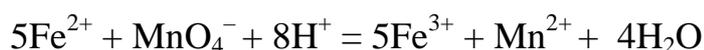
$$M_{\text{э}}(\text{Fe}) = \frac{M(\text{Fe})}{1} = 55,85 \text{ г/моль.}$$

$$m_{\text{Fe}} = \frac{V(\text{KMnO}_4) \cdot C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4) \cdot M_{\text{э}}(\text{Fe})}{1000} = \frac{24,85 \cdot 0,1 \cdot 55,85}{1000} = 0,1388 \text{ з}$$

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe}) \cdot 100\%}{m(\text{пр.})} = \frac{0,1388 \cdot 100\%}{0,1400} = 99,1\%$$

**Задача 13.** Сколько мл 0,1000 н. раствора  $\text{KMnO}_4$  пойдет на титрование раствора, содержащего 0,3036 г  $\text{FeSO}_4$  в кислой среде?

**Решение.**



$$M_{\text{э}}(\text{FeSO}_4) = \frac{M(\text{FeSO}_4)}{1} = 151,85 \text{ г/моль.}$$

$$m(\text{FeSO}_4) = \frac{V(\text{KMnO}_4) \cdot C_{\text{н}}(\text{KMnO}_4) \cdot M_{\text{э}}(\text{FeSO}_4)}{1000}$$

$$V(\text{KMnO}_4) = \frac{m(\text{FeSO}_4) \cdot 1000}{C_{\text{н}}(\text{KMnO}_4) \cdot M_{\text{э}}(\text{FeSO}_4)} = \frac{0,3036 \cdot 1000}{0,1000 \cdot 151,85} = 20 \text{ мл}$$

## 2. ВАРИАНТЫ ЗАДАЧ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Темы: Равновесие в гомогенных системах. Растворы электролитов. Гетерогенные равновесия в системе осадок – насыщенный раствор. Титриметрические методы анализа.

### **ВАРИАНТ 1**

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в 0,02 М растворе  $\text{AlCl}_3$ , содержащем, кроме того, 0,025 моль/л  $\text{HCl}$ .
2. Вычислите: а) концентрацию ионов водорода и рН в 0,001М растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (диссоциацию кислоты считать полной); б) рН и степень диссоциации 0,05 М раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $K_{\text{д}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ).
3.  $\text{PbAg}_2\text{SO}_4$  равно  $7 \cdot 10^{-5}$ . Вычислите растворимость этой соли в моль/л и г/л.
4. Какую навеску пирита, содержащего около 30 % серы, нужно взять для анализа, чтобы получить 0,3 г осадка  $\text{BaSO}_4$ ?
5. Сколько мл 10 % серной кислоты ( $\rho = 1,070$  г/мл) требуется для осаждения всего бария в виде  $\text{BaSO}_4$  из раствора, в котором содержится 5,5 г чистого  $\text{BaCl}_2$ ?
6. К 550 мл 0,1925 н. раствора  $\text{HCl}$  прибавили 50,00 мл раствора  $\text{HCl}$  с титром 0,02370 г/мл. Вычислите нормальность и титр полученного раствора.

7. Сколько граммов фосфорной кислоты содержится в растворе, если на титрование его с фенолфталеином израсходовано 25,50 мл 0,2000 н. раствора гидроксида натрия?
8. Сколько граммов  $\text{BaCl}_2$  содержится в 250 мл раствора, если после прибавления к 25,00 мл его 40,00 мл 0,1020 н. раствора  $\text{AgNO}_3$  на обратное титрование израсходовано 15,00 мл 0,0980 н. раствора  $\text{NH}_4\text{SCN}$ ?
9. Навеску 2,0712 г технической буры растворили в мерной колбе на 100 мл. На титрование 20,00 мл этого раствора израсходовали 21,80 мл  $\text{HCl}$  ( $\text{THCl/NaOH} = 0,003974$  г/мл). Вычислите процентное содержание х.ч.  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  в образце.
10. Навеску 0,06895 г безводной  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  растворили в произвольном объеме воды. Полученный раствор полностью оттитровали раствором  $\text{KMnO}_4$ , которого потребовалось 30,82 мл. Определите нормальность  $\text{KMnO}_4$ .

### ***ВАРИАНТ 2***

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем по 0,05 моль/л  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ .
2. Определите: а) pH и pOH в 0,005М растворе  $\text{HCl}$ ; б) концентрацию уксусной кислоты и pH раствора, если концентрация ионов водорода в растворе  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ) равна  $10^{-4}$  моль/л.
3. Сколько г  $\text{CaCO}_3$  ( $\text{PP} = 5,0 \cdot 10^{-9}$ ) содержится в 3 л насыщенного раствора?
4. Во сколько раз растворимость  $\text{BaSO}_4$  ( $\text{PP} = 1,1 \cdot 10^{-10}$ ) в воде больше растворимости в 0,01 н. серной кислоте?
5. Вычислите теоретический объем 2 н. раствора серной кислоты, который необходимо взять для осаждения бария из раствора, в котором содержится 4,164 г хлорида бария.
6. Сколько мл соляной кислоты концентрацией 37,23% ( $\rho = 1,19\text{г/мл}$ ) необходимо для приготовления 2,5 л 0,1 н. раствора?
7. После соответствующей обработки 3,0340 г стекла перевели в раствор и объем раствора довели водой до 100 мл. 20,00 мл этого раствора оттитрова-

ли 7,06 мл 0,005000 М раствора комплексона III. Определите процентное содержание железа в стекле.

8. Сколько граммов хлора содержит раствор  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , если на титрование его затрачено 30,00 мл раствора  $\text{AgNO}_3$ , титр которого по хлору равен 0,003512 г/мл?

9. Навеску  $\text{CaCO}_3$  обработали 50,00 мл 0,2000 н. раствора  $\text{HCl}$ . На титрование остатка  $\text{HCl}$  израсходовано 10,00 мл раствора  $\text{NaOH}$ . Известно, что на титрование 25,00 мл  $\text{HCl}$  расходуется 24,00 мл  $\text{NaOH}$ . Вычислить массу навески  $\text{CaCO}_3$ .

10. Навеску железной проволоки растворили в серной кислоте. На титрование полученного раствора пошло 30,0 мл 0,10 н. раствора перманганата калия. Найдите массу навески проволоки.

### ***ВАРИАНТ 3***

1. Вычислите активности ионов в 0,01М растворе  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .

2. Вычислите: а) концентрацию ионов водорода и рН в 0,001 М растворе  $\text{NaOH}$ ; б) концентрацию раствора  $\text{HCOOH}$  ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-4}$ ), имеющего рН = 3,0.

3. Вычислите ПР  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , если в 1 литре насыщенного раствора его содержится  $6,4 \cdot 10^{-3}$  г.

4. Какую навеску  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  следует взять для анализа с целью определения алюминия в виде  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , если минимальное количество весовой формы должно быть 0,1 г?

5. Сколько мл 0,2 М  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  потребуется для осаждения всего кальция из раствора, содержащего 0,4 г  $\text{CaCl}_2$ ?

6. Сколько мл воды надо добавить к 1 л 0,5300 н.  $\text{HCl}$ , чтобы получить 0,5000 н. раствор?

7. Какую навеску х.ч. безводной соды нужно взять, чтобы на её титрование до  $\text{CO}_2$  израсходовать 20 мл 0,1 н.  $\text{HCl}$ ?

8. Для осаждения всего хлора, содержащегося в 15,00 мл раствора NaCl, израсходовано 25,00 мл 0,1050 н. раствора AgNO<sub>3</sub>. Сколько граммов NaCl содержит 1 л этого раствора?
9. Сколько граммов Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> содержится в растворе, если на титрование этого раствора с фенолфталеином израсходовано 21,40 мл раствора HCl с титром 0,002789 г/мл?
10. Навеску 0,1180 г бихромата калия в кислой среде обработали йодидом калия, и выделившийся йод оттитровали раствором Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, которого потребовалось 23,80 мл. Определите титр раствора тиосульфата натрия.

#### **ВАРИАНТ 4**

1. Вычислите активности ионов в 0,02 М растворе BaCl<sub>2</sub>.
2. Определите: а) концентрацию ионов H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> в растворе, рН которого равен 6,2; б) рН и степень диссоциации в 0,01М растворе CH<sub>3</sub>COOH (K<sub>д</sub> = 1,8·10<sup>-5</sup>).
3. Растворимость PbI<sub>2</sub> при 18 °С равна 1,5·10<sup>-3</sup> моль/л. Рассчитайте ПР и концентрации ионов Pb<sup>2+</sup> и I<sup>-</sup> в насыщенном растворе в г/л.
4. Какую навеску Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> следует взять для получения 0,1 г Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>?
5. Сколько мл 0,1 н. AgNO<sub>3</sub> требуется для осаждения всего хлора, содержащегося в 0,05 г химически чистого хлорида натрия?
6. Для приготовления 500 мл раствора было взято 20,00 мл соляной кислоты концентрацией 37,23 % (ρ = 1,19г/мл). Вычислите нормальность полученного раствора.
7. Определите нормальность и титр раствора KOH, если на титрование навески 0,1495 г H<sub>2</sub>C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>, растворенной в произвольном объеме воды, израсходовано 25,20 мл его.
8. Навеску 1,5200 г MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O растворили в мерной колбе на 250 мл. На титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовано 19,85 мл раствора комплексона III. Вычислите титр комплексона III.

9. К навеске 0,6724 г технического карбоната кальция добавили 29,87 мл 0,6214 н. серной кислоты и избыток ее оттитровали 10,27 мл 0,6068 н. NaOH. Вычислите содержание  $\text{CaCO}_3$  в образце.

10. Навеску  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  растворили в мерной колбе на 500 мл. На титрование 25,00 мл полученного раствора израсходовано 30,25 мл раствора, содержащего 1,5800 г/л  $\text{KMnO}_4$ . Рассчитайте массу навески.

### **ВАРИАНТ 5**

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем по 0,01 моль/л  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CaCl}_2$ .

2. Определите: а) pH и pOH в 0,015 М растворе NaOH; б) концентрацию раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ), имеющего pH = 11,0.

3. В 500 мл воды при 18° С растворяется 0,0165 г хромата серебра  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ . Вычислите ПР этой соли.

4. ПР  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  равно  $2,3 \cdot 10^{-10}$ . Вычислите растворимость этой соли в 0,05 М растворе хлорида натрия. Во сколько раз она больше по сравнению с растворимостью в чистой воде?

5. Сколько мл 0,2 н. раствора хлорида бария требуется для осаждения сульфат-ионов, полученных при окислении серы, содержащейся в 0,2 г пирита ( $\text{FeS}_2$ )?

6. Сколько мл азотной кислоты концентрацией 65,30 % ( $\rho = 1,40$  г/мл) необходимо для приготовления 5 л 0,1н. раствора?

7. Определите процентное содержание марганца в сплаве, если после растворения 0,2062 г сплава и маскировки мешающих элементов марганец оттитрован 15,42 мл 0,05000 М раствора комплексона III.

8. Навеска  $\text{K}_2\text{SO}_4$  0,3510 г растворена в мерной колбе на 200 мл. На титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовано 21,08 мл  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ . Вычислите нормальность и титр раствора нитрата свинца.

9. Пробу соли аммония массой 1,0000 г обработали концентрированным раствором щелочи. Выделившийся аммиак был поглощен 50,00 мл 1,0720

н. HCl. Избыток кислоты был оттитрован 25,40 мл раствора NaOH с титром 0,004120 г/мл. Вычислите процентное содержание NH<sub>3</sub> в образце.

10. Серу из навески 0,1906 г угля перевели в SO<sub>2</sub>, который уловили раствором крахмала и оттитровали 20,45 мл 0,02088 н. раствором йода. Рассчитайте процентное содержание серы в угле.

### **ВАРИАНТ 6**

1. Рассчитайте активность ионов водорода в 0,05 М растворе HCl, содержащем, кроме того, 0,015 моль/л NaCl.

2. Определите: а) концентрацию ионов H<sup>+</sup> и OH<sup>-</sup> в растворе, pH которого равен 11,5; б) концентрацию раствора HCN (K<sub>д</sub> = 7,9·10<sup>-10</sup>), имеющего pH = 5,0.

3. Растворимость карбоната бария равна 1,76·10<sup>-2</sup> г/л. Вычислите ПР этой соли.

4. ПР Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> равно 2·10<sup>-12</sup>. Во сколько раз растворимость этой соли в 0,02 н. NaNO<sub>3</sub> больше ее растворимости в чистой воде?

5. Сколько мл 2 % раствора (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (плотность раствора принять равной 1 г/мл) требуется для осаждения кальция из раствора, содержащего 0,14 г CaCl<sub>2</sub>?

6. Сколько граммов щелочи, содержащей 98 % NaOH и 2 % индифферентных примесей необходимо для приготовления 200 мл 0,1 н. раствора?

