

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Ивановский государственный химико-технологический университет

Л.А.Кочергина, Т.Д.Орлова, Н.Г.Дмитриева, Р.П.Морозова

**Сборник задач
по аналитической химии**

Под редакцией М.И. Базанова,

Иваново 2006

УДК 543.06(07)

Сборник задач по аналитической химии /Л.А.Кочергина, Т.Д. Орлова, Н.Г.Дмитриева, Р.П.Морозова; под ред. М.И. Базанова; ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2006. – 120с. ISBN 5-9616-0184-6

В сборнике задач по аналитической химии приведены расчеты, связанные с теоретическими основами и практикой химического анализа. Эти расчеты позволяют обосновать выбор условий проведения аналитических реакций количественного определения веществ. Сборник состоит из двух частей: количественного и физико-химических методов анализа. Представлены основные разделы: гравиметрического и титриметрического методов анализа, а также основные методы физико-химического анализа.

В каждом разделе детально разобраны типовые примеры расчетов, составлены задачи, решение которых способствует развитию химической грамотности и пониманию химико-аналитических процессов.

Сборник задач может быть рекомендован студентам заочной формы обучения.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ГОУВПО Ивановского государственного химико-технологического университета

Рецензент

кандидат химических наук Н.И. Пименова (Ивановский государственный химико-технологический университет)

ISBN 5-9616-0184-6

© ГОУВПО Ивановский государственный химико-технологический университет, 2006

Часть 1 КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

Глава 1 ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Решение типовых задач

Пример 1. Вычислить фактор пересчета для определения магния, если после осаждения его получена гравиметрическая форма $Mg_2P_2O_7$.

Решение.

$$F = \frac{2M(Mg)}{M(Mg_2P_2O_7)} = \frac{2 \cdot 24,312}{222,567} = 0,2185.$$

Пример 2. Из навески серного колчедана массой 0,1500 г получили осадок $BaSO_4$ массой 0,5155 г. Вычислить массовую долю серы в колчедане?

Решение.

$$\omega(S) = m(BaSO_4)F \frac{100}{m_{cm}},$$

где $\omega(S)$ - массовая доля серы, содержащейся в колчедане, %; $m(BaSO_4)$ - масса гравиметрической формы, г; F - фактор пересчета; m_{cm} - масса колчедана, г

$$F = \frac{M(S)}{M(BaSO_4)} = \frac{32,066}{233,39} = 0,1374$$

$$\omega(S) = 0,5155 \cdot 0,1374 \frac{100}{0,1500} = 47,22 \%$$

Пример 3. Сульфат алюминия содержит около 88 % $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Рассчитать массу навески, необходимую для определения алюминия в виде Al_2O_3 , если масса Al_2O_3 0,1 г.

Решение. Массовую долю алюминия можно рассчитать по уравнению:

$$\omega(Al) = m(Al_2O_3)F \frac{100}{m_{cm}}, \quad (1)$$

$$F = \frac{2M(Al)}{M(Al_2O_3)}.$$

Навеска сульфата алюминия содержит 88 % $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, следо-

вательно, массовая доля алюминия составляет:

$$\omega(\text{Al}) = 88 \frac{2M(\text{Al})}{M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O})} \quad (2)$$

Подставляем уравнение (2) в уравнение (1):

$$88 \frac{2M(\text{Al})}{M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O})} = m(\text{Al}_2\text{O}_3) \frac{2M(\text{Al})}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} \frac{100}{m_{\text{см}}}$$

Отсюда находим массу навески сульфата алюминия:

$$m_{\text{см}} = m(\text{Al}_2\text{O}_3) \frac{M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} \frac{100}{88}$$

Подставим численные значения в полученное уравнение:

$$m_{\text{см}} = 0,1 \frac{669,43}{101,961} \cdot \frac{100}{88} = 0,74 \text{ г}$$

ЗАДАЧИ

1. Вычислить фактор пересчета:

Вариант	Определяемое вещество	Гравиметрическая форма
1	S	BaSO ₄
2	K	K ₂ PtCl ₆
3	Al	Al ₂ O ₃
4	MgO	Mg ₂ P ₂ O ₇
5	Ag ₂ O	AgCl
6	Pb ₃ O ₄	PbSO ₄
7	FeO	Fe ₂ O ₃
8	H ₃ PO ₄	Mg ₂ P ₂ O ₇
9	CaC ₂ O ₄	CaSO ₄
10	NH ₃	(NH ₄) ₂ PtCl ₆

2. Вычислить фактор пересчета, если анализ выполняли по схеме:

- 1) S → H₂S → CdS → CuS → CuO, определяемое вещество S
- 2) CaC → H₂C → Ag₂C₂ → AgCl, определяемое вещество CaC
- 3) HF → CaF₂ → CaSO₄, определяемое вещество HF.

3. Из навески минерала, содержащего серу, массой 1,1850 г после соответствующей обработки получили 0,1321 г BaSO₄. Вычислить массу и массовую долю (%) серы в навеске.

4. Из раствора соли калия получили осадок KClO_4 массой 0,5 г. Вычислить массу калия в растворе.
5. Из 25 г раствора CuSO_4 получили осадок CuSCN массой 0,2144 г. Вычислить массу меди в г/л.
6. Из навески технического MnCO_3 массой 0,3528 г получили осадок MnNH_4PO_4 . После прокаливания осадка получили 0,4326 г $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Вычислить массовую долю (%) MnCO_3 в образце.
7. Из навески чугуна массой 5 г получили осадок SiO_2 массой 0,2244 г. Вычислить массовую долю (%) кремния в чугуне.
8. Навеску $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ массой 1,000 г растворили в колбе вместимостью 100 мл. Из 25 мл этого раствора получили 0,4247 г BaSO_4 . Вычислить массовую долю (%) MgSO_4 .
9. Навеску цемента массой 0,65 г, содержащего около 30% MgO , растворили в колбе вместимостью 100,0 мл. Какую аликвоту полученного раствора следует взять на анализ, чтобы получить осадок $\text{Mg}(\text{C}_9\text{H}_6\text{ON})_2$ 0,3 г?
10. Навеску пирита массой 1,8320 г, содержащего около 30% серы, растворили в колбе вместимостью 200,0 мл. Какую аликвоту полученного раствора следует взять на анализ, чтобы получить сульфат бария массой 0,5 г?
11. Навеску фосфорита, содержащую 20% P_2O_5 , растворили в колбе вместимостью 100,0 мл и из аликвоты в 20,00 мл получили осадок 0,3 г $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Рассчитать массу навески фосфорита.
12. Массовая доля серы в чугуне ~1%. Рассчитать массу навески чугуна для определения в нем серы, чтобы масса гравиметрической формы BaSO_4 была 0,2 г.
13. Рассчитать массу навески вещества, содержащего ~3% KCl , необходимую для получения 0,2 г осадка KClO_4 .
14. Рассчитать массу навески вещества, содержащего около 20% NaCl , необходимую для получения 0,5 г осадка AgCl .
15. Какую массу $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ надо взять для анализа, чтобы получить 0,5 г прокаленного осадка CaO ?
16. Какую массу $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ надо взять для анализа, чтобы получить 0,1 г оксихинолината алюминия $\text{Al}(\text{C}_9\text{H}_6\text{ON})_3$?
17. Рассчитать массу известняка, содержащего 75% CaCO_3 , необходимую для получения 0,1 г осадка CaO .
18. При анализе технического железного купороса железо осадили в виде гидроксида и прокалили. Масса прокаленного осадка Fe_2O_3 составила 0,2875 г. Вычислить массу железа в образце.
19. Рассчитать массу навески вещества, содержащего около 30% KCl и 20% NaCl , необходимую для получения 0,5 г осадка AgCl .
20. Рассчитать массу смеси, содержащей 40% MgSO_4 и 60% CoSO_4 , необходимую для получения 0,25 г осадка BaSO_4 .