7. Определите T(KOH/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) раствора едкого кали, который используется при определении P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в суперфосфате (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> титруется до KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), если на титрование 18,00 мл 0,1 н. HCl израсходовано 19,32 мл KOH.

8. Сколько магния содержится в 1 л раствора, если на титрование 20,00 мл этого раствора израсходовано 5,65 мл 0,1046 н. раствора комплексона III?

9. Навеску 0,1032 г карбоната натрия обработали 50,00 мл 0,09496 н. HCl, избыток кислоты оттитровали 24,80 мл 0,1298 н. NaOH. Вычислите процентное содержание примесей в образце.

10. Железо в навеске 0,5000 г руды восстановили до  $\text{Fe}^{2+}$  и оттитровали 35,15 мл раствора  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 15 мл которого по окисляющей способности эквивалентны 25,0 мл раствора  $\text{KMnO}_4$  с титром по железу 0,00475 г/мл. Рассчитайте процентное содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в руде.

### **ВАРИАНТ 7**

1. Рассчитайте активность ионов  $\text{OH}^-$  в 0,05 М растворе  $\text{NaOH}$ , содержащем, кроме того, 0,10 моль/л  $\text{NaCl}$ .

2. Определите: а) концентрацию ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  в растворе, рН которого равен 5,4; б) при какой концентрации степень диссоциации уксусной кислоты  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ) составляет 30 %? Определите рН этого раствора.

3. Вычислите ПР  $\text{BaCrO}_4$ , если в 1 л насыщенного раствора его содержится  $6,5 \cdot 10^{-3}$  г.

4. Какая навеска сплава, содержащего около 65 % свинца, требуется для определения этого элемента, если масса прокаленного осадка  $\text{PbSO}_4$  должна быть 0,5 г?

5. Сколько мл 2,5 % раствора аммиака плотностью 0,99 г/мл, нужно взять для осаждения железа из раствора, полученного при растворении 1 г железозаммонийных квасцов  $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ?

6. Сколько мл соляной кислоты концентрацией 37,23 % ( $\rho = 1,19$  г/мл) необходимо разбавить до 1500 мл, чтобы получить 0,2000 н. раствор?

7. Определите процентное содержание магния в сплаве, если после растворения 0,5000 г сплава и удаления мешающих элементов объём раствора довели 100,0 мл и 20,00 мл его оттитровали 12,06 мл 0,01000 М раствора комплексона III.

8. На титрование 0,2814 г буры было израсходовано 12,30 мл соляной кислоты. Вычислите нормальность и титр раствора  $\text{HCl}$ .

9. К 0,2266 г хлорида прилили 30,00 мл 0,1121 н.  $\text{AgNO}_3$ , избыток которого оттитровали 15,00 мл 0,1158 н.  $\text{NH}_4\text{SCN}$ . Вычислите процентное содержание хлора в веществе.

10. Железо в навеске 0,5000 г руды восстановили до  $\text{Fe}^{2+}$  и оттитровали 35,15 мл раствора  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 15 мл которого по окисляющей способности эквивалентны 25,0 мл раствора  $\text{KMnO}_4$  с титром по железу 0,00475 г/мл. Рассчитайте процентное содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в руде.

### **ВАРИАНТ 8**

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем 0,01 моль/л  $\text{FeCl}_3$  и 0,02 моль/л  $\text{NaCl}$ .
2. Вычислите: а) pH 0,01 М раствора  $\text{HCOOH}$  ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-4}$ ); б) концентрации ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и pH в 0,2 М растворе  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ( $K_1 = 4,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_2 = 4,7 \cdot 10^{-11}$ ).
3. Вычислите ПР  $\text{CaCO}_3$ , если в 1 л насыщенного раствора его содержится  $6,9 \cdot 10^{-3}$  г.
4. Какая навеска сплава, содержащего около 15 % олова, требуется для определения этого элемента, если масса прокаленного осадка  $\text{SnO}_2$  должна быть 0,2 г?
5. Сколько мл 0,25 М раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  потребуется для осаждения ионов кальция из раствора, полученного при растворении в соляной кислоте 0,7 г карбоната кальция?
6. Сколько мл соляной кислоты концентрацией 37,23 % ( $\rho = 1,19$  г/мл) необходимо взять для приготовления 1,5 л 0,05 н. раствора?
7. Сколько граммов гидроксида бария содержится в растворе, если на нейтрализацию его расходуется 20,00 мл 0,1245 н. соляной кислоты?
8. Вычислите нормальность раствора серной кислоты, если к 10 мл его добавили избыток  $\text{BaCl}_2$  и масса полученного осадка после прокаливания равна 0,2762 г.
9. Сколько граммов  $\text{BaCl}_2$  содержится в 250 мл раствора, если после прибавления к 25,00 мл этого раствора 40,00 мл 0,1020 н.  $\text{AgNO}_3$  на обратное титрование избытка  $\text{AgNO}_3$  израсходовано 15,00 мл 0,09800 н.  $\text{NH}_4\text{SCN}$ ?

10. Сколько граммов  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  содержится в 500 мл раствора, если на титрование 25,00 мл его в кислой среде расходуется 30,25 мл раствора  $\text{KMnO}_4$  с концентрацией 1,58 г/л?

### **ВАРИАНТ 9**

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем по 0,05 моль/л  $\text{KNO}_3$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .
2. Определите: а) концентрацию ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  в растворе, рН которого равен 2,6; б) рН и степень диссоциации в 0,01 М растворе  $\text{HCN}$  ( $K_d = 7,9 \cdot 10^{-10}$ ).
3. ПР  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$  при 20 °С равно  $6,8 \cdot 10^{-12}$ . Вычислите растворимость этой соли в г/л.
4. Как изменится растворимость  $\text{PbI}_2$  (ПР =  $8 \cdot 10^{-9}$ ) в 0,01 н.  $\text{NaI}$  по сравнению с растворимостью в чистой воде?
5. Сколько мл 0,5 н.  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  потребуется для осаждения кальция из 0,3269 г  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ?
6. Сколько мл серной кислоты концентрацией 96 % ( $\rho = 1,84$  г/мл) необходимо взять для приготовления 2,5 л 0,25 н. раствора?
7. Сколько граммов КОН содержит навеска технического едкого кали, если при растворении его в мерной колбе на 250 мл на титрование 25,00 мл полученного раствора расходуется 22,40 мл 0,0950 н. раствора соляной кислоты?
8. Какую навеску щавелевой кислоты  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  нужно взять, чтобы на её титрование израсходовать 20 мл 0,1 н.  $\text{NaOH}$ ?
9. В мерной колбе на 250 мл растворили 2,0025 г технического  $\text{KBr}$ . К 25,00 мл полученного раствора прибавили 50,00 мл 0,05560 н.  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ . На титрование избытка  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  израсходовали 25,02 мл раствора  $\text{NaCl}$  с титром 0,002922 г/мл. Вычислите процентное содержание  $\text{KBr}$  в образце.
10. Навеску 3,3467 г технического сульфита натрия растворили в мерной колбе на 1000 мл. На титрование 20,00 мл 0,0514 н. раствора йода израсходовали 23,15 мл полученного раствора. Определите процентное содержание  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в образце.

### **ВАРИАНТ 10**

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем по 0,01 моль/л  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .
2. Вычислите: а) концентрацию раствора  $\text{HCOOH}$  ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-4}$ ), имеющего  $\text{pH} = 3,0$ ; б) концентрации ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{HSeO}_3^-$ ,  $\text{SeO}_3^{2-}$  и  $\text{pH}$  в 0,5 М растворе  $\text{H}_2\text{SeO}_3$  ( $K_1 = 3,5 \cdot 10^{-3}$ ,  $K_2 = 5 \cdot 10^{-8}$ ).
3. При выпаривании 200 мл насыщенного раствора сульфата свинца  $\text{PbSO}_4$  было получено 0,09 г сухой соли. Вычислите ПР  $\text{PbSO}_4$ .
4. Во сколько раз растворимость  $\text{BaCO}_3$  (ПР =  $7 \cdot 10^{-9}$ ) в воде больше растворимости в 0,05 н. хлориде бария?
5. Сколько мл 2,5 % раствора аммиака ( $\rho = 0,99$  г/мл) требуется для осаждения железа в виде гидроксида из навески 0,5263 г руды, содержащей 12 % железа?
6. Рассчитайте нормальность и титр 36,5 % раствора соляной кислоты ( $\rho = 1,18$  г/мл).
7. На титрование раствора, полученного из 0,5120 г х.ч. буры, расходуется 26,32 мл раствора  $\text{HCl}$ . Вычислите титр и нормальность раствора кислоты.
8. Вычислите число граммов  $\text{N}_2\text{O}_5$  в 1 л раствора  $\text{HNO}_3$ , если на титрование 20,00 мл кислоты израсходовано 21,12 мл 0,1120 н.  $\text{NaOH}$ .
9. Определите нормальность и титр раствора  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , если после прибавления к 20,00 мл его 20,00 мл 0,09940 М раствора комплексона III на обратное титрование последнего израсходовано 15,24 мл 0,1036 н.  $\text{ZnCl}_2$ .
10. На титрование раствора, полученного растворением навески 0,1522 г  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в произвольном объеме воды, расходуется 24,68 мл раствора перманганата калия. Определите нормальность раствора  $\text{KMnO}_4$ .

### **ВАРИАНТ 11**

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем по 0,02 моль/л  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CaCl}_2$ .

2. Определите: а) концентрацию ионов водорода и pH в 0,015 М растворе NaOH; б) константу диссоциации и pH в 0,1 М  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , если концентрация ионов водорода в этом растворе  $1,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л.
3. Растворимость  $\text{BaCO}_3$  при 20 °С равна  $1,78 \cdot 10^{-2}$  г/л. Вычислите ПР этой соли.
4. ПР  $\text{CaSO}_4$  равна  $6 \cdot 10^{-5}$ . Как изменится растворимость этой соли в 0,1 н. растворе KCl по сравнению с чистой водой?
5. Какой объем 0,5 М раствора  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (плотность принять 1 г/мл) потребуется для осаждения магния в виде  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  из 0,5 г сплава, содержащего 90 % магния?
6. В 500 мл раствора содержится 2,6578 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Рассчитайте титр, титр по соляной кислоте и нормальность этого раствора при нейтрализации до  $\text{CO}_2$ .
7. Навеску неизвестной щелочи массой 2,0000 г растворили в мерной колбе ёмкостью 100 мл. На титрование 25,00 мл этого раствора израсходовали 20,00 мл 0,4455 н. HCl. Определите, что входило в состав анализируемого вещества: KOH или NaOH.
8. Сколько граммов фосфорной кислоты содержится в растворе, если на титрование его с метиловым оранжевым израсходовано 25,50 мл 0,2000 н. раствора гидроксида натрия?
9. Сколько граммов сульфата натрия содержится в пробе, если после прибавления 20,00 мл 0,06315 М  $\text{BaCl}_2$ , избыток его оттитрован 15,64 мл 0,04640 М комплексона III?
10. Железо из навески руды 0,2240 г после соответствующей обработки восстановили до  $\text{Fe}^{2+}$  и полученный раствор оттитровали 0,100 н. раствором  $\text{KMnO}_4$ , которого потребовалось 20,00 мл. Определите процентное содержание железа в руде.

### ***ВАРИАНТ 12***

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем 0,02 моль/л  $\text{MgSO}_4$  и 0,03 моль/л  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ .

2. Вычислите: а) рН 0,02 М раствора НСООН ( $K_d = 1,8 \cdot 10^{-4}$ ); б) концентрации ионов  $H^+$ ,  $H_2AsO_4^-$ ,  $HAsO_4^{2-}$ ,  $AsO_4^{3-}$  в 0,3 М растворе  $H_3AsO_4$  ( $K_1 = 6 \cdot 10^{-3}$ ,  $K_2 = 1 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_3 = 3 \cdot 10^{-12}$ ).
3.  $Ag_3PO_4$  равно  $1,3 \cdot 10^{-20}$ . Вычислите растворимость этой соли в моль/л и г/л.
4. Во сколько раз растворимость сульфата бария в воде больше растворимости в 0,1 н. растворе сульфата натрия? ПР  $BaSO_4$  равно  $1,1 \cdot 10^{-10}$ . Решать с учетом ионной силы раствора.
5. Сколько мл 2,5 % раствора аммиака плотностью 0,99 г/мл требуется для осаждения железа в виде гидроксида из навески 0,2 г руды, содержащей 20 %  $Fe_2O_3$ ?
6. Сколько мл 10 %-ного раствора НСІ ( $\rho = 1,047$  г/мл) нужно прибавить к 50 мл 37,32 % раствора ( $\rho = 1,19$  г/мл), чтобы получился 25 %-ный раствор?
7. Определите процентное содержание магния в соли, если после растворения навески этой соли массой 0,2000 г в мерной колбе на 100 мл на титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовано 20,25 мл 0,02500 М раствора комплексона III.
8. Сколько мл 0,1000 н.  $AgNO_3$  потребуется на титрование 12,00 мл раствора, содержащего 6,50 г/л КСІ?
9. Сколько граммов  $K_2CO_3$  содержит навеска образца, если на титрование её с фенолфталеином израсходовано 22,40 мл 0,09500 н. раствора НСІ?
10. Навеску 1,2540 г х.ч.  $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$  растворили в мерной колбе на 200 мл. На титрование 20,00 мл этого раствора расходуется 22,40 мл раствора перманганата калия. Определите нормальность  $KMnO_4$ .