21. Какой объем 0,5 М раствора Na_2HPO_4 потребуется для осаждения магния в виде MgNH_4PO_4 из 0,5 г сплава, содержащего 90% Mg, при стехиометрическом соотношении реагирующих веществ?
22. Какой объем 0,1 М раствора BaCl_2 потребуется для осаждения серы в виде BaSO_4 из навески каменного угля массой 2,0 г, содержащего 4% серы?
23. Какой объем 0,1 М раствора AgNO_3 потребуется для осаждения хлорид-ионов из навески NaCl массой 0,12 г?
24. Какой объем 0,3 М раствора KSCN потребуется для осаждения ионов серебра из 0,4 г сплава, содержащего 20% серебра?
25. Какой объем раствора BaCl_2 с массовой долей 10% потребуется для осаждения сульфата из 100,0 мл 0,05 М раствора Na_2SO_4 ?
26. Какой объем раствора AgNO_3 с массовой долей 2% потребуется для осаждения бромид-иона из 100,0 мл 0,01 М раствора KBr ?

Глава 2 КИСЛОТНО - ОСНОВНОЕ ТИТРОВАНИЕ

Решение типовых задач

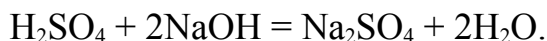
2.1. Молярная масса эквивалента при кислотно-основном титровании

Эквивалент в реакциях кислотно-основного титрования – это реальная или условная частица, соответствующая одному молю водорода в данной реакции.

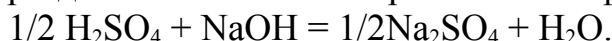
Фактор эквивалентности – число, показывающее, какая доля реальной частицы соответствует одному молю водорода в данной реакции.

Пример 1. Чему равна молярная масса эквивалента H_2SO_4 при титровании кислоты раствором NaOH ?

Решение. Запишем уравнение химической реакции, протекающей при титровании:



Для того, чтобы определить, какая часть H_2SO_4 соответствует одному молю гидроксида, разделим все стехиометрические коэффициента 2, тогда



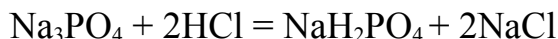
становится очевидным, что 1 моль NaOH взаимодействует с $1/2$ моль H_2SO_4 . Следовательно, $f_{\text{экв.}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2$.

Молярная масса эквивалента H_2SO_4 равна:

$$M(1/2 \text{H}_2\text{SO}_4) = M(\text{H}_2\text{SO}_4)/2 = 98,07/2 = 49,035 \text{ г/моль}.$$

Пример 2. Определить молярную массу эквивалента Na_3PO_4 при титровании стандартным раствором HCl с индикатором метиловым оранжевым.

Решение. При титровании соли Na_3PO_4 стандартным раствором HCl в присутствии метилового оранжевого протекает следующая реакция:



Как можно видеть 1 моль Na_3PO_4 соответствует 2 ионам водорода в данной реакции, следовательно, $1/2 \text{Na}_3\text{PO}_4$ – условная частица, химически эквивалентная 1 иону H^+ , тогда $f_{\text{экв.}}(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 1/2$, а молярная масса эквивалента Na_3PO_4 равна:

$$M(1/2\text{Na}_3\text{PO}_4) = \frac{M(\text{Na}_3\text{PO}_4)}{2} = \frac{163,941}{2} = 81,971$$

2.2. Приготовление рабочих растворов. Расчет концентрации стандартных растворов

Пример 1. Какой объем концентрированной соляной кислоты ($\rho=1,17\text{г/мл}$) требуется для приготовления 500 мл 0,1 М раствора?

Решение. Молярная концентрация раствора HCl с плотностью 1,17г/мл $c(\text{HCl})=10,97$ моль/л. Поскольку число моль-эквивалентов кислоты при разбавлении не меняется, можно записать:

$$10,97 \cdot V(\text{HCl})=500 \cdot 0,1$$

Отсюда

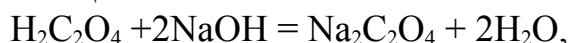
$$V(\text{HCl}) = \frac{500 \cdot 0,1}{10,97} = 4,56\text{мл}.$$

Пример 2. Навеску $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ массой 0,6000 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование 20,00 мл полученного раствора пошло 18,34 мл NaOH . Определить молярную концентрацию раствора NaOH, его титр и титр этого раствора по $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

Решение. В соответствии с принципом эквивалентности число молей эквивалента титранта равно числу молей эквивалента определяемого компонента, тогда:

$$n(\text{NaOH}) = n(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \quad (2.1).$$

Поскольку 1 моль щавелевой кислоты содержит 2 иона водорода, вступающих в реакцию со щёлочью



$$\text{то } f_{\text{э.кв.}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 1/2$$

Из условий задачи следует , что

$$n(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot V_{\text{п}}}{M(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot V_{\text{к}}} \quad (2.2.),$$

где $V_{\text{к}}$ – объём мерной колбы, в которой растворена навеска щавелевой кислоты; $V_{\text{п}}$ – объём аликвоты полученного раствора, отобранный пипеткой на титрование.

Если обозначить молярную концентрацию раствора NaOH $c(\text{NaOH})$, то количество вещества NaOH можно выразить как :

$$n(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{1000} \quad (2.3)$$

Подставляя выражения (2.2) и (2.3) в уравнение (2.1) , после несложных преобразований получаем:

$$c(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot 1000 \cdot V_{\text{п}}}{M(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{NaOH}) \cdot V_{\text{к}}},$$

$$c(\text{NaOH}) = \frac{0,6000 \cdot 20,00 \cdot 1000}{63,033 \cdot 100 \cdot 18,34} = 0,1038 \text{ моль/л}$$

Зная молярную концентрацию раствора NaOH, можно рассчитать его титр T_{NaOH} и титр раствора NaOH по щавелевой кислоте $T_{\text{NaOH}/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4}$ по формулам:

$$T_{\text{NaOH}} = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH})}{1000}$$

$$T_{\text{NaOH}/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} = \frac{T(\text{NaOH}) \cdot M(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{M(\text{NaOH})}$$

где $M(\text{NaOH})$ и $M(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ – молярные массы эквивалента NaOH и щавелевой кислоты, соответственно

$$T_{\text{NaOH}} = \frac{0,1038 \cdot 39,997}{1000} = 0,004152 \text{ г/мл}$$

$$T_{\text{NaOH}/\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4} = \frac{0,004152 \cdot 45,017}{39,997} = 0,004673 \text{ г/мл.}$$

2 2.3. Расчет результатов титрования

2.3.1. Прямое титрование

Пример1. На реакцию смеси, состоящей из карбонатов натрия и калия, массой 0,4000 г израсходовали 22,00 мл 0.3000 М раствора HCl. Вычислить массовую долю (%) карбоната натрия и карбоната калия в смеси.

Решение. Согласно уравнению:



Одному моль водорода соответствует частица $1/2(\text{Na}_2\text{CO}_3)$, т.е.

$$f_{\text{эkv.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/2$$

В точке эквивалентности:

$$n(1/2 \text{Na}_2\text{CO}_3) + n(1/2 \text{K}_2\text{CO}_3) = n(\text{HCl}),$$

где $n(\text{HCl}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{1000}$ - число молей раствора HCl, затраченное на

титрование.