### ***ВАРИАНТ 13***

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем по 0,05 моль/л  $NaNO_3$  и  $Na_2SO_4$ .

2. Определите: а) рН 0,05 % раствора азотной кислоты (плотность раствора принять = 1); б) концентрации ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{HSe}^-$ ,  $\text{Se}^{2-}$  и рН в 0,7 М растворе  $\text{H}_2\text{Se}$  ( $K_1 = 1,3 \cdot 10^{-4}$ ,  $K_2 = 1 \cdot 10^{-11}$ ).
3. Вычислите ПР  $\text{CuSCN}$ , если в 100 мл воды растворяется  $8,4 \cdot 10^{-7}$  г этой соли.
4. ПР  $\text{CaSO}_4$  равно  $6,1 \cdot 10^{-5}$ . Вычислите растворимость этой соли в г/л с учетом ионной силы раствора.
5. Сколько мл 5 % раствора аммиака плотностью 0,98 г/мл требуется для осаждения железа и алюминия в виде гидроксидов из навески 1,5 г руды, содержащей около 14 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 6 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ?
6. Найдите титр гидроксида калия по серной кислоте, если  $T_{\text{кон}} = 0,005727$  г/мл.
7. На титрование раствора, полученного из навески 0,1370 г щавелевой кислоты, израсходовано 22,21 мл 0,09840 н. раствора  $\text{NaOH}$ . Сколько молекул кристаллизационной воды содержала кислота?
8. Какую навеску х.ч. безводной соды нужно взять, чтобы на её титрование, израсходовать 20 мл 0,1 М серной кислоты?
9. При титровании 25,00 мл раствора, содержащего  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , с фенолфталеином израсходовано 24,46 мл 0,1200 н. раствора серной кислоты. Сколько граммов  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  содержится в 250 мл раствора?
10. На титрование раствора х.ч.  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  расходуется 24,68 мл раствора  $\text{KMnO}_4$  с титром 0,003092 г/мл. Сколько граммов  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  содержится в растворе?

#### ***ВАРИАНТ 14***

1. Вычислите активности ионов в растворе, содержащем 0,01 моль/л  $\text{KCl}$  и 0,02 моль/л  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .
2. Вычислите: а) сколько граммов  $\text{KOH}$  содержится в 10 л раствора, рН которого 11; б) константу диссоциации  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и рН в её 0,05 н. растворе, если степень диссоциации 1,9 %.

3. Сколько граммов  $\text{BaCrO}_4$  содержится в 200 мл насыщенного раствора этой соли, если её ПР =  $2,4 \cdot 10^{-10}$ ?
4. Какую навеску железного купороса  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  нужно взять для определения в нем железа в виде  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , считая, что оптимальная масса осадка  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  равна 0,2 г?
5. Сколько мл 0,1 М  $\text{BaCl}_2$  потребуется для осаждения серы в виде  $\text{BaSO}_4$  из навески 2,0 г каменного угля, содержащего около 4 % серы?
6. Имеется 0,1046 н. раствор  $\text{HCl}$ . Определите его молярность, титр и титр по оксиду кальция.
7. До какого объема нужно довести раствор, в котором содержится 1,530 г  $\text{NaOH}$ , чтобы на титрование 20,00 мл этого раствора израсходовалось 14,70 мл раствора  $\text{HCl}$  с титром 0,003800 г/мл?
8. Навеску 0,7590 г  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  растворили в мерной колбе на 200 мл. На титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовано 22,60 мл раствора комплексона III. Вычислите нормальность раствора комплексона III.
9. Сколько граммов  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  содержится в растворе, если на титрование этого раствора с фенолфталеином израсходовано 22,50 мл раствора  $\text{HCl}$  с титром 0,003134 г/мл?
10. Навеску 0,7120 г х.ч.  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  растворили в мерной колбе на 200 мл. На титрование 25,00 мл этого раствора расходуется 18,90 мл раствора  $\text{KMnO}_4$ . Определите титр раствора  $\text{KMnO}_4$ .

### ***ВАРИАНТ 15***

1. Вычислите активности ионов в растворе, содержащем 0,03 моль/л  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .
2. Определите: а) рН 0,01 % раствора  $\text{NaOH}$  (плотность раствора принять равной 1); б) степень диссоциации и рН в 0,01 н. растворе  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $K = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ).
3. Растворимость каломели  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  при комнатной температуре равна  $2,2 \cdot 10^{-3}$  г/л. Вычислите ПР этой соли.

4.  $\text{PP CaCrO}_4$  равно  $2 \cdot 10^{-9}$ . Как повлияет на растворимость этой соли присутствие в растворе  $\text{KCl}$  в концентрации 0,1 М?
5. Сколько мл  $\text{HCl}$  концентрацией 33,5 % ( $\rho = 1,17$  г/мл) потребуется для осаждения серебра в виде  $\text{AgCl}$  из 2,0 г сплава, содержащего 22 % серебра?
6. Имеется 0,1046 н. раствор  $\text{HCl}$ . Определите его молярность, титр и титр по оксиду кальция.
7. Сколько мл 20 % раствора  $\text{HCl}$  ( $d = 1,098$  г/мл) нужно взять для приготовления 5 л 0,1 н. раствора?
8. Сколько мл 0,0500 н.  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  потребуется на титрование 0,2734 г образца, содержащего 28,0 % хлора?
9. Пробу соли аммония массой 0,9800 г обработали концентрированным раствором щелочи. Выделившийся аммиак был поглощен 50,00 мл 1,0200 н.  $\text{HCl}$ . Избыток кислоты был оттитрован 24,50 мл раствора  $\text{NaOH}$  с титром 0,004080 г/мл. Вычислите процентное содержание  $\text{NH}_3$  в образце.
10. Сколько мл 0,1000 н. раствора  $\text{KMnO}_4$  пойдет на титрование раствора, содержащего 0,3036 г  $\text{FeSO}_4$ ?

### **ВАРИАНТ 16**

1. Вычислите активности ионов в растворе, содержащем 12 г/л  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .
2. Определите: а) концентрацию ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  в растворе, рН которого равен 3,7; б) при какой молярной концентрации муравьиной кислоты ( $K = 1,8 \cdot 10^{-4}$ ) степень диссоциации равна 0,005?
3.  $\text{PP Zn}(\text{OH})_2$  равно  $1,0 \cdot 10^{-17}$ . Определите концентрацию ионов цинка в г/л в насыщенном растворе.
4. Технический карбонат кальция содержит около 90 %  $\text{CaCO}_3$ . Какую навеску образца следует взять для получения 0,2 г осадка  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ?
5. Какой объем 0,1н. раствора нитрата серебра потребуется для осаждения хлора из 1 г смеси, содержащей одинаковое массовое количество  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NaCl}$ ?

6. В 500 мл раствора содержится 2,6578 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Рассчитайте титр, титр по соляной кислоте и нормальность этого раствора при нейтрализации до  $\text{NaHCO}_3$ .
7. На титрование раствора, содержащего 3,1580 г технического  $\text{KOH}$ , израсходовано 27,45 мл раствора  $\text{HCl}$  ( $T(\text{HCl}/\text{NaOH}) = 0,07862$  г/мл). Вычислите процентное содержание  $\text{KOH}$  в образце.
8. На титрование 20,00 мл  $\text{NiCl}_2$  израсходовано 21,22 мл 0,02065 М раствора комплексона III. Определите концентрацию соли никеля в растворе в г/л.
9. Сколько граммов  $\text{BaCl}_2$  содержится в 500 мл раствора, если после прибавления к 20,00 мл его 40,00 мл 0,0950 н. раствора  $\text{AgNO}_3$  на обратное титрование израсходовано 15,60 мл 0,1010 н. раствора  $\text{NH}_4\text{SCN}$ ?
10. Сколько процентов железа содержит железная проволока, если при растворении 0,1400 г её в серной кислоте без доступа воздуха на титрование полученного раствора  $\text{FeSO}_4$  израсходовано 24,85 мл 0,100 н. раствора  $\text{KMnO}_4$ ?

### ***ВАРИАНТ 17***

1. Вычислите активности ионов в растворе, 2 л которого содержат 21,2 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
2. Определите: а) рН и концентрацию ионов водорода в 0,025 М растворе  $\text{NaOH}$ ; б) концентрации ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  и рН в 0,2 М растворе  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ( $K_1 = 4,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $K_2 = 4,7 \cdot 10^{-11}$ ).
3. Вычислите ПР сульфида висмута  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ , если его растворимость  $1,7 \cdot 10^{-15}$  моль/л.
4. ПР  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  равно  $2 \cdot 10^{-9}$ . Во сколько раз растворимость этой соли в 0,01 М растворе  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  меньше, чем в воде?
5. Какой объем 3,5 %-ного раствора  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (плотность принять 1 г/мл) потребуется для осаждения кальция из навески 0,15 г апатита  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCl}_2$ ?
6. Сколько воды нужно прибавить к 200 мл 46 %-ного раствора  $\text{HNO}_3$  ( $\rho = 1,285$  г/мл), чтобы превратить его в 10 %-ный?

7. Какую навеску цинковой руды, содержащей около 15 % цинка, следует взять для анализа, чтобы после растворения и отделения мешающих примесей, на титрование цинка в ней расходовалось 20 мл 0,1 М раствора комплекса III?
8. Навеску 2,4080 г технического NaCl растворили в мерной колбе на 500 мл. На титрование 25,00 мл этого раствора израсходовали 20,35 мл 0,09860 н. AgNO<sub>3</sub>. Вычислите процентное содержание хлора в исходной соли.
9. Навеску 0,1012 г карбоната натрия обработали 50,00 мл 0,09896 н. HCl, избыток кислоты оттитровали 25,10 мл 0,1250 н. NaOH. Вычислите процентное содержание примесей в образце.
10. Навеску 1,2510 г х.ч. (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O растворили в мерной колбе на 250 мл. На титрование 25,00 мл этого раствора расходуется 21,20 мл раствора KMnO<sub>4</sub>. Определите титр раствора KMnO<sub>4</sub>.

### ***ВАРИАНТ 18***

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем 3,28 г Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в 200 мл раствора.
2. Вычислите: а) сколько граммов HCl содержится в 250 мл раствора, pH которого равен 2,8; б) концентрацию раствора HCOOH (K<sub>д</sub> = 1,8·10<sup>-4</sup>), имеющего pH = 2,5.
3. ПР хромата серебра Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> равно 1,1·10<sup>-12</sup>. Сколько граммов ионов Ag<sup>+</sup> содержится в 200 мл насыщенного раствора?
4. Как повлияет на растворимость CaCO<sub>3</sub> (ПР = 4,8·10<sup>-9</sup>) присутствие в растворе KNO<sub>3</sub> в концентрации 0,05 М?
5. Вычислите массу Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> в растворе, если в результате анализа из него получено 0,3288 г прокаленного осадка Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
6. Сколько мл раствора 1 н. HCl надо прибавить к 500 мл раствора HCl с титром по CaO 0,008400 г/мл, чтобы получить раствор с титром по CaO, равным 0,009000 г/мл?

7. Сколько процентов  $\text{HNO}_3$  содержит концентрированная азотная кислота, если после растворения 9,7770 г её в мерной колбе ёмкостью 1 л на титрование 25,00 мл 0,1040 н. раствора  $\text{NaOH}$  израсходовано 25,45 мл полученного раствора  $\text{HNO}_3$ ?
8. На титрование раствора, полученного из 0,2122 г серебряного сплава, израсходовали 32,40 мл 0,05100 н.  $\text{KSCN}$ . Вычислите процентное содержание серебра в сплаве.
9. Сколько граммов  $\text{BaCl}_2$  содержится в 200 мл раствора, если после прибавления к 20,00 мл этого раствора 40,00 мл 0,09965 н.  $\text{AgNO}_3$  на обратное титрование избытка  $\text{AgNO}_3$  израсходовано 14,67 мл 0,09733 н.  $\text{NH}_4\text{SCN}$ ?
10. К навеске 0,2308 г бихромата калия в кислой среде добавили йодид калия, и выделившийся йод оттитровали 23,74 мл раствора тиосульфата натрия. Рассчитайте титр  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

### ***ВАРИАНТ 19***

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в растворе, содержащем 0,417 г  $\text{BaCl}_2$  в 125 мл раствора.
2. Определите: а) концентрацию ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$  в растворе, рН которого равен 10,3; б) рН раствора, полученного при смешении 50 мл 0,5 М  $\text{HCl}$  и 49 мл 0,5 М  $\text{NaOH}$ .
3. Вычислите ПР фосфата цинка  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ , если в 100 мл насыщенного раствора этой соли содержится  $0,6 \cdot 10^{-5}$  г её.
4. Какую навеску сплава, содержащего около 10 % алюминия, следует взять для получения 0,3 г оксида алюминия?
5. Сколько мл 20 % раствора  $\text{MgCl}_2$  ( $\rho = 1,17$  г/мл) потребуется для осаждения фосфора в виде  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  из навески 5,0 г фосфорита, содержащего около 25 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ?
6. Сколько мл серной кислоты концентрацией 93,55 % ( $\rho = 1,835$  г/мл) необходимо взять для приготовления 2,0 л 0,25 н. раствора?

7. Навеску 0,6000 г  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  растворили в мерной колбе емкостью 100 мл. На титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовали 18,34 мл раствора  $\text{NaOH}$ . Определите нормальность раствора  $\text{NaOH}$  и его титр по  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ .
8. Навеску 6,7000 г технического  $\text{BaCl}_2$  растворили в мерной колбе на 1000 мл. На титрование 25,00 мл этого раствора израсходовали 28,95 мл раствора  $\text{AgNO}_3$  с титром 0,008048 г/мл. Вычислите процентное содержание хлора в исходной соли.
9. Определите нормальность и титр раствора  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , если после прибавления к 25,00 мл его 25,00 мл 0,10079 М раствора комплексона III на обратное титрование последнего израсходовано 14,78 мл 0,1005 н.  $\text{ZnCl}_2$ .
10. Навеску  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  растворили в мерной колбе на 500 мл. На титрование 25,00 мл полученного раствора израсходовано 30,25 мл раствора, содержащего 1,5800 г/л  $\text{KMnO}_4$ . Рассчитайте массу навески.

### **ВАРИАНТ 20**

1. Вычислите ионную силу и активности ионов в 0,01 М растворе  $\text{AlCl}_3$ , содержащем, кроме того, 0,04 моль/л  $\text{HCl}$ .
2. Определите: а) как изменится рН, если вдвое разбавить водой 0,2М раствор  $\text{HCl}$ ; б) степень диссоциации и рН в 0,01 н. растворе  $\text{HNO}_2$ , ( $K = 5,1 \cdot 10^{-4}$ ).
3. Определите ПР фторида кальция, если растворимость этой соли равна  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л.
4. Во сколько раз растворимость  $\text{BaSO}_4$  (ПР =  $1,1 \cdot 10^{-10}$ ) в воде больше растворимости в 0,01 н. серной кислоте?
5. Сколько мл 0,25 М  $\text{BaCl}_2$  потребуется для осаждения серы в виде  $\text{BaSO}_4$  из навески 2,0 г руды, содержащей около 20 % серы?
6. Найдите титр раствора гидроксида калия по серной кислоте, если  $T_{\text{кон}} = 0,005727$  г/мл.

7. Сколько мл раствора КОН, титр которого равен 0,01111 г/мл, потребуется для нейтрализации 25 мл раствора HCl, имеющего титр 0,007777 г/мл?
8. Определите концентрацию (в г/л) раствора  $MnCl_2$ , если на титрование 20,00 мл его израсходовано 17,26 мл 0,6905 М комплексона III.
9. В мерной колбе на 250 мл растворили 2,9565 г технического KBr. К 25,00 мл полученного раствора прибавили 50,00 мл 0,06510 н.  $Hg(NO_3)_2$ . На титрование избытка  $Hg(NO_3)_2$  израсходовали 23,00 мл раствора NaCl с титром 0,003011 г/мл. Вычислите процентное содержание KBr в образце.
10. Навеску 3,3467 г технического сульфита натрия растворили в мерной колбе на 1000 мл. На титрование 20,00 мл 0,0514 н. раствора йода израсходовали 23,15 мл полученного раствора. Определите процентное содержание  $Na_2SO_3$  в образце.

### 3. МЕТОДЫ ОСАЖДЕНИЯ

#### Свойства осадков и механизм их образования

Все осадки по структуре делятся на два типа: *кристаллические* и *аморфные*.

Каждое кристаллическое соединение осаждается в определенной присущей ему кристаллической форме. Форма кристаллов хорошо видна под микроскопом, а иногда и невооруженным глазом. В кристаллах атомы, молекулы и ионы расположены в строго определенном порядке, образуя кристаллическую решетку.

Кристаллические осадки в процессе их образования быстро осаждаются и легко отделяются при фильтровании.

Аморфные осадки не обнаруживают под микроскопом частиц определенной формы. Они представляют собой рыхлые хлопьевидные или студенистые массы, которые медленно осаждаются и плохо фильтруются.

Образование осадка – сложный физико-химический процесс, состоящий из нескольких стадий.

Осадок образуется только тогда, когда концентрация раствора становится выше концентрации насыщенного раствора, т.е. из пересыщенного раствора. Пересыщенные растворы термодинамически неустойчивы (метастабильны) и самопроизвольно выделяют осадки.

Однако в первоначальный момент после смешения растворов реагентов никаких изменений в растворе не наблюдается. Время от момента сливания растворов до видимого появления осадка называется индукционным периодом. Продолжительность его различна и зависит от природы осадка и методики проведения осаждения. Например, индукционный период очень мал для хлорида серебра, но аномально велик для сульфата бария. При использовании очень разбавленных растворов индукционный период образования зародышей сульфата бария составляет несколько минут. Наличие индукционного периода связано с тем, что осадок образуется в несколько стадий.

1. В начале появляются мелкие кристаллические зародыши – первичные центры кристаллизации.

2. Рост первичных центров кристаллизации за счет осаждения на них все большего количества ионов.

3. В течение некоторого времени в растворе образуются настолько крупные кристаллы или их агрегаты, что они не могут удерживаться в растворе, и под действием силы тяжести происходит выделение твердой фазы (осадка).

4. После образования осадка с ним происходит ряд необратимых физико-химических процессов, приводящих к структурным изменениям, называемых *старением осадка*. Важнейшим из этих процессов являются: *перекристаллизация* первоначально получившихся частиц, переход метастабильных состояний в стабильные, термическое старение вследствие теплового движения ионов, химическое старение в результате изменения состава осадка. Все эти процессы играют важную роль при проведении гравиметрического анализа и

в большинстве случаев благоприятно влияют на гравиметрические свойства осадков.

При выполнении гравиметрического анализа удобнее работать с крупнокристаллическими осадками. Однако многие вещества не образуют кристаллических осадков, в этом случае аморфный осадок должен быть возможно более плотным. Для получения осадков определенной структуры необходимо соблюдать определенные условия осаждения.

#### ***Условия осаждения кристаллических осадков***

1. Осаждение следует проводить из оптимально разбавленных растворов разбавленным раствором осадителя. При этом число центров кристаллизации будет невелико, и выпадает крупнокристаллический осадок.

2. Осадитель следует прибавлять медленно, по каплям. При быстром осаждении сразу появляется много центров кристаллизации и образуется много мелких кристаллов.

3. Перемешивать раствор стеклянной палочкой, чтобы избежать местного пересыщения раствора при добавлении осадителя.

4. Осаждение следует проводить из горячих растворов горячим раствором осадителя. При высокой температуре растворимость мелких кристаллов меньше и за их счет образуются крупные кристаллы.

5. Отфильтровывать осадок после охлаждения раствора. Лучше после осаждения оставить осадок на несколько часов (от 2 до 24) с маточным раствором. При стоянии осадка происходит его старение – совокупность процессов, приводящих к изменению структуры и свойств осадков. Растворимость очень мелких кристаллов при прочих равных условиях выше, чем растворимость более крупных.

#### ***Условия осаждения аморфных осадков***

1. Осаждение следует проводить из горячих растворов, т.к. при этом легче происходит коагуляция аморфных частиц и уплотнение осадка. Кроме того, высокая температура способствует уменьшению адсорбции.

2. Осаждение вести из концентрированных растворов концентрированным раствором осадителя, который следует добавлять быстро. В этом случае осадок получается более плотным, с меньшей поверхностью, он быстрее оседает и легче отмывается от примесей.

3. Осаждение следует проводить в присутствии электролита-коагулянта (соли аммония и некоторые минеральные кислоты), способствующего более быстрой и полной коагуляции.

4. Осаждение проводить при интенсивном перемешивании стеклянной палочкой.

5. Для снижения адсорбции к раствору с осадком сразу же после осаждения прибавляют горячую дистиллированную воду (около 100 мл) и перемешивают. При этом часть адсорбированных примесей переходит в раствор, а также снижается концентрация примесей в растворе.

6. Осадок не рекомендуется оставлять в соприкосновении с маточным раствором, а следует сразу приступать к дальнейшей обработке осадка.

### ***Соосаждение***

Выпадающий осадок, как правило, загрязнен посторонними примесями.

*Соосаждение* – выпадение в осадок вместе с осаждаемым соединением каких-либо посторонних веществ, которые в условиях проведения анализа являются растворимыми и применяемым реагентом не осаждаются.

По механизму захвата посторонних веществ различают несколько видов соосаждения: адсорбция, окклюзия и изоморфизм (образование твердого раствора).

*Адсорбция* – это поглощение примесей из раствора поверхностью осадка. Причиной адсорбции является некомпенсированность заряда на поверхности частиц осадка, в результате образуется силовое поле, к которому притягиваются ионы, находящиеся в растворе.

Величина адсорбции зависит от ряда факторов:

**1. Величина поверхности адсорбента.** Чем больше поверхность осадка, тем выше адсорбция. Наибольшая адсорбция наблюдается у осадков с чрезвычайно развитой поверхностью – мелкокристаллических и аморфных.

**2. Концентрация растворенных веществ** – чем она больше, тем выше адсорбция.

**3. Температура.** Адсорбция – экзотермический процесс, поэтому в соответствии с принципом Ле Шателье при увеличении температуры адсорбция уменьшается.

**4. Природа адсорбируемых ионов.** Одни вещества адсорбируются легче, другие – труднее. Правила, какие из ионов будут предпочтительнее:

- в первую очередь осадок адсорбирует из раствора те ионы, которые входят в его состав и находятся в избытке. Для осадка сульфата бария  $BaSO_4$  это ионы  $Ba^{2+}$  или  $SO_4^{2-}$ . В результате поверхность частиц заряжается (положительно или отрицательно) и из раствора адсорбируются ионы противоположного знака – противоионы;

- при прочих равных условиях преимущественно адсорбируется ион, концентрация которого больше;

- многозарядные ионы адсорбируются сильнее, чем однозарядные;

- преимущественно адсорбируются ионы, близкие по размерам с ионами кристаллической решетки.

При старении осадка уменьшается его поверхность, и он уплотняется, что часто влечет за собой значительное понижение адсорбции посторонних ионов. Тщательное промывание осадка также способствует уменьшению ошибок, возникающих вследствие адсорбции.

*Окклюзия* – это захват посторонних ионов в процессе образования осадка. При окклюзии соосаждаемые примеси находятся не на поверхности, а внутри частиц осадка, но не участвуют в построении кристаллической решетки осадка. Проникновение примесей внутрь кристаллов может протекать по одному из следующих путей:

- реальные кристаллы имеют мельчайшие пустоты и трещины, которые заполняются маточным раствором;

- мельчайшие кристаллы могут слипаться, захватывая маточный раствор. Такой механический захват примесей происходит тем сильнее, чем выше скорость осаждения;

- в процессе роста кристаллов их поверхность постоянно обновляется, и на ней адсорбируются различные примеси из раствора, а вокруг них образуются новые слои кристаллической решетки.

Окклюзия характерна для кристаллических осадков.

На величину окклюзии влияют:

1. **Концентрация примесей в растворе.** Как и в случае адсорбции, чем выше концентрация примесей, тем выше окклюзия.

2. **Порядок сливания растворов.** Для ослабления окклюзии посторонних катионов, осаждение нужно вести таким образом, чтобы кристаллы росли в среде, содержащей избыток собственных катионов. И наоборот, чтобы уменьшить окклюзию посторонних анионов, осаждение нужно вести в среде, содержащей избыток собственных анионов.

3. **Скорость приливания осадителя.** При медленном добавлении осадителя получают более чистые осадки, т.к. при медленном росте кристаллов адсорбированные ионы примесей на поверхности кристалла успевают замещаться на собственные ионы осадка.

*Изоморфизм* – это образование смешанных кристаллов. Изоморфными называются вещества, способные образовывать совместную кристаллическую решетку. Изоморфные ионы, т.е. имеющие близкие радиусы и одинаковое координационное число, способны замещать друг друга в кристаллической решетке.

### ***Выбор осадителя***

Правила при выборе осадителя:

1. Один из ионов осадителя должен образовывать с определяемым ионом осадок с возможно меньшим ПР, предпочтительно с крупнокристаллической структурой.