Если через ω_x обозначить массовую долю (%) Na_2CO_3 в смеси, то число молей эквивалентов K_2CO_3 и Na_2CO_3 , содержащееся в навеске, равно:

$$n(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m_{\text{см.}} \cdot \omega_x}{M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 100} \quad \text{и}$$

$$n(1/2\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{m_{\text{см.}} \cdot (100 - \omega_x)}{M(1/2\text{K}_2\text{CO}_3) \cdot 100}$$

Сочетание этих соотношений даёт:

$$\frac{m_{\text{см.}} \cdot \omega_x}{M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 100} + \frac{m_{\text{см.}} \cdot (100 - \omega_x)}{M(1/2\text{K}_2\text{CO}_3) \cdot 100} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{1000}$$

Подставляя численные значения, получаем: $\frac{0,4000 \cdot x}{52,9942 \cdot 100} +$

$$\frac{0,4000 \cdot (100 - x)}{69,103 \cdot 100} = \frac{0,3000 \cdot 22,00}{1000}$$

$$\omega_x = 46,12\% \text{ Na}_2\text{CO}_3; \quad 100 - 46,12 = 53,88\% \text{ K}_2\text{CO}_3.$$

Пример 2. Какую навеску негашеной извести, содержащей 90% CaO и 10% индифферентных примесей, требуется взять для анализа, чтобы на нейтрализацию израсходовать 20,00 мл раствора HCl с титром по CaO, равным 0,009000г/мл?*)

Решение. Найдем число граммов CaO, которое реагирует с заданным объемом кислоты:

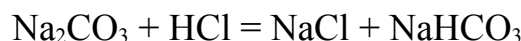
$$m(\text{CaO}) = T(\text{HCl}/\text{CaO}) \cdot V(\text{HCl}).$$

Тогда навеска негашеной извести определится как

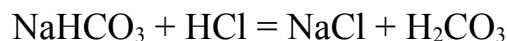
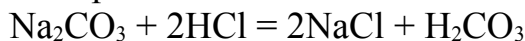
$$m = \frac{m(\text{CaO})}{90} \cdot 100 = \frac{T(\text{HCl}/\text{CaO})V(\text{HCl}) \cdot 100}{90} = 90 \frac{0,009000 \cdot 20,00 \cdot 100}{90} = 0,2\text{г}$$

Пример 3. На титрование с фенолфталеином навески массой 0,4478 г, состоящей из Na₂CO₃, NaHCO₃ и NaCl, потребовалось 18,80 мл 0,1998 М раствора HCl. При титровании с метиловым оранжевым на ту же навеску израсходовали 40,00 мл раствора кислоты. Вычислить массовую долю (%) Na₂CO₃ и NaHCO₃ в смеси.

Решение. При титровании смеси с фенолфталеином протекает реакция:



а в присутствии метилового оранжевого



Следовательно, при титровании смеси в присутствии фенолфталеина с раствором хлороводородной кислоты взаимодействует только один компонент смеси Na₂CO₃ и количество его (массовую долю (%)) легко

определить по формуле:

$$\omega_{\text{Na}_2\text{CO}_3} (\%) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})^{\text{ф.ф.}}}{1000} \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot \frac{100}{m_{\text{см.}}}$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$\omega_{\text{Na}_2\text{CO}_3} (\%) = \frac{0,1998 \cdot 18,80}{1000} \cdot 105,989 \cdot \frac{100}{0,4478} = 88,91$$

Как следует из приведённых реакций, объём раствора HCl, затраченный на титрование бикарбоната натрия, можно представить так:

$$V(\text{HCl})^{\text{м-ор.}} - 2V(\text{HCl})^{\text{ф-ф.}}$$

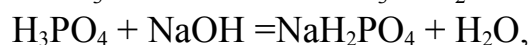
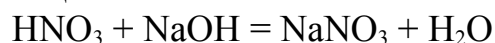
Отсюда

$$\omega_{\text{NaHCO}_3} (\%) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot (V(\text{HCl})^{\text{м-ор.}} - 2V(\text{HCl})^{\text{ф-ф.}})}{1000} \cdot M(\text{NaHCO}_3) \cdot \frac{100}{m_{\text{см.}}}$$

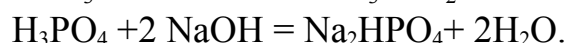
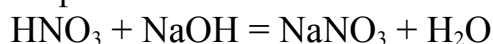
$$\omega_{\text{NaHCO}_3} (\%) = \frac{0,1998 \cdot (40,00 - 2 \cdot 18,80)}{1000} \cdot 84,007 \cdot \frac{100}{0,4478} = 9,00$$

Пример 4. Для определения содержания азотной и фосфорной кислот 5,00 мл пульпы, полученной при разложении апатитового концентрата, разбавили водой до 250 мл и отобрали две пробы полученного раствора по 20,00 мл. Первую пробу оттитровали 24,00 мл 0,1 М раствора NaOH ($k=1,100$) в присутствии бромкрезолового синего. На титрование второй пробы по фенолфталеину в присутствии оксалата натрия израсходовали 35,17 мл того же раствора NaOH. Вычислить содержание HNO_3 и H_3PO_4 (г/л) в пульпе

Решение. При титровании пробы в присутствии бромкрезолового синего протекают реакции:



а в присутствии фенолфталеина:



Следовательно, на титрование H_2PO_4^- до HPO_4^{2-} затрачено $V_2 - V_1 = 35,17 - 24,00 = 11,17$ мл NaOH. Объём титранта, израсходованный на титрование HNO_3 , определится как разность $[V_1 - (V_2 - V_1)] = 2 V_1 - V_2 = 24,00 - 11,17 = 12,83$ мл NaOH.

Отсюда

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot k \cdot (V_2 - V_1)}{1000} \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot \frac{V_k}{V_n} \cdot \frac{1000}{V_{\text{см.}}}$$

$$m(\text{HNO}_3) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot k \cdot (2V_1 - V_2)}{1000} \cdot M(\text{HNO}_3) \cdot \frac{V_k}{V_n} \cdot \frac{1000}{V_{\text{см}}}$$

Подставляя численные значения, получаем:

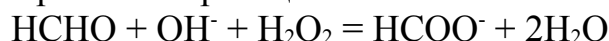
$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{0.1 \cdot 1,1,100 \cdot (35.17 - 24.00)}{1000} \cdot 97.995 \cdot \frac{250}{20,00} \cdot \frac{1000}{5} = 301,02 \text{ г / л}$$

$$m(\text{HNO}_3) = \frac{0.1 \cdot 1,1,100 \cdot (24,00 - 11,17)}{1000} \cdot 63,013 \cdot \frac{250}{20,00} \cdot \frac{1000}{5} = 222,33 \text{ г / л.}$$

2.3.2. Обратное титрование.

Пример 1. Для определения содержания формальдегида в пестициде навеску препарата массой 3,017 г обработали 50,00 мл 1,0 М раствора NaOH ($K = 0,9022$) в присутствии пероксида водорода.

При нагревании произошла реакция:



После охлаждения раствора избыток щелочи оттитровали 20,12 мл раствора HCl ($T(\text{HCl}) = 0,03798$). Вычислить массовую долю (%) формальдегида в препарате пестицида.

Решение. При обратном титровании имеем:

$$n(\text{НСНО}) = n(\text{NaOH}) - n(\text{HCl})$$

С учётом условий задачи выражаем число молей реагирующих веществ:

$$n(\text{НСНО}) = \frac{m \cdot \omega_x}{100 \cdot M(\text{НСНО})} ;$$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot K \cdot V(\text{NaOH})}{1000} ; \quad n(\text{HCl}) = \frac{T(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}$$

Составляем расчётное уравнение:

$$\frac{m \cdot \omega_x}{100 \cdot M(\text{НСНО})} = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot K \cdot V(\text{NaOH})}{1000} - \frac{T(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$\frac{3,017 \cdot \omega_x}{100 \cdot 30,026} = \frac{1,0 \cdot 0,9022 \cdot 50,00}{1000} - \frac{0,03798 \cdot 20,12}{36,461}$$

$$\omega_x = 20,86\%$$

Пример 2. Навеску хлорида аммония обработали избытком щелочи. Выделившийся аммиак поглотили 50,00 мл 0,5120 М HCl и раствор

разбавили до 250,0 мл. На титрование 50,00 мл полученного раствора израсходовали 23,73 мл 0,05н. КОН (k=0,974). Сколько граммов NH₃ содержал хлорид аммония?

Решение. Число моль-эквивалентов HCl в исходном растворе кислоты составляет:

$$n = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{1000}$$

С учетом разбавления этого раствора до 250 мл (V_{общ}) найдем число моль-эквивалентов HCl, взятое на анализ (n₁):

$$n_1 = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{аликв}}}{V_{\text{общ}}}$$

где V_{аликв} - объем разбавленного раствора HCl, взятый на анализ.

Число моль-эквивалентов КОН(n₂), израсходованное на титрование избытка кислоты, определим по формуле:

$$n_2 = \frac{c(\text{KOH}) \cdot k \cdot V(\text{KOH})}{1000}$$

Тогда число моль-эквивалентов аммиака(n₃), содержащееся в аликвотной части раствора, равно:

$$n_3 = n_1 - n_2$$

Отсюда

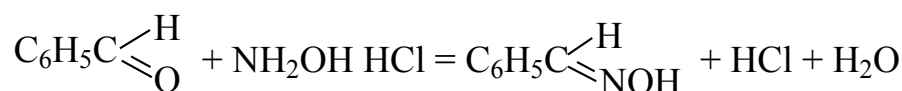
$$m(\text{NH}_3) = \left(\frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{аликв}}}{V_{\text{общ}}} - \frac{c(\text{KOH}) \cdot k \cdot V(\text{KOH})}{1000} \right) \cdot \frac{V_{\text{общ}}}{V_{\text{аликв}}} \cdot M(\text{NH}_3)$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$m(\text{NH}_3) = \frac{0.5120 \cdot 50.00 \cdot 50.00 / 250 - 0.05 \cdot 0.9740 \cdot 23.73}{1000} \cdot \frac{250}{50.00} \cdot 17.03 = 0.3375 \text{ г.}$$

2.3.3. Титрование по замещению.

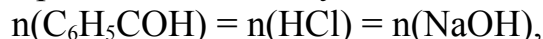
Пример 1. Для определения бензальдегида навеску массой 0,4728 г обработали раствором солянокислого гидросиламина:



и выделившуюся хлороводородную кислоту оттитровали 19,45 мл 0,25 М NaOH (K = 0,9845). На титрование солянокислого гидросиламина в холо-

стом опыте израсходовали 1,75 мл того же раствора NaOH. Вычислить массовую долю (%) бензальдегида в исходном продукте.

Решение. При титровании по методу замещения:



следовательно, расчётная формула принимает вид:

$$\frac{m \cdot \omega_x}{100 \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{COH})} = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot K \cdot [V(\text{NaOH}) - V_{\text{хол.}}]}{1000},$$

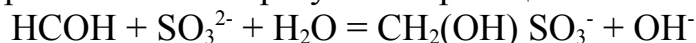
где ω_x – массовая доля (%) бензальдегида в исходном продукте.

Подставляя численные значения, получаем:

$$\frac{0,4728 \cdot x}{100 \cdot 106,126} = \frac{0,25 \cdot 0,9845 \cdot (19,45 - 1,75)}{1000},$$

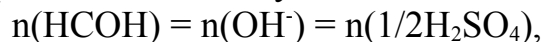
$$\omega_x = 97,79\%$$

Пример 2. Пробу раствора формальдегида объемом 5,00 мл разбавили до 100,0 мл. К аликвоте раствора объемом 5,00 мл добавили сульфит натрия; образовавшиеся в результате реакции:



ионы гидроксида оттитровали 22,45 мл 0,1000н. ($f_{\text{э.кв.}} = 1/2$) раствора H_2SO_4 . Вычислить концентрацию CH_2O (г/л) в исходном растворе.

Решение. При титровании по методу замещения:



следовательно, расчётная формула принимает вид:

$$c(\text{НСОН}) = \frac{c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4)}{1000} \cdot M(\text{НСОН}) \frac{V_k}{V_n} \cdot \frac{1000}{V_{\text{ан}}},$$

где $V_{\text{ан}}$ – объем анализируемого (исходного) раствора формальдегида; V_k – объем мерной колбы, в которую перенесли пробу раствора формальдегида; V_n – объем пипетки, с помощью которой отобрали аликвотную часть раствора на анализ.

$$c(\text{НСОН}) = \frac{0,1 \cdot 22,45}{1000} \cdot \frac{100,0}{5,00} \cdot \frac{1000}{5,00} \cdot 30,026 = 269,63 \text{ г/л}.$$

ЗАДАЧИ.

1. Вычислить концентрации в соответствии с данными таблицы:

№ п/п	Дано	Вычислить
1.	$T(H_2SO_4)=0,02446$	$C(1/2H_2SO_4)$
2.	$T(NaOH)=0,004020$	$C(NaOH)$
3.	$T(HCl/KOH)=0.01353$	$C(HCl)$
4.	$T(NaOH/HCl)=0,002914$	$C(NaOH)$
5.	$T(NaOH/SO_3)=0.02174$	$C(NaOH)$
6.	$C(1/2H_2SO_4)=0,1008$	$T(H_2SO_4)$
7.	$C(NaOH)=0,09981$	$T(NaOH)$
8.	$C(HCl)=0,09798$	$T(HCl/K_2O)$
9.	$C(NaOH)=0,1021$	$T(NaOH/SO_3)$
10.	$C(1/2H_2SO_4)=0,09812$	$T(H_2SO_4/CaO)$
11.	$T(HCl)=0,03798$	$T(HCl/K_2O)$
12.	$T(KOH)=0,005727$	$T(KOH/H_2SO_4)$
13.	$T(H_2SO_4/KOH)=0,005643$	$T(H_2SO_4)$
14.	$T(NaOH/HCl)=0,003645$	$T(NaOH)$
15.	$C(1/2H_2SO_4)=0,01; k=0,9123$	$T(H_2SO_4)$
16.	$C(KOH)=0,05; k=0,8549$	$T(KOH)$
17.	$C(HCl)=0,1046$	$T(HCl), T(HCl/CaO)$
18.	$T(H_2SO_4)=0,004852$	$C(H_2SO_4), C(1/2H_2SO_4)$ $T(H_2SO_4/CaO)$
19.	$C(1/2H_2SO_4)=0.1; k=0.9808$	$C(H_2SO_4), T(H_2SO_4),$ $T(H_2SO_4/NaOH)$

2. В 500 мл раствора содержится 2,6578 г Na_2CO_3 . Вычислить $T(Na_2CO_3)$, $T(Na_2CO_3/HCl)$ и нормальную концентрацию Na_2CO_3 при нейтрализации этого раствора: а) до CO_2 ; б) до $NaHCO_3$.
3. В воде растворили 28 г "х.ч." KOH и 40,20 г $NaOH$ и разбавили водой до 1500 мл. Вычислить молярную концентрацию полученного раствора.
4. К 550 мл 0,1925 М HCl прибавили 50,00 мл раствора HCl с титром 0,02370. Вычислить молярную концентрацию и титр полученного раствора.