2. Выпадающий осадок загрязнен ионами осадителя, а промывание осадка может быть недостаточно полным. Поэтому желательно, чтобы осадитель был летучим веществом.

3. Т.к. при анализе часто определяемый ион находится в присутствии других ионов, осадитель должен быть специфичным.

**Количество осадителя.** Т.к. произведение растворимости всегда больше нуля, абсолютно нерастворимых веществ не существует, и ни одно осаждение не может быть полным; часть осаждаемых ионов остается в растворе. В гравиметрическом анализе осаждение считается практически полным, когда оставшееся в растворе количество осаждаемых ионов не превышает погрешность взвешивания на аналитических весах, т.е. менее 0,0001 г.

### ***Промывание осадка***

Цель промывания заключается в удалении из осадка адсорбированных примесей и маточного раствора, пропитывающего осадок.

Существует два приема промывания осадка: промывание на фильтре и промывание декантацией. Первый способ рекомендуется для очистки объемистых аморфных осадков, второй – для кристаллических. И в том и в другом случае очистка от примесей более эффективна, если разделить промывную жидкость на несколько небольших порций, которые добавляют последовательно после практически полного стекания каждой предыдущей порции с осадка на фильтре (при первом способе промывания) или сливания жидкости с осадка (при втором способе).

Однако в процессе промывания осадок частично растворяется в промывной жидкости. Чтобы потери от растворимости при промывании были минимальны и не повлияли на результат анализа (масса осадка, перешедшего в

раствор не должна превышать точности взвешивания на аналитических весах, т.е. 0,0001 г), важно правильно выбрать промывную жидкость.

Т.к. после промывания осадок высушивается и (или) прокаливается, промывная жидкость должна быть летучей и полностью удаляться при термической обработке осадка.

### ***Высушивание и прокаливание осадков***

На заключительной стадии анализа осадок после промывания высушивают или прокаливают. Осадки, полученные в результате реакции с органическим осадителем (диметилглиоксимом, 8-оксихинолином и др.), обычно высушивают; осадки неорганических соединений, как правило, прокаливают.

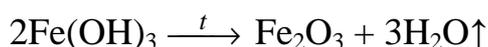
При прокаливании многие осадки претерпевают химические изменения. Поэтому в методе осаждения различают осаждаемую и гравиметрическую (весовую) формы.

Соединение, которое выпадает в осадок в результате взаимодействия определяемого компонента с осадителем, называется *осаждаемой формой*.

Соединение, полученное после высушивания и прокаливания осадка (осаждаемой формы) и которое взвешивают для получения окончательного результата анализа, называется *гравиметрической формой*. Гравиметрическая форма, получаемая путем прокаливания, должна быть устойчива при высоких температурах.

Например, при определении содержания железа осаждаемой формой является гидроксид железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , а гравиметрической формой – оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Примеры перевода осаждаемой формы в гравиметрическую путем прокаливания:



В отдельных случаях, когда при прокаливании осадка его химический состав не изменяется, осаждаемая и весовая формы представляют собой одно и то же вещество ( $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{AgCl}$  и др.).

К осаждаемой и гравиметрической формам предъявляются разные требования.

### ***Требования к осаждаемой форме***

1. Осаждаемая форма должна обладать малой растворимостью, чтобы осаждение определяемого компонента было практически полным. Например, для бинарных электролитов  $\text{PP} \leq 10^{-8}$ .

2. Наиболее предпочтительной является крупнокристаллическая структура осадка, т.к. такие осадки менее загрязнены, легко промываются и фильтруются. Менее удобны – мелкокристаллические, а еще менее удобны – аморфные осадки. Но ввиду отсутствия у некоторых элементов малорастворимых соединений с кристаллической структурой, иногда приходится работать с аморфными осадками. В этом случае желательно, чтобы осадок был возможно более плотным.

3. Необходимо, чтобы осаждаемая форма легко и полностью переходила в весовую.

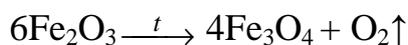
### ***Требования к гравиметрической форме***

1. Состав гравиметрической формы должен точно соответствовать химической формуле. (Например, состав гидроксида железа лишь приблизительно соответствует формуле  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , фактически его состав  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ; а состав оксида железа точно отвечает формуле  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

2. Гравиметрическая форма должна быть химически устойчива и не должна изменять свой состав при соприкосновении с окружающей средой вследствие поглощения влаги, углекислого газа или окисления.

3. Желательно, чтобы содержание определяемого компонента в весовой форме было как можно меньше, т.к. в этом случае ошибки взвешивания меньше сказываются на результатах анализа.

Осадок прокаливают при температуре 800–900<sup>0</sup>С около 0,5–1 часа. При слишком сильном и длительном прокаливании происходит частичное восстановление оксида железа:



## ***ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1***

### ***Определение содержания железа в растворе методом осаждения***

#### ***Цель работы***

Определить содержание железа в растворе гравиметрическим методом.

#### ***Ход определения***

Получить у лаборанта стаканчик с анализируемым раствором FeCl<sub>3</sub>. Добавить 1–1,5 см<sup>3</sup> концентрированной азотной кислоты для подавления гидролиза и окисления ионов железа (II).

Затем раствор нагревают на электроплитке практически до кипения (но не кипятить!). К горячему раствору по каплям добавляют раствор осадителя (10%-ный раствор аммиака) до появления слабого, но ясного запаха аммиака. После чего содержимое стакана хорошо перемешивают стеклянной палочкой и для уменьшения адсорбции добавляют около 100 мл горячей дистиллированной воды.

Раствор перемешивают и выдерживают 2-3 минуты, затем проводят проверку на полноту осаждения осторожным добавлением 1-2 капель раствора осадителя.

После этого приступают к фильтрованию осадка. Фильтровать следует через фильтр средней плотности (белая лента) или более рыхлый (красная лента). Сложенный фильтр вкладывают в воронку и смачивают несколькими каплями дистиллированной воды.

Прозрачную жидкость над осадком сливают по стеклянной палочке с «носика» стакана на фильтр, заполняя его на три четверти. После сливания жидкости приступают к промыванию осадка декантацией. Для этого в стакан с осадком добавляют 30-40 мл промывной жидкости (горячий 2%-ный раствор нитрата аммония), перемешивают и дают отстояться, затем сливают прозрачную жидкость над осадком по стеклянной палочке на фильтр. Эту операцию повторяют несколько раз.

После окончания декантации осадок перемешивают с небольшим количеством промывной жидкости и переносят на фильтр. Частицы осадка, оставшиеся на дне и стенках стакана, а также на стеклянной палочке, снять кусочком беззольного фильтра и поместить в фильтр, находящийся в воронке. Осадок на фильтре промывают до полного удаления ионов хлора. Для проверки полноты промывания несколько капель фильтрата собирают в пробирку и добавляют 1-2 капли раствора нитрата серебра  $\text{AgNO}_3$ . Если раствор мутный, то операцию промывания повторяют. Воронку с фильтром подсушивают в сушильном шкафу и еще слегка влажным вместе с фильтром переносят в прокаленный до постоянной массы предварительно взвешенный тигель. Тигель с осадком переносят в муфельную печь, нагретую до  $360\text{--}400^\circ\text{C}$ , и проводят озоление фильтра, не допуская его воспламенения. После озоления тигель прокаливают 30–40 минут при  $900\text{--}1000^\circ\text{C}$ . После этого тигель вынимают, охлаждают в эксикаторе, а затем взвешивают на аналитических весах. Прокаливание по 10–15 минут повторяют до получения постоянной массы (т.е. разница между двумя последовательными взвешиваниями не должна превышать 0,0001 г).

Массу железа (г), рассчитывают по формуле:

$$m(\text{Fe}) = m(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot F;$$

где  $m(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  – масса, полученного осадка, г;  $F$  – гравиметрический фактор:

$$F = \frac{2 \cdot M(\text{Fe})}{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

Ошибку определения рассчитывают по формулам:

Абсолютная ошибка:  $D = m_{(\text{истин.})} - m_{(\text{найд.})}$ ;

Относительная ошибка:  $D_{\text{отн.}} = \frac{D \cdot 100 \%}{m_{(\text{ист.})}}$

Результаты измерений и вычислений сводят в таблицу 1.

Таблица 1

Масса пустого тигля, г	Масса тигля с прокаленным осадком, г	Масса осадка, г	Содержание железа в растворе FeCl <sub>3</sub> , г	D абс, г	D отн, %

### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные операции метода осаждения в порядке их выполнения.
2. Какие условия осаждения влияют на структуру осадка?
3. Сформулируйте условия аналитического выделения кристаллических осадков?
4. Сформулируйте условия аналитического выделения аморфных осадков?
5. Что такое соосаждение? Какие виды соосаждения существуют?
6. В чем причина адсорбции ионов на поверхности осадка? Какие ионы адсорбируются в первую очередь?
7. Что такое окклюзия? Как влияет скорость добавления осадителя на количество окклюдированных примесей?
8. Что такое изоморфизм? Каковы условия изоморфного замещения ионов в кристаллической решетке?
9. Какова цель промывания осадков? Какие приемы промывания осадка существуют?
10. Что называют осаждаемой формой, гравиметрической формой и гравиметрическим фактором?
11. Какие требования предъявляются к осаждаемой форме и гравиметрической форме?

## 4. ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА

### *Сущность и основные понятия титриметрического анализа*

Титриметрический анализ – метод количественного химического анализа, основанный на измерении объема, израсходованного на реакцию с определяемым веществом. Процесс медленного постепенного приливания раствора реагента с точно известной концентрацией к раствору определяемого вещества (иногда наоборот) называется *титрованием*. Раствор с точно известной концентрацией называется титрованным. Часто его называют рабочим раствором или *титрантом*.

При титровании употребляют количество реагента, точно отвечающее уравнению реакции. Момент титрования, при котором количество добавленного реагента становится эквивалентным количеству определяемого вещества, называется *точкой эквивалентности (ТЭ)*.

Точку эквивалентности определяют экспериментально с помощью физико-химических методов или посредством индикаторов. *Индикаторы* – это вещества, которые претерпевают химические превращения, сопровождающиеся внешним эффектом, при концентрации реагирующих веществ, возможно более близких к точке эквивалентности. Момент титрования, когда наблюдается изменение окраски индикатора, называется *точкой конца титрования (ТКТ)*. В идеальном случае ТЭ и ТКТ совпадают, однако в практических условиях между ними наблюдается некоторая разница. Чем больше эта разница, тем больше погрешность титрования при прочих равных условиях, поэтому следует подбирать такой индикатор, чтобы разница между ТЭ и ТКТ была минимальной. Важнейшей характеристикой титриметрических методов являются кривые титрования.

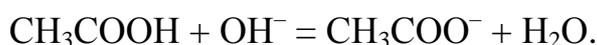
*Кривая титрования* – графическое изображение зависимости изменения концентрации определяемого вещества или некоторого,

связанного с ним свойства (параметра) раствора от количества добавленного титранта.

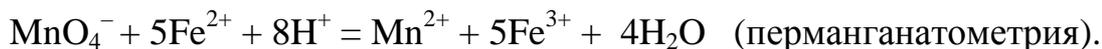
### ***Классификация методов титриметрического анализа***

По типу основной реакции, протекающей при титровании или по названию титранта различают:

1. *Кислотно-основное титрование* (метод нейтрализации) – метод, основанный на реакции переноса протонов от одной реагирующей частицы к другой:



2. *Окислительно-восстановительное титрование* (редоксиметрия) – методы, основанные на реакциях, сопровождающихся переносом электронов от восстановителя к окислителю:



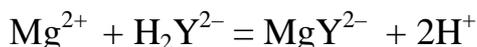
3. *Осадительное титрование* – метод, при котором титруемое вещество при взаимодействии с титрантом образует малорастворимое соединение:



4. *Комплексометрическое титрование* – метод, основанный на реакциях, при котором титруемое вещество при взаимодействии с титрантом образует слабодиссоциирующий комплекс:

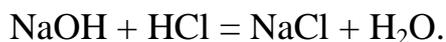


Разновидностью комплексометрического титрования является *комплексометрическое титрование* (комплексометрия) – когда титруемое вещество при взаимодействии с титрантом – раствором комплексона – образует комплексонаты металлов:



***По способу выполнения*** различают прямое, обратное титрование и титрование заместителя (метод замещения, косвенное титрование).

*Прямое титрование* применяют, если реакция удовлетворяет всем вышеперечисленным требованиям. В этом случае титрант непосредственно добавляют к титруемому веществу, например, титрование кислоты щелочью:



Если скорость реакции мала, или не удается подобрать индикатор, или наблюдаются побочные эффекты, например, потери определяемого вещества вследствие летучести, используют *обратное титрование*.

Обычно при титриметрическом определении проводят несколько параллельных титрований. При этом возможны два варианта: метод *пипетирования* и *метод отдельных навесок*.