5. Какой объем воды надо добавить к 1 л 0,5300 М HCl, чтобы получить 0,5000 М раствор?
6. Какой объем 4 М HCl надо прибавить к 500 мл раствора HCl с титром по CaO 0,08400, чтобы получить раствор с титром по CaO 0,09000?
7. Какой объем раствора серной кислоты с массовой долей 9,3% ($\rho=1,05$ г/мл) потребуется для приготовления 40 мл 0,35 М раствора H₂SO₄?
8. Какой объем раствора карбоната натрия с массовой долей 15% ($\rho=1,16$ г/мл) потребуется для приготовления 120 мл 0,45 М раствора Na₂CO₃?
9. Какой объем раствора соляной кислоты ($\rho=1,19$ г/мл) необходим для приготовления 1 л 0,1000М раствора?
10. Какой объем раствора серной кислоты ($\rho=1,84$ г/мл) требуется для приготовления 2,5 л 0,2000н. раствора?
11. Для приготовления 500 мл раствора было взято 20,00 мл соляной кислоты ($\rho=1,19$ г/мл). Вычислить молярную концентрацию полученного раствора.
12. Какая масса щелочи, содержащей 98% NaOH и 2% индифферентных примесей, необходима для приготовления 200 мл 0,1000М раствора?
13. Из навески гидроксида натрия массой 8,5 г, содержащего, кроме NaOH, 4% Na₂CO₃ и 8% H₂O, приготовили 1 л раствора. Определить молярную концентрацию эквивалента полученного раствора, если Na₂CO₃ нейтрализуется до H₂CO₃.
14. Вычислить молярную концентрацию и титр раствора HCl, если на титрование 0,4217 г буры израсходовали 17,50 мл этой кислоты.
15. Навеску H₂C₂O₄·2H₂O массой 0,6000 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовали 18,34 мл NaOH. Определить молярную концентрацию раствора NaOH и его титр по H₂C₂O₄.
16. Вычислить молярную концентрацию раствора NaOH, T(NaOH) и T(NaOH/HCl), если на титрование 20,00 мл его израсходовали 19,20 мл 0,1000 М раствора HCl, приготовленного из фиксанала.
17. Навеску щелочи массой 0,5341 г, содержащую 92% NaOH и 8% индифферентных примесей, растворили и довели до метки в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. Определить молярную концентрацию раствора хлороводородной кислоты, T(HCl) и T(HCl/NaOH), если на титрование 15,00 мл раствора NaOH израсходовали 19,50 мл кислоты.
18. Определить молярную концентрацию раствора KOH, если на титрование 15,00 мл раствора его израсходовали 18,70 мл раствора HCl с T(HCl)=0,002864.
19. До какого объема нужно довести раствор, в котором содержится 1,532 г NaOH, чтобы на титрование его аликвоты в 20,00 мл израсходовать 14,70 мл HCl [T(HCl)=0,003800]?

20. Какая масса Na_2CO_3 содержится в растворе, если на нейтрализацию до NaHCO_3 израсходовали 21,40 мл HCl [$T(\text{HCl})=0,002789$]?
21. Какую массу безводной Na_2CO_3 нужно взять, чтобы на ее титрование израсходовать 20,00 мл 0,1 М H_2SO_4 ?
22. Какую массу щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ нужно взять, чтобы на ее титрование израсходовать 20,00 мл 0,1 М NaOH ?
23. Какую массу вещества, содержащего 90% Na_2CO_3 и индифферентные примеси, нужно взять, чтобы на ее титрование с метиловым оранжевым израсходовать 20,00 мл 0,1 М HCl ?
24. Какую массу NaOH нужно взять, чтобы на ее титрование израсходовать 22,00 мл раствора HCl с $T(\text{HCl}/\text{Na}_2\text{O})=0,003514$?
25. Какую массу раствора фосфорной кислоты ($\rho=1,68\text{г/мл}$) необходимо перенести в колбу вместимостью 250,0 мл, чтобы на титрование 20,00 мл полученного раствора в присутствии метилового оранжевого израсходовать 18,00 мл 0,1000 М NaOH ?
26. Какую массу KH_2PO_4 нужно взять на анализ, чтобы на титрование ее с фенолфталеином израсходовать 20,00 мл 0,1000 М NaOH ?
27. Навеску фосфорной кислоты массой 0,1182 г растворили в воде и на титрование ее по фенолфталеину израсходовали 22,18 мл 0,1 М NaOH ($k=0,9519$). Определить массовую долю (%) H_3PO_4 в пробе; пересчитать ее на содержание P_2O_5 .
28. На титрование раствора, содержащего 3,1580 г технического KOH , израсходовали 27,45 мл раствора HCl [$T(\text{HCl}/\text{NaOH})=0,07862$]. Вычислить массовую долю (%) KOH в образце.
29. После сжигания навески колчедана массой 0,1400 г выделившийся сернистый газ поглотили раствором H_2O_2 ; на титрование образовавшейся серной кислоты с феноловым красным израсходовали 24,86 мл 0,1500 М NaOH . Вычислить массовую долю (%) серы в колчедане.
30. На нейтрализацию 0,1000 г смеси, состоящей из карбонатов калия и натрия, израсходовали 22,00 мл раствора HCl . Вычислить молярную концентрацию кислоты, если содержание Na_2CO_3 в смеси 37,00 %.
31. На нейтрализацию 0,2140 г смеси, состоящей из карбонатов кальция и бария, израсходовали 15,00 мл 0,2000 М раствора HCl . Определить массовую долю (%) CaCO_3 и BaCO_3 в смеси.
32. Навеску неизвестного вещества массой 1,9996 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование 25,00 мл раствора израсходовали 20,00 мл 0,4455 М раствора HCl . Определить, какое соединение входило в состав анализируемого вещества: KOH или NaOH .
33. Навеску технического гидроксида натрия массой 0,3251 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование 25,00 мл раствора с фенолфталеином израсходовали 18,40 мл 0,1000 М HCl , а на титрование такой же аликвоты с метиловым оранжевым- 18,80 мл кислоты. Вычислить массовую долю (%) NaOH в образце.