В *методе пипетирования* навеску исходного (или анализируемого) вещества растворяют в мерной колбе определенного объема; с помощью пипетки отбирают равные порции (аликвоты) приготовленного раствора и титруют их.

*Метод отдельных навесок* заключается в том, что на аналитических весах берут несколько примерно равных по массе навесок, количественно переносят каждую в колбу для титрования, растворяют в произвольном объеме растворителя и титруют.

Метод пипетирования более экспрессен и менее трудоемок, но и менее точен, чем метод отдельных навесок.

### ***Стандартные растворы***

В титриметрическом анализе необходимо знать точную концентрацию титранта с относительной погрешностью, обычно не превышающей  $\pm 0,1\%$ . Титрант с точно известной концентрацией называют *стандартным раствором*. По способу приготовления различают первичные и вторичные стандартные растворы.

*Первичный стандартный раствор* готовят путем растворения точной навески соответствующего вещества в мерной колбе определенного объема.

Процесс нахождения точной концентрации одного раствора по известной концентрации другого называется *стандартизацией*. Раствор, концентрация которого установлена стандартизацией, называется *вторичным стандартным раствором* или раствором с установленным титром.

Иногда стандартные растворы готовят с помощью фиксаналов, которые представляют собой запаянные стеклянные ампулы, содержащие точно известное количество стандартного вещества или раствора (обычно 0,1 моль эквивалента). Для приготовления стандартного раствора из фиксанала содержимое ампулы количественно переносят в мерную колбу, доводят дистиллированной водой до метки и тщательно перемешивают раствор.

*Кислотно-основное титрование* – это метод количественного титриметрического анализа, основанный на реакции переноса протонов от одной реагирующей частицы к другой:



В водных растворах – это реакция нейтрализации



В качестве титрантов метода кислотно-основного титрования используют растворы сильных кислот ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) или сильных оснований ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ) с концентрацией от 0,05 до 1,0 моль/л. В соответствии с этим кислотно-основное титрование бывает двух типов.

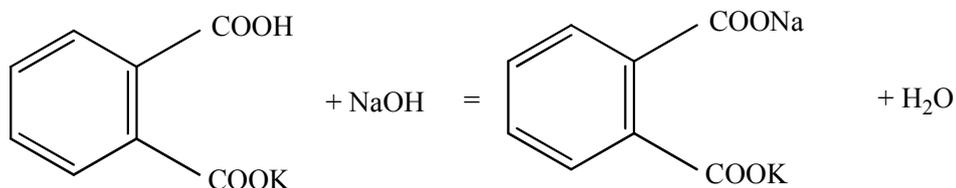
*Ацидиметрическое титрование (ацидиметрия)* – метод определения сильных и слабых оснований, солей слабых кислот, основных солей и других соединений, обладающих основными свойствами, путем титрования стандартным раствором сильной кислоты.

*Алкалиметрическое титрование (алкалиметрия)* – метод определения сильных и слабых кислот, кислых солей, солей слабых оснований путем титрования стандартным раствором сильного основания.

Сильные кислоты и основания не соответствуют требованиям, предъявляемым к первичным стандартным веществам, поэтому точную

концентрацию титрантов устанавливают путем стандартизации. Для стандартизации кислот используют безводный карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (сода) или декагидрат тетрабората натрия  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (бура).

Растворы щелочей стандартизируют по щавелевой кислоте  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , бензойной кислоте  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  или гидрофталату калия



В зависимости от природы титруемого вещества и титранта в точке эквивалентности среда может быть нейтральной, слабокислой или слабощелочной.

Кислотно-основные индикаторы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Окраска разных форм индикатора должна явно отличаться в кислой и щелочной среде и быть возможно более интенсивной.
2. Изменение окраски должно происходить быстро в небольшом интервале рН.
3. Индикатор должен быть чувствительным, т.е. количество кислоты или щелочи, необходимое для изменения окраски индикатора должно быть очень мало, чтобы не искажались результаты титрования.
4. Изменение окраски индикатора должно быть легко обратимым.

В таблице 2.1. приведены интервалы перехода и рТ некоторых кислотно-основных индикаторов.

Чтобы правильно выбрать индикатор надо знать, как изменяется рН в процессе титрования, и чему он равен в точке эквивалентности. Для этого строят кривые титрования, которые в методе нейтрализации отображают изменение рН раствора от количества добавленного титранта или степени оттитрованности.

Величины рТ и интервалы перехода некоторых кислотно-основных индикаторов

Индикатор	Интервал перехода рН	Значение рТ	Окраска	
			кислотной формы	основной формы
Метиловый оранжевый	3,1 – 4,4	4	Красная	Желтая
Метиловый красный	4,4 – 6,2	5	Красная	Желтая
Лакмус	5,0 – 8,0	7	Красная	Синяя
Фенолфталеин	8,0 – 10,0	9	Бесцветная	Красная
Ализариновый желтый	10,0 – 12,0	11	Желтая	Фиолетовая

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Определение содержания гидроксида натрия в растворе методом кислотно-основного титрования

#### *Цель работы*

Изучение титриметрического метода анализа – метода нейтрализации и количественное определение содержания гидроксида натрия в растворе.

#### **Ход работы**

##### ***1. Приготовление раствора хлороводородной кислоты***

Титрованный раствор хлороводородной (соляной) кислоты нельзя приготовить разбавлением концентрированного раствора. Выпускаемый концентрированный раствор имеет плотность 1,17–1,19 г/см<sup>3</sup> и концентрацию 36–38%. Однако концентрация раствора постепенно изменяется вследствие летучести хлороводорода. Поэтому обычно готовят HCl из предварительно разбавленного (1:1) раствора концентрированной кислоты. Измеряют плотность раствора ареометром и по справочнику находят концентрацию раствора.

Расчет производят следующим образом. Пусть плотность исходного раствора хлороводородной кислоты  $\rho = 1,11 \text{ г/см}^3$ , что соответствует массовой доле HCl  $\omega = 22,32\%$ . Требуется приготовить  $250 \text{ см}^3$  0,1 н. раствора. Рассчитываем, какая масса содержится в заданном растворе, по формуле

$$m_{(HCl)} = \frac{V_{(HCl)} \cdot C_{H(HCl)} \cdot M_{Э(HCl)}}{1000}, \text{ где: } m_{(HCl)} - \text{масса HCl, г;}$$

$V_{(HCl)}$  – объём заданного раствора,  $\text{см}^3$ ;

$C_{H(HCl)}$  – эквивалентная концентрация заданного раствора,  $\text{моль/дм}^3$ ;

$M_{Э(HCl)}$  – молярная масса эквивалента HCl –  $36,46 \text{ г/моль}$ ,

$$m_{(HCl)} = \frac{250 \cdot 0,1 \cdot 36,46}{1000} = 0,9115 \text{ г.}$$

По формуле

$$m_p = \frac{m_{(HCl)} \cdot 100\%}{\omega}$$

находим массу исходного раствора ( $m_p$ ), в которой содержится рассчитанное количество HCl:

$$m_p = \frac{0,9115 \cdot 100\%}{22,32\%} = 4,083 \text{ г.}$$

Зная плотность раствора, находим его объём ( $V_p$ ):

$$V_p = \frac{m_p}{\rho} = \frac{4,083}{1,11} = 3,68 \text{ см}^3.$$

С помощью градуированной пипетки отмеривают рассчитанный объём ( $3,6 - 3,7 \text{ см}^3$ ) кислоты, переносят в мерную колбу объёмом  $250 \text{ см}^3$ , разбавляют раствор до метки и тщательно перемешивают. Точную концентрацию приготовленного раствора устанавливают с помощью первичного стандарта – тетрабората натрия.

## **2. Приготовление стандартного раствора тетрабората натрия**

Декагидрат тетрабората натрия  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (бура) легко получить в химически чистом виде, он обладает высокой молярной массой эквивалента и поэтому удобен в качестве первичного стандарта.

Для установления титра кислоты по тетраборату натрия в данной работе используется метод пипетирования, т. к. он менее трудоемкий.

Навеску буры, необходимую для приготовления первичного стандартного раствора, рассчитывают по формуле:

$$m(\bar{b}) = \frac{V(\bar{b}) \cdot C_H(\bar{b}) \cdot M_{\bar{a}}(\bar{b})}{1000},$$

где:  $m(\bar{b})$  – масса навески буры, г;

$V(\bar{b})$  – объём раствора буры, см<sup>3</sup>;

$C_H(\bar{b})$  – эквивалентная концентрация раствора буры моль/дм<sup>3</sup>;

$M_{\bar{a}}(\bar{b})$  – молярная масса эквивалента буры, г/моль.

$$M_{\bar{a}}(\bar{b}) = \frac{M(\bar{b})}{2} = \frac{381,42}{2} = 190,71 \text{ г/моль}.$$

Рассчитаем навеску для приготовления 100 см<sup>3</sup> 0,1 н. раствора тетрабората:

$$m(\bar{b}) = \frac{100 \cdot 0,1 \cdot 190,71}{1000} = 1,9071 \text{ г}.$$

На аналитических весах на часовом стекле взвешивают навеску тетрабората примерно равную по массе рассчитанной. С помощью воронки навеску количественно переносят в мерную колбу объёмом 100 см<sup>3</sup>, смывая остатки вещества со стекла и стенок воронки дистиллированной водой. В колбу через ту же воронку наливают около 2/3 объёма горячей дистиллированной воды и содержимое колбы перемешивают плавными вращательными движениями до полного растворения тетрабората. После этого раствор в колбе охлаждают до комнатной температуры и доводят объём полученного раствора до метки, закрывают пробкой и тщательно перемешивают.

Если масса взятой навески отличается от теоретически рассчитанной, точную концентрацию приготовленного раствора (до 4-х значащих цифр) определяют по формулам

$$T = \frac{m}{V}, \quad C_H = \frac{T \cdot 1000}{M_{\bar{a}}}.$$

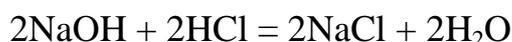
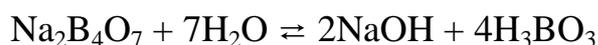
Результаты взвешивания и расчетов заносят в таблицу 3.

Таблица 3

Масса навески, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , г	Титр раствора $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , г/см <sup>3</sup>	Эквивалентная концентрация раствора $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , моль/дм <sup>3</sup>

### ***3. Стандартизация раствора хлороводородной кислоты по тетраборату натрия***

Как соль слабой кислоты, бора в водном растворе гидролизуеться с образованием гидроксида натрия. При взаимодействии с соляной кислотой ионы  $\text{H}^+$  кислоты соединяются с  $\text{OH}^-$  ионами щелочи, равновесие реакции гидролиза смещается вправо, и гидролиз протекает до конца. При этом количество образовавшейся щелочи эквивалентно количеству тетрабората натрия.



#### **Выполнение определения**

Из бюретки сливают воду, ополаскивают приготовленным раствором кислоты, который потом выливают. Затем заполняют бюретку раствором кислоты несколько выше нулевого деления. Перед самым началом титрования устанавливают уровень кислоты на нулевое деление, осторожно сливая избыток кислоты из бюретки в подставленный стакан. В коническую колбу для титрования отбирают пипеткой 10 мл приготовленного раствора тетрабората натрия, добавляют 1-2 капли индикатора метилового оранжевого и титруют раствором  $\text{HCl}$  до тех пор, пока от одной капли титранта окраска раствора не изменится из желтой в оранжевую. Измеряют объём раствора кислоты, пошедший на титрование (до сотых долей см<sup>3</sup>). Титрование повторяют 3 раза, при этом расхождение между результатами титрований не

должно превышать 0,1 см<sup>3</sup>. Для расчетов берут средний объем раствора HCl, затраченный на титрование. Точную концентрацию хлороводородной кислоты вычисляют по формуле:

$$C_{H(HCl)} = \frac{V(\delta) \cdot C_{H(\delta)}}{V_{ср.(HCl)}}.$$

Результаты измерений и вычислений сводят в таблицу 4.

Таблица 4

Объем раствора буры, взятый для титрования, см <sup>3</sup>	Эквивалентная концентрация раствора буры, моль/дм <sup>3</sup>	Объем раствора HCl, пошедший на каждое титрование, см <sup>3</sup>	Средний объем раствора HCl, см <sup>3</sup>	Эквивалентная концентрация раствора HCl, моль/дм <sup>3</sup>
		V <sub>1</sub> = V <sub>2</sub> = V <sub>3</sub> =		

#### 4. Определение содержания гидроксида натрия в растворе

Получают у лаборанта мерную колбу объемом 50 (100) см<sup>3</sup> с анализируемым раствором NaOH, добавляют до метки дистиллированную воду, закрывают колбу пробкой и тщательно перемешивают содержимое.