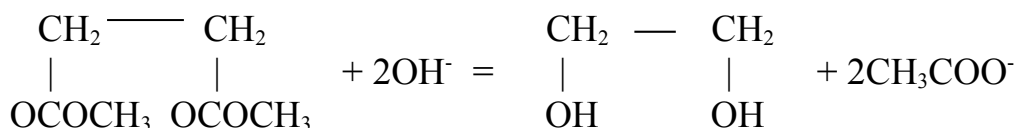
34. На титрование с фенолфталеином смеси, состоящей из Na_2CO_3 , NaHCO_3 и NaCl , массой 0,4478 г потребовалось 18,80 мл 0,1998 М раствора HCl . При титровании с метиловым оранжевым на ту же навеску израсходовали 40,00 мл раствора кислоты. Вычислить массовую долю (%) Na_2CO_3 и NaHCO_3 в образце.
35. Навеску технического гидроксида натрия массой 0,4000 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование 20,00 мл полученного раствора с метиловым оранжевым израсходовали 19,20 мл раствора HCl с $T(\text{HCl})=0,003600$. Такую же пробу раствора обработали BaCl_2 до полноты осаждения карбонатов и при титровании с фенолфталеином израсходовали 18,00 мл раствора HCl . Вычислить массовую долю (%) Na_2CO_3 в препарате.
36. В мерную колбу вместимостью 200,0 мл ввели 5,00 мл смеси соляной и фосфорной кислот и добавили до метки воды. На титрование 20,00 мл полученного раствора с метиловым оранжевым израсходовали 18,20 мл 0,1012 М NaOH ; при титровании такой же пробы с фенолфталеином израсходовали 34,70 мл раствора NaOH . Какая масса HCl и H_3PO_4 содержалась в 100 мл смеси?
37. В мерную колбу вместимостью 500,0 мл ввели 10,00 мл смеси технических серной и фосфорной кислот и до метки наполнили водой. 25,00 мл этого раствора оттитровали 26,40 мл раствора NaOH [$T(\text{NaOH} / \text{HCl})=0,003600$] по метиловому оранжевому. При титровании такой же пробы по фенолфталеину израсходовали 40,00 мл раствора NaOH . Какая масса H_2SO_4 и H_3PO_4 содержалась в 1 л исходной смеси?
38. Какую массу NH_4Cl , содержащего около 30% NH_3 , взяли для анализа, если после добавления к ней 50,00 мл 0,1000 М NaOH и нагревания до полного удаления аммиака, избыток NaOH оттитровали 25,00 мл 0,1000 М HCl ?
39. Какую массу NaNO_3 следует взять для анализа, чтобы после восстановления NO_3^- выделившийся аммиак мог быть поглощен 40,00 мл 0,1000 М HCl и избыток кислоты оттитрован 20,00 мл 0,1000 М NaOH ?
40. Навеску соли аммония массой 1,000 г обработали избытком концентрированного раствора NaOH . Выделившийся аммиак поглотили 50,00 мл 1,072 М HCl и избыток кислоты оттитровали 25,40 мл раствора NaOH [$T(\text{NaOH})=0,004120$]. Вычислить массовую долю (%) NH_3 в образце.
41. Навеску $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. К 20,00 мл раствора прибавили 50,00 мл 0,1122 М NaOH и нагрели до полного удаления NH_3 . Остаток щелочи оттитровали 18,00 мл раствора HCl (20,00 мл раствора NaOH эквивалентны 21,00 мл раствора HCl). Какая масса $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ содержалась в исходном растворе?
42. Для определения аммонийного азота навеску удобрения обработали формалином. На нейтрализацию выделившейся кислоты израсходовали 21,00 мл NaOH [$T(\text{NaOH})=0,003991$]. Какую массу навески следует

взять для анализа, если содержание азота в удобрении составляло примерно 20%?

43. Для определения аммонийного азота навеску удобрения массой 2,6351 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 мл. К 25,00 мл полученного раствора добавили формальдегид и выделившуюся кислоту оттитровали 18,72 мл раствора NaOH [$T(\text{NaOH}) = 0,003987$]. На титрование формальдегида в холостом опыте израсходовали 0,50 мл NaOH. Вычислить массовую долю (%) азота в удобрении.
44. Навеску $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ массой 1,2899 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 мл. К 25,00 мл полученного раствора добавили формалина и выделившуюся кислоту оттитровали 24,22 мл раствора NaOH [$T(\text{NaOH} / \text{HCl}) = 0,003612$]. Вычислить массовую долю (%) азота в образце.
45. Навеску Na_2CO_3 0,1032 г обработали 50,00 мл 0,09496 М HCl. Избыток кислоты оттитровали 24,80 мл 0,1 М NaOH ($k=1,298$) по метиловому оранжевому. Вычислить массовую долю (%) индифферентных примесей в образце.
46. К раствору, содержащему 0,3655 г Na_2CO_3 марки “х.ч.” добавили 40,00 мл раствора HClO_4 . Раствор прокипятили для удаления CO_2 и на титрование избытка HClO_4 израсходовали 11,25 мл NaOH (25,00 мл раствора NaOH эквивалентны 27,40 мл HClO_4). Определить молярную концентрацию растворов HClO_4 и NaOH.
47. Определить постоянную жесткость воды, если к 100,0 мл исследуемой воды прибавили 20,00 мл раствора Na_2CO_3 [$T(\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{CaO}) = 0,003000$], смесь прокипятили и после отделения осадка карбонатов кальция и магния избыток Na_2CO_3 оттитровали 17,30 мл раствора HCl (20,00 мл раствора Na_2CO_3 эквивалентны 21,00 мл раствора HCl).
48. К смеси SrCO_3 и Li_2CO_3 массой 0,4789 г добавили 40,00 мл 0,5100 М HCl. Избыток кислоты оттитровали 20,00 мл NaOH [$T(\text{NaOH} / \text{HCl}) = 0,001825$] по метиловому оранжевому. Определить массовую долю (%) SrCO_3 и Li_2CO_3 .
49. В каком объеме хлороводородной кислоты [$T(\text{HCl}) = 0,003638$] нужно растворить навеску CaCO_3 , массой 0,1234 г, чтобы на титрование избытка кислоты по метиловому оранжевому израсходовать 19,50 мл раствора NaOH [$T(\text{NaOH} / \text{CaO}) = 0,002910$]?
50. К 50,00 мл 0,1012 н. MgSO_4 прибавили 25,00 мл 0,2514 М NaOH и смесь разбавили водой в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. Затем 50,00 мл фильтрата оттитровали 0,1046 М HCl. Какой объем кислоты израсходовали на титрование?
51. Из раствора объемом 20,00 мл, содержащего Na_2SO_4 , получили в кислой среде осадок бензидинсульфата. Осадок растворили в горячей воде и оттитровали 18,45 мл 0,1022 М NaOH с фенолфталеином:
$$\text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{OH}^- = \text{C}_{12}\text{H}_8(\text{NH}_2)_2 + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$$

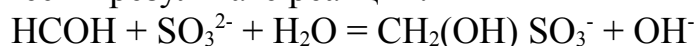
Определить концентрацию сульфата натрия в исходном растворе(г/л).

- 52.** Калий из навески карналлита массой 0,8372 г осадил в виде калиевой соли дипикрилами́на. Осадок растворили в ацетоне, прибавили 50,00 мл 0,1046 М НСl и после удаления ацетона избыток НСl оттитровали 22,34 мл 0,1124 М раствора NaOH. Вычислить массовую долю (%) КСl в карналлите и пересчитать содержание его на K₂O.
- 53.** К раствору смеси аминокислот, содержащему 0,1046 г глицина и 0,0848 г аланина, прибавили избыток формалина, предварительно нейтрализованного по фенолфталеину. Полученные соединения оттитровали 0,1016 М раствором NaOH. Вычислить объем титранта.
- 54.** К навеске раствора массой 1,000 г, содержащего этиленгликоль, добавили уксусный ангидрид и нейтрализовали раствором NaOH по фенолфталеину. Для омыления образовавшегося эфира ввели 25,00 мл раствора NaOH [T(NaOH)=0,04020].



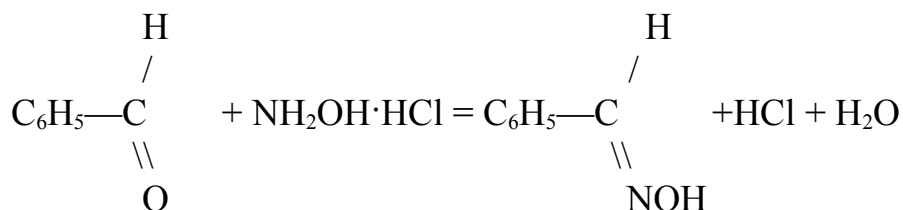
Смесь прокипятили и после охлаждения избыток щелочи оттитровали 10,20 мл раствора НСl с T(НСl)=0,03798. Вычислить массовую долю (%) этиленгликоля (M=62,07г/моль) в растворе.

- 55.** Пробу раствора формальдегида объемом 5,00 мл разбавили до 100,0 мл. К аликвоте раствора объемом 5,00 мл добавили сульфит натрия; образовавшиеся в результате реакции:



ионы гидроксида оттитровали 22,45 мл 0,1000н. (f_{экв.}=1/2) раствора Н₂SO₄. Вычислить концентрацию СН₂О (г/л) в исходном растворе.

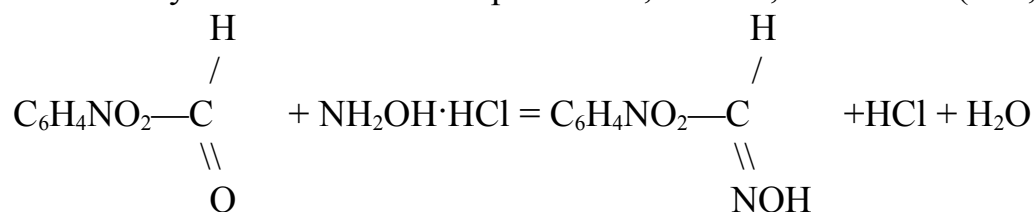
- 56.** Для определения бензальдегида навеску массой 0,4728 г обработали раствором солянокислого гидроксиламина.



и выделившуюся хлороводородную кислоту оттитровали 19,45 мл 0,25М NaOH (k=0,9845). На титрование солянокислого гидроксиламина в холодном опыте израсходовали 1,75 мл того же раствора NaOH. Определить массовую долю (%) бензальдегида (M=106,13 г/моль) в исходном продукте.

- 57.** Какую массу продукта, содержащего 98% м-нитробензальдегида (M=151,13 г/моль), нужно взять на анализ, чтобы после добавления к

ней солянокислого гидроксилamina выделившуюся хлороводородную кислоту можно было оттитровать 20,00 мл 0,1 М NaOH (k=1,048):



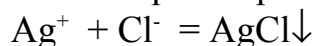
- 58.** Какую массу 2,5-динитрофенола $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})(\text{NO}_2)_2$ следует взять для определения азота по Къельдалю, чтобы выделившийся аммиак мог быть поглощен 50,00 мл 0,2н. H_2SO_4 ($f_{\text{экв.}}=1/2$) и избыток кислоты оттитрован 20,00 мл 0,2000 М NaOH?
- 59.** Какую массу гидрофталата калия нужно растворить в мерной колбе вместимостью 100,0 мл, чтобы на титрование 10,00 мл полученного раствора израсходовать 10,00 мл 0,1 М (k=1,082) раствора HClO_4 в среде ледяной уксусной кислоты?

Глава 3 ТИТРОВАНИЕ ПО МЕТОДУ ОСАЖДЕНИЯ

Решение типовых задач

Пример 1. Какая масса KCl содержится в 250,0 мл раствора, если на титрование 25,00 мл его израсходовано 34,00 мл 0,1050 М AgNO₃ ?

Решение. При титровании KCl раствором AgNO₃ протекает реакция:



В точке эквивалентности:

$$n(\text{KCl}) = n(\text{AgNO}_3)$$

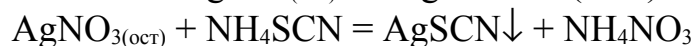
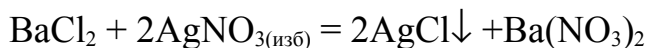
$$n(\text{AgNO}_3) = \frac{c(\text{AgNO}_3) V(\text{AgNO}_3)}{1000},$$

$$m(\text{KCl}) = n(\text{AgNO}_3) M(\text{KCl}) \frac{V_{\text{к}}}{V_{\text{п}}},$$

$$m(\text{KCl}) = \frac{c(\text{AgNO}_3) V(\text{AgNO}_3)}{1000} M(\text{KCl}) \frac{V_{\text{к}}}{V_{\text{п}}} = \frac{0,1050 \cdot 34,00}{1000} 74,55 \frac{250}{25} = 2,66 \text{ г.}$$

Пример 2. Навеску технического BaCl₂ массой 2,700 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 мл. После прибавления к 25,00 мл полученного раствора 40,00 мл 0,1020 М AgNO₃ на титрование избытка AgNO₃ израсходовано 15,00 мл 0,09800 М NH₄SCN. Вычислить массовую долю (%) BaCl₂ в образце.

Решение. При определении BaCl₂ методом обратного титрования протекают реакции:



Количество вещества BaCl₂ в навеске равно:

$$n(\text{BaCl}_2) = n(\text{AgNO}_3) - n(\text{NH}_4\text{SCN})$$

$$m(\text{BaCl}_2) = (n(\text{AgNO}_3) - n(\text{NH}_4\text{NO}_3)) M(1/2\text{BaCl}_2) \frac{V_{\text{к}}}{V_{\text{п}}},$$

$$m(\text{BaCl}_2) = \left(\frac{c(\text{AgNO}_3) V(\text{AgNO}_3)}{1000} - \frac{c(\text{NH}_4\text{NO}_3) V(\text{NH}_4\text{NO}_3)}{1000} \right) M(1/2\text{BaCl}_2) \frac{V_{\text{к}}}{V_{\text{п}}}$$

$$m(\text{BaCl}_2) = \left(\frac{0,1020 \cdot 40,00}{1000} - \frac{0,09800 \cdot 15,00}{1000} \right) \frac{208,2}{2} \frac{250}{25,0} = 2,717 \text{ г.}$$