**Выполнение определения.** В коническую колбу для титрования отбирают пипеткой 10 мл анализируемого раствора гидроксида натрия, добавляют 1-2 капли индикатора метилового оранжевого и титруют раствором HCl до перехода окраски раствора из желтой в оранжевую. Титрование повторяют 3 раза. Для расчетов берут средний объем раствора HCl, затраченный на титрование. Массу гидроксида натрия рассчитывают по формуле:

$$m(NaOH) = \frac{V(HCl) \cdot C_{H(HCl)} \cdot M_{\text{э}}(NaOH)}{1000} \cdot \frac{V_{м.к.}}{V_a},$$

где  $V_{м.к.}$  – объем мерной колбы с анализируемым раствором, см<sup>3</sup>;

$V_a$  – объем аликвоты (объем пипетки), см<sup>3</sup>.

Ошибку определения рассчитывают по формулам:

Абсолютная ошибка:

$$D = m_{(ист.)} - m_{(найд.)};$$

Относительная ошибка: 
$$D_{\text{отн.}} = \frac{D \cdot 100 \%}{m(\text{исм})}$$

Результаты измерений и вычислений сводят в таблицу 5.

Таблица 5

Объём аликвоты раствора NaOH, см <sup>3</sup>	Эквивалентная концентрация раствора HCl, моль/дм <sup>3</sup>	Объём раствора HCl, пошедший на титрование, см <sup>3</sup>	Средний объём раствора HCl, см <sup>3</sup>	Содержание NaOH (найденное), г	Содержание NaOH (истинное), г	D <sub>отн.</sub> , %
		V <sub>1</sub> = V <sub>2</sub> = V <sub>3</sub> =				

### Контрольные вопросы

1. Сущность и методы титриметрического анализа.
2. Требования к реакциям, используемым в титриметрическом анализе.
3. Приемы титрования: прямое, обратное, метод замещения.
4. Способы титрования: пипетирования и отдельных навесок.
5. Процесс титрования, точка эквивалентности, точка конца титрования и ее определение.
6. Способы приготовления титрованных растворов. Требования к стандартным веществам.
7. Метод кислотно-основного титрования: сущность метода и область применения.
8. Рабочие растворы и стандартные вещества метода кислотно-основного титрования.
9. Индикаторы метода кислотно-основного титрования, интервал перехода их окраски, выбор индикатора с помощью кривой титрования.
10. Вычисления в титриметрическом анализе.
11. Ход выполнения лабораторной работы.

## 5. КОМПЛЕКСОНОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

*Комплексонометрическое титрование (комплексометрия)* – метод количественного титриметрического анализа, основанный на использовании реакций взаимодействия ионов металлов-комплексообразователей с комплексонами, сопровождающихся образованием устойчивых малодиссоциированных комплексов. *Комплексонами* называют органические соединения,

молекулы которых содержат как кислотные, так и основные группы и потому способные образовывать с ионами металлов внутрикомплексные соединения. Комплексоны образуют растворимые внутрикомплексные соединения со многими ионами металлов:  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  и др.

Комплексоны являются полидентатными лигандами, которые способны образовывать очень устойчивые **хелатные** («клешневидные») циклы; образующиеся комплексы называют хелатными или просто хелатами.

**Выбор индикатора для комплексонометрии** осуществляется с помощью кривых титрования. При этом кривую титрования строят по аналогии с кривыми для кислотно-основного титрования, откладывая на оси ординат значение  $pM = -\lg [M^{n+}]$ , а на оси абсцисс – количество добавленного комплексона или процент титрования.

Как правило, для фиксирования точки конца титрования в комплексонометрии используют металл-индикаторы.

Индикаторы подбираются таким образом, чтобы интервал перехода их окраски находился в пределах скачка титрования. В настоящее время известно около 150 металл-индикаторов.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

#### **Определение общей жесткости воды методом комплексонометрического титрования**

##### **Цель работы**

Изучение титриметрического метода анализа – комплексонометрии и количественное определение содержания никеля в пробе и общей жесткости воды.

##### **Ход работы**

##### **1 . Приготовление рабочего раствора комплексона**

Основным рабочим раствором метода является 0,1 н. или 0,05 н. раствор двузамещенного этилендиаминтетраацетата натрия (ЭДТА), кристаллизующегося с двумя молекулами воды.

Его состав отвечает формуле  $\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_4 \cdot \text{N}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Раствор ЭДТА не может быть приготовлен по точной навеске вещества. Готовят раствор комплексона приблизительно нужной концентрации, а затем его стандартизируют.

Навеска ЭДТА для приготовления раствора рассчитывается по формуле:

$$m_{(\text{ЭДТА})} = \frac{V_{(\text{ЭДТА})} \cdot C_{\text{H}}_{(\text{ЭДТА})} \cdot M_{\text{Э}}_{(\text{ЭДТА})}}{1000}.$$

Эквивалентная масса ЭДТА:

$$M_{\text{Э}}_{(\text{ЭДТА})} = \frac{M_{(\text{ЭДТА})}}{2} = \frac{372,25}{2} = 186,12 \text{ г/моль}.$$

Рассчитывают навеску ЭДТА, необходимую для приготовления 200 мл 0,05 н. раствора, взвешивают вещество на технических весах и растворяют в 200 мл дистиллированной воды при перемешивании.

### 3.1.2. Стандартизация раствора комплексона

Для стандартизации растворов комплексона используют растворы солей кальция или магния, приготовленные из фиксанала или металлический цинк. Массу навески цинка рассчитывают по формуле

$$m_{(\text{Zn})} = \frac{V \cdot C_{\text{H}} \cdot M_{\text{Э}}_{(\text{Zn})}}{1000},$$

где:  $m_{(\text{Zn})}$  – масса гранулы цинка, г;

$V$  – объём мерной колбы, в которой готовится раствор, мл;

$C_{\text{H}}$  – нормальность приготавливаемого раствора хлорида (сульфата) цинка, моль/л;

$M_{\text{Э}}_{(\text{Zn})}$  – эквивалентная масса цинка, г/моль,

$$M_{\text{Э}}_{(\text{Zn})} = \frac{M_{(\text{Zn})}}{2} = \frac{65,38}{2} = 32,69 \text{ г/моль}.$$

Гранулу цинка взвешивают на аналитических весах, переносят в мерную колбу на 100 мл и растворяют на холоде в 10-15 мл х.ч. соляной (серной) кислоты. После растворения раствор охлаждают, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Из формулы (7) рассчитывают нормальность полученного раствора хлорида (сульфата) цинка:

$$C_H(\text{ZnCl}_2) = \frac{m(\text{Zn}) \cdot 1000}{V \cdot M_{\text{Э}}(\text{Zn})}$$

**Выполнение определения.** В колбу для титрования отбирают пипеткой 10 мл раствора хлорида цинка, прибавляют 10-15 мл аммиачного буферного раствора, 50 мл дистиллированной воды и на кончике шпателя индикатора эриохрома черного Т. Смесь титруют приготовленным раствором ЭДТА до перехода окраски из винно-красной в сине-голубую. Титрование повторяют 3 раза. Для расчетов берут средний объем раствора ЭДТА, затраченный на титрование хлорида цинка. Точную концентрацию ЭДТА вычисляют по формуле:

$$C_H(\text{ЭДТА}) = \frac{V(\text{ZnCl}_2) \cdot C_H(\text{ZnCl}_2)}{V(\text{ЭДТА})}$$

Результаты измерений и вычислений сводят в таблицу 6.

Таблица 6

Объем раствора $\text{ZnCl}_2$ , взятый для титрования, мл	Эквивалентная концентрация раствора $\text{ZnCl}_2$ , моль/л	Объем раствора ЭДТА, пошедший на каждое титрование, мл	Средний объем раствора ЭДТА, мл	Эквивалентная концентрация раствора ЭДТА, моль/л
		$V_1 =$ $V_2 =$ $V_3 =$		

## 2. Определение общей жёсткости воды

Жёсткость воды обусловлена присутствием в ней растворимых солей кальция и магния. Различают временную и постоянную жёсткость; первая определяется наличием в воде гидрокарбонатов, вторая – хлоридов и сульфата-

тов кальция и магния. Суммарное содержание солей кальция и магния определяет общую жёсткость воды. Жёсткость воды выражают числом миллимоль эквивалентов кальция и магния в 1 литре воды (ммоль экв./л).

Комплексометрическое определение общей жесткости воды основано на способности ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  образовывать в щелочной среде (pH=10) прочные комплексы с ЭДТА. При этом сначала образуется комплекс с ионом  $\text{Ca}^{2+}$ , а затем с ионом  $\text{Mg}^{2+}$ , т.к. константы нестойкости этих комплексов соответственно равны  $2 \cdot 10^{-11}$  и  $2 \cdot 10^{-9}$ .

**Выполнение определения.** В колбу для титрования отмеривают 100 мл исследуемой воды, прибавляют 10-15 мл аммиачного буферного раствора и на кончике шпателя индикатора эриохрома черного Т. Смесь титруют приготовленным раствором ЭДТА до перехода окраски из винно-красной в синеголубую. Титрование повторяют 3 раза. Для расчетов берут средний объём раствора ЭДТА, затраченный на титрование воды. Жёсткость воды вычисляют по формуле

$$Ж = \frac{V_{(ЭДТА)} \cdot C_{H(ЭДТА)} \cdot 1000}{V_{(H_2O)}}.$$

Ошибку определения рассчитывают по формулам:

Абсолютная ошибка:  $D = Ж_{(истин.)} - Ж_{(найд.)};$

Относительная ошибка:  $D_{отн.} = \frac{D \cdot 100 \%}{Ж_{(ист.)}}$

Результаты измерений и вычислений сводят в таблицу 7

Таблица 7

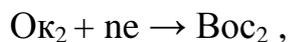
Объём воды, взятый для анализа мл	Эквивалентная концентрация раствора ЭДТА, моль/л	Объём раствора ЭДТА, пошедший на каждое титрование, мл	Средний объём раствора ЭДТА, мл	Жёсткость воды (найденая), ммоль экв./л	Жёсткость воды (истинная), ммоль экв./л	Дотн., %
		$V_1 =$ $V_2 =$ $V_3 =$				

## Контрольные вопросы

1. Комплексометрическое титрование. Сущность и методы.
2. Сущность комплексометрического метода анализа. Понятие о комплексо-нах.
3. Механизм взаимодействия комплексонов с ионами металлов. Устойчи-вость образующихся комплексонов.
4. Фиксирование точки конца титрования в методе комплексометрии. Ме-талл-индикаторы. Механизм изменения окраски металл-индикаторов.
5. Влияние рН раствора на устойчивость комплексов и на металл-индикаторы.
6. Стандартизация раствора ЭДТА по металлическому цинку.
7. Определение содержания никеля в растворе.
8. Определение общей жесткости воды.
9. По каким формулам производят расчеты в данных работах?

## 6. МЕТОД ХРОМАТОМЕТРИИ

*Методы окислительно-восстановительного титрования*, или редокс-методы, основаны на реакциях окисления – восстановления, связан-ных с переходом электронов от одних атомов, ионов или молекул к другим. Вещество, атомы, ионы или молекулы которого отдают электроны, окисляет-ся и является восстановителем; вещество, атомы, ионы или молекулы кото-рого принимают электроны, восстанавливается и является окислителем. Схе-матически это может быть выражено следующими уравнениями:



где Вос – восстановленная форма; Ок – окисленная форма.

Восстановленная форма одного вещества  $\text{Вос}_1$ , отдавая электроны, пере-ходит в окисленную форму  $\text{Ок}_1$  того же вещества. Обе эти формы образуют одну редокс-пару  $\text{Ок}_1 / \text{Вос}_1$ . Окисленная форма  $\text{Ок}_2$  второго вещества, участ-вующего в окислительно-восстановительной реакции, принимая электроны, переходит в восстановленную форму  $\text{Вос}_2$  того же вещества. Обе эти формы

также образуют редокс-пару  $\text{Ox}_2/\text{Red}_2$ . В любой окислительно-восстановительной реакции участвуют, по крайней мере, две редокс-пары.

К достоинствам методов окислительно-восстановительного титрования можно отнести:

1. Методы отличаются большой точностью и хорошей воспроизводимостью результатов.

2. Многие методы характеризуются быстротой выполнения и могут быть использованы для автоматического контроля.

3. Методы отличаются большим разнообразием, с их помощью можно определять не только окислители и восстановители, но и вещества, не проявляющие окислительно-восстановительных свойств.

4. Точку эквивалентности можно фиксировать с помощью индикаторов, а также безиндикаторными и инструментальными методами.

5. Определения можно проводить прямым или обратным титрованием, а также методами замещения.

6. Многие окислители и восстановители легко получить в химически чистом виде, поэтому их титрованные растворы готовят по точной навеске. Приготовленные растворы можно использовать как для титрования, так и для стандартизации других растворов.

7. Титрование окислителями и восстановителями можно осуществлять во всех средах.

**Безиндикаторное титрование.** В ряде случаев фиксирование точки конца титрования производят по изменению окраски раствора, вызванного избытком окрашенного раствора окислителя или восстановителя.

**Использование специфических индикаторов.** Это вещества, специфически реагирующие с одной из форм окислительно-восстановительной пары с изменением окраски.

**Использование окислительно-восстановительных или редокс-индикаторов.** Это вещества, которые изменяют свою окраску в зависимости

от окислительно-восстановительного потенциала системы. К редокс-индикаторам относятся дифениламин, фенилантраниловая кислота, ферроин и др.

Редокс-индикаторы должны удовлетворять определенным требованиям:

- индикатор должен быть чувствительным, т.е. реагировать в точке эквивалентности с минимальным количеством окислителя или восстановителя;
- окраска окисленной и восстановленной форм должна резко отличаться;
- изменение окраски должно быть отчетливо заметно при применении небольшого количества индикатора;
- интервал перехода индикатора должен быть невелик, и совпадать со скачком титрования;
- индикатор должен быть устойчив по отношению к кислороду воздуха, углекислому газу, свету и т.п.

Методы окислительно-восстановительного титрования классифицируются по характеру основного титранта: *перманганатометрия* (основан на реакциях окисления восстановителей перманганатом калия  $\text{KMnO}_4$ ), *хроматометрия* (основан на реакциях окисления восстановителей дихроматом калия  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), *йодометрия* (основан на реакциях окисления восстановителей свободным йодом или на восстановлении окислителей йодидом калия  $\text{KI}$ ) и др.

***Хроматометрия*** – метод окислительно-восстановительного титрования, основанный на реакциях окисления восстановителей дихроматом калия  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , или (реже) хроматом калия  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . По основному реактиву этот метод иногда называют дихроматометрией.

Обычно титрование проводят в кислой среде, дихромат при этом восстанавливается по уравнению:



Из уравнения следует, что

$$M_{\frac{1}{6}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{6} = \frac{294,2}{6} = 49,03 \text{ г/моль}.$$

Стандартный окислительно-восстановительный потенциал этой системы (при  $[H^+] = 1$  моль/л)  $E^0(Cr_2O_7^{2-}/2Cr^{3+}) = 1,36$  В, т.е. дихромат калия является довольно сильным окислителем.

В хроматометрии используют прямое, обратное титрование и метод замещения.

Дихромат калия способен окислять многие неорганические и органические вещества: Fe(II), Mn(III), Mn(IV), V(IV), Mo(V), Te(IV), Ti(III), сульфиды, дитионаты, гексацианоферрат (II), арсенит, йодид, спирты, гидрохинон, глицерин, аскорбиновую кислоту и др.

Достоинства:

1. Перекристаллизацией из водного раствора с последующим высушиванием при  $200^{\circ}C$  легко получить химически чистый дихромат калия строго соответствующий формуле  $K_2Cr_2O_7$ . Поэтому стандартный раствор дихромата калия готовят по точной его навеске. Полученный раствор можно использовать как для титрования, так и для стандартизации растворов других веществ.

2. Растворы дихромата калия очень устойчивы.  $K_2Cr_2O_7$  не разлагается даже при кипячении в подкисленном растворе, поэтому титр раствора  $K_2Cr_2O_7$  не изменяется в течение длительного времени.

3. Титрование дихроматом калия можно проводить в солянокислой среде. При этом на холоду ионы  $Cl^-$  не окисляются, т.к.  $E^0(Cl_2/2Cl^-) = 1,358$  В, т.е. практически равен потенциалу дихромата (1,36 В). Однако при концентрации  $HCl$  более 2 н. или при кипячении дихромат калия окисляет ионы  $Cl^-$  до свободного хлора.

4. Дихромат труднее, чем перманганат восстанавливается органическими веществами, попадающими в дистиллированную воду.

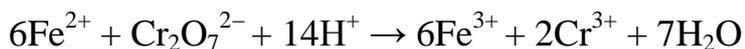
К недостаткам метода относятся:

1. Дихромат калия менее сильный окислитель, чем перманганат, и поэтому он используется относительно меньше.

2. Окислительно-восстановительные реакции с участием дихромата протекают относительно медленно. Скорость реакции заметно повышается в сильно кислых средах, т.к. окислительно-восстановительный потенциал системы возрастает по мере увеличения концентрации ионов водорода. Однако иногда прямое титрование оказывается неосуществимо, и в методе хроматометрии часто используют обратное титрование.

3. В процессе титрования дихроматом образуются ионы  $\text{Cr}^{3+}$ , придающие раствору зеленую окраску. Сам дихромат окрашен в оранжевый цвет, и в конечной точке титрования одна лишняя капля дихромата вызовет изменение окраски из зеленой в желто-зеленую. Однако такой переход виден не очень отчетливо, поэтому конечную точку титрования устанавливают с помощью индикаторов, в качестве которых используют дифениламин, дифениламинсульфокислоту, фенилантраниловую кислоту, или инструментальными методами (потенциометрический, кондуктометрический, амперометрический и др.).

Методом хроматометрии можно определять почти те же вещества, что и методом перманганатометрии. Наиболее широко хроматометрия используется для определения урана, который предварительно переводят в U(IV), и особенно – содержания железа в рудах и сплавах. Образцы растворяют в серной или соляной кислотах, при этом железо получается в виде ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ . Последние восстанавливают хлоридом олова  $\text{SnCl}_2$  или металлическим цинком и титруют дихроматом калия в присутствии дифениламина по уравнению:



## ЛАБОРАТОНАЯ РАБОТА № 4

### Определение содержания железа методом хроматометрии

#### Цель работы

Изучение окислительно-восстановительного титриметрического метода анализа – хроматометрии и количественное определение содержания железа в растворе соли Мора.

#### Ход работы

##### 1. Приготовление стандартного раствора дихромата калия

Химически чистый дихромат калия строго соответствует формуле и устойчив при хранении, поэтому раствор готовят по точной навеске вещества. Навеску дихромата калия рассчитывают по формуле:

$$m(\text{навески}), = \frac{V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot C_{\text{H}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot M_{\text{Э}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{1000},$$

где:  $C_{\text{H}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$  – нормальность раствора дихромата калия, моль/л;

$V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$  – объем этого раствора (объем мерной колбы), мл;

$M_{\text{Э}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$  – эквивалентная масса дихромата калия, г/моль.

Дихромат в кислой среде восстанавливается по уравнению:



из которого следует, что

$$M_{\text{Э}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{6} = \frac{294,2}{6} = 49,03 \text{ г/моль}.$$

Например, для приготовления 250 мл 0,1 н. раствора дихромата масса навески составит:

$$m(\text{навески}) = \frac{250 \cdot 0,1 \cdot 49,03}{1000} = 1,2258 \text{ г}.$$

На аналитических весах берут навеску дихромата калия (с точностью до 0,0001 г), примерно равную рассчитанной, количественно переносят в мерную колбу необходимого объема, наливают около 1/3 её объема дистиллированной воды, растворяют в ней дихромат, затем доводят объем раствора

до метки, закрывают колбу пробкой и тщательно перемешивают полученный раствор. Точную концентрацию приготовленного раствора рассчитывают по формулам:

$$T = \frac{m}{V}, \quad C_H = \frac{T \cdot 1000}{M_э}$$

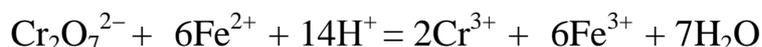
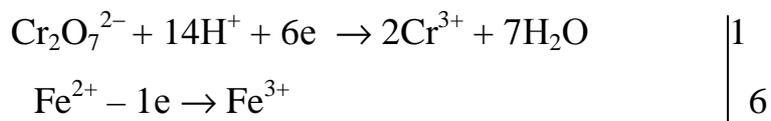
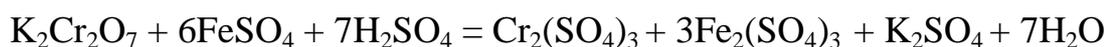
Результаты заносят в таблицу 8.

Таблица 8

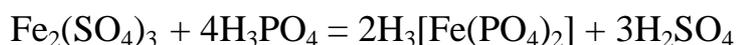
Масса навески, K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , г	Титр раствора K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , г/мл	Нормальность раствора K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , моль/л

## 2. Определение содержания железа в растворе соли Мора

Взаимодействие дихромата калия с сульфатом железа (II) выражается уравнением:



В ходе анализа ортофосфорная кислота связывает образующиеся ионы Fe<sup>3+</sup> в прочный комплекс:



**Выполнение определения.** Получить у лаборанта мерную колбу с анализируемым раствором. Содержимое колбы довести до метки дистиллированной водой и тщательно перемешать. К аликвотной части полученного раствора добавляют 5 мл смеси Кноппа (смесь H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), 2-3 капли индикатора дифениламина и титруют стандартным раствором дихромата калия. Вблизи точки конца титрования, когда раствор приобретает темно-зеленую (грязно-зеленую) окраску, его следует разбавить примерно вдвое дистилли-

рованной водой, при этом переход окраски заметен более отчетливо; продолжают титрование до перехода окраски из зеленой в сине-фиолетовую.

Проводят не менее трех параллельных титрований. Содержание железа в растворе рассчитывают по формуле:

$$m_{\text{Fe}} = \frac{V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot C_{\text{H}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot M_{\text{Э}}(\text{Fe}) \cdot V_{\text{к}}}{1000 \cdot V_{\text{а}}},$$

- где:
- $m_{\text{Fe}}$  – масса железа в анализируемом растворе, г;
  - $V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$  – средний объём перманганата калия, пошедший на титрование, мл;
  - $C_{\text{H}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$  – нормальность раствора перманганата калия, моль/л;
  - $M_{\text{Э}}(\text{Fe})$  – эквивалентная масса железа, г/моль;
  - $V_{\text{к}}$  – объём мерной колбы с анализируемым раствором, мл;
  - $V_{\text{а}}$  – объём аликвоты (пипетки), мл.

Из полуреакции  $\text{Fe}^{2+} - e \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  следует, что

$$M_{\text{Э}}(\text{Fe}) = \frac{M(\text{Fe})}{1} = 55,85 \text{ г/моль}.$$

Ошибку определения рассчитывают по формулам:

Абсолютная ошибка:  $D = m_{(\text{истин.})} - m_{(\text{найд.})};$

Относительная ошибка:  $D_{\text{отн.}} = \frac{D \cdot 100 \%}{m_{(\text{исм.})}}$

Результаты измерений и вычислений сводят в таблицу 9.

Таблица 9

Объём раствора соли Мора, мл	Нормальность раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , моль/л	Объём $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , раствора мл	Средний объём раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , мл	Содержание железа (найденное), г	Содержание железа (истинное), г	D	D <sub>отн.</sub> , %
		$V_1 =$ $V_2 =$ $V_3 =$					

## Контрольные вопросы

1. Сущность метода хроматометрии и его применение.
2. Достоинства и недостатки метода.
3. Индикаторы метода хроматометрии.
4. Какие реакции протекают при определении содержания железа методом хроматометрии?
5. В чем заключаются особенности применения индикатора дифениламина при определении содержания железа?
6. Что собой представляет смесь Кноппа и для чего её используют при определении железа методом хроматометрии?
7. По каким формулам производят расчеты в данной работе?

## Список литературы

1. Основы аналитической химии. Под ред. Ю.А. Золотова: В 2 кн. – М.: Высш. шк., 1999.
2. Основы аналитической химии. В 2 кн. Кн.2. /Под ред. Академика Ю.А.Золотова. – М.: Высшая школа, 2002. – 494 с.
3. Васильев В. П. Аналитическая химия: В 2 кн.: Кн. 1: Титриметрический и гравиметрический методы анализа. – 3-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2007. – 368 с.
4. Васильев В.П. Аналитическая химия: В 2 кн. Кн. 2. Физико-химические методы анализа. Учебник для вузов. 6-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2007. – 384 с.
5. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. Кн.1, 2– Москва: Высшая школа, 2005
6. Хаханина Т.И., Никитина Н.Г. Аналитическая химия: учебник и практикум для прикладного бакалавриата: 3-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2016
7. Ляликов Ю.С. Физико-химические методы анализа. – М.: Химия, 1984. – 541 с.
8. Зорина Г.И., Курунина Г.М., Синьков А.В., Бутов Г.М. Лабораторный практикум по физико-химическим методам анализа. - Волгоград: ВолгГТУ, 2014. – 113 с.
9. Краткий справочник физико-химических величин под редакцией А.А. Равдель, А.М.Пономаревой: Санкт-Петербург.: Химия, 2002. - 298 с.

Электронное учебное издание

Галина Михайловна **Курунина**  
Ольга Михайловна **Иванкина**

Сборник заданий для самостоятельной работы и лабораторный практикум  
по дисциплине «Аналитическая химия»  
для заочной формы обучения

*Учебное пособие*

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2022 г. Поз. № 39.

Подписано к использованию 20.07.2022. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 4,1.

Волгоградский государственный технический университет.  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.  
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.