ЗАДАЧИ

1. На титрование 25,00 мл 0,1100 М раствора NaCl израсходовали 20,20 мл AgNO_3 . Рассчитать молярную концентрацию и титр раствора AgNO_3 .
2. На титрование 20,00 мл 0,09936 М раствора AgNO_3 израсходовали 21,00 мл KSCN. Рассчитать молярную концентрацию и титр раствора KSCN.
3. На титрование 0,1050 г NaCl израсходовали 20,00 мл раствора $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$. Рассчитать молярную концентрацию $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$.
4. На титрование 20,00 мл раствора KSCN ($T = 0,00965$) израсходовали 19,80 мл AgNO_3 . Рассчитать молярную концентрацию и титр раствора AgNO_3 .
5. Навеску NaCl массой 1,000 г растворили в колбе вместимостью 200,0 мл. На титрование 25,00 мл полученного раствора израсходовали 24,75 мл AgNO_3 . Рассчитать молярную концентрацию AgNO_3 и $T(\text{AgNO}_3/\text{Cl})$.
6. На титрование 25,00 мл KCl израсходовали 18,00 мл 0,05200 н. раствора $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв}} = 1/2$) Рассчитать концентрацию KCl (г/л).
7. Навеску технического BaCl_2 массой 0,6700 г растворили в колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование 25,00 мл полученного раствора израсходовали 23,95 мл AgNO_3 ($T(\text{AgNO}_3) = 0,08048$). Вычислить массовую долю (%) BaCl_2 в образце.
8. Какая масса KCl содержалась в 500,0 мл раствора, если на титрование 25,00 мл его израсходовали 22,00 мл 0,1000 М AgNO_3 .
9. Пробу рассола объемом 10,00 мл разбавили водой до 250,0 мл и 20,00 мл полученного раствора оттитровали 18,98 мл 0,04805 н. раствора $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв}} = 1/2$). Какая масса NaCl содержалась в 1 л рассола?
10. Навеску технического KBr массой 1,1000 г растворили в колбе вместимостью 200,0 мл. На титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовали 19,60 мл 0,05 М AgNO_3 ($K = 0,9344$). Вычислить массовую долю (%) KBr в образце.
11. Какую массу образца, содержащего 75% NaCl, нужно взять для приготовления 200,0 мл раствора, чтобы на титрование 20,00 мл его расходовалось 20,00 мл 0,05 н. $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$?
12. Какую массу сплава, содержащего 60% серебра, следует взять на анализ, чтобы после ее растворения на титрование серебра потребовалось 20,00 мл 0,1 М NH_4SCN ?
13. Навеску серебряного сплава массой 1,4450 г растворили в HNO_3 и раствор разбавили водой до 100,0 мл. На титрование 10,00 мл полученного раствора израсходовали 9,75 мл 0,05 М NH_4SCN ($K = 0,9934$). Вычислить массовую долю (%) серебра в сплаве.
14. Какую массу органического вещества, содержащего 10% хлора, нужно взять для анализа, чтобы на титрование хлорида расходовалось 18,00 мл 0,1 М AgNO_3 ?

15. Навеску технического KSCN массой 4,9320 г растворили в колбе вместимостью 500,0 мл. Какую аликвоту следует взять для анализа, чтобы израсходовать на титрование 20,00 мл 0,1 М AgNO₃ (K = 1,015)?
16. Вычислить массовую долю (%) серебра в сплаве, если после растворения навески массой 0,3000 г в азотной кислоте на титрование раствора израсходовали 23,80 мл 0,1 М NH₄SCN.
17. Рассчитать массу бромида калия, чтобы на титрование ее было затрачено не более 25,00 мл 0,05 М раствора AgNO₃ (K = 1,080).
18. Навеску KCl массой 1,2200 г растворили в колбе вместимостью 200,0 мл. Какую аликвоту этого раствора следует взять для анализа, чтобы израсходовать на титрование хлорида не более 20,00 мл 0,1020 М AgNO₃.
19. Какую массу вещества, содержащего 58 % NaBr, следует взять для анализа, чтобы при действии на нее 25,00 мл 0,1000 М AgNO₃ избыток нитрата серебра оттитровывался 5,00 мл 0,09900 М KSCN ?
20. Навеску карналлита массой 2,2040 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 мл. На титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовали 17,80 мл раствора 0,1 н. Hg₂(NO₃)₂ (f_{экв.} = 1/2) (K=0,8975). Вычислить массовую долю (%) хлора в образце.
21. К раствору, содержащему 0,2548 г NaCl, прилили 30,00 мл 0,1121 М AgNO₃, избыток которого оттитровали 15,70 мл 0,1100 М NH₄SCN. Вычислить массовую долю (%) хлорида в веществе.
22. Навеску поваренной соли массой 0,1200 г перевели в раствор и обработали 40,00 мл 0,05 М AgNO₃ (K = 1,0580). На титрование избытка AgNO₃ израсходовали 9,05 мл 0,1 М KSCN (K = 1,0500). Вычислить массовую долю (%) NaCl в поваренной соли.
23. К 25,00 мл раствора KBr прибавили 50,00 мл 0,1100 М AgNO₃, избыток которого оттитровали 25,25 мл 0,0980 М KSCN. Какая масса KBr содержится в 1 л раствора?
24. Какая масса BaCl₂ содержится в 250,0 мл раствора, если после прибавления к 25,00 мл этого раствора 50,00 мл 0,1020 М AgNO₃ на титрование избытка AgNO₃ израсходовано 18,00 мл 0,1000 М NH₄SCN ?
25. В мерной колбе вместимостью 250,0 мл растворили 2,0025 г технического KBr. К 20,00 мл раствора прибавили 50,00 мл 0,05560 н. Hg₂(NO₃)₂ (f_{экв.} = 1/2). На титрование избытка раствора Hg₂(NO₃)₂ израсходовали 25,20 мл раствора NaCl (T (NaCl) = 0,004022). Вычислить массовую долю (%) KBr в образце.
26. Навеску KCl растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 мл. К 25,0 мл полученного раствора прибавили 50,00 мл 0,1035 М AgNO₃. На титрование избытка AgNO₃ израсходовали 24,00 мл NH₄SCN (T (NH₄SCN/Ag) = 0,01063). Рассчитать массу навески KCl.

Глава 4 КОМПЛЕКСОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Решение типовых задач.

Пример 1. Какую массу металлического цинка следует взять для приготовления 100,0 мл раствора сульфата цинка, чтобы на титрование 20,00 мл его расходовалось 20,00 мл 0,01 М раствора ЭДТА?

Решение. Количество $n(\text{ЭДТА})$, затраченное на титрование Zn^{2+} , равно $n(\text{Zn}^{2+})$:

$$n(\text{ЭДТА}) = n(\text{Zn}^{2+}) ;$$

$$n(\text{ЭДТА}) = \frac{c(\text{ЭДТА})V(\text{ЭДТА})}{1000}.$$

Следовательно, с учётом разбавления масса цинка равна:

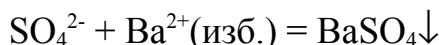
$$m(\text{Zn}) = \frac{c(\text{ЭДТА})V(\text{ЭДТА})}{1000} M(\text{Zn}) \frac{V_{\text{к.}}}{V_{\text{п.}}}$$

Подставляя в уравнение результаты титрования, получаем:

$$m(\text{Zn}) = \frac{0,01 \cdot 20,00}{1000} 65,37 \frac{100}{20,00} = 0,06537 \text{ г.}$$

Пример 2. Для определения содержания сульфат-ионов в воде минерального источника к 150,0 мл её прибавили 25,00 мл 0,01115 М BaCl_2 . Не фильтруя осадок BaSO_4 , добавили к смеси аммонийный буфер, содержащий комплексонат магния. Полученный раствор оттитровали 14,00 мл 0,01242 М ЭДТА. Вычислить концентрацию сульфат-ионов (мг/л).

Решение. При добавлении BaCl_2 к воде, содержащей сульфат-ионы, выпадает осадок BaSO_4 :



В растворе остаются ионы Ba^{2+} , не вступившие в реакцию с SO_4^{2-} . Остаток BaCl_2 оттитровывают раствором ЭДТА:



Число моль-эквивалентов сульфат-ионов равно:

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = n(\text{Ba}^{2+}) - n(\text{ЭДТА}).$$

Отсюда

$$c(\text{SO}_4^{2-}) = \left(\frac{c(\text{BaCl}_2)V(\text{BaCl}_2) - c(\text{ЭДТА})V(\text{ЭДТА})}{1000} \right) \cdot M(\text{SO}_4^{2-}) \frac{1000}{V_{\text{воды}}} 1000 \text{ мг / л.}$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$c(\text{SO}_4^{2-}) = \left(\frac{0,01115 \cdot 25,00 - 0,01242 \cdot 14,00}{1000} \right) \cdot 96,062 \frac{1000}{150,0} 1000 = 67,16 \text{ мг / л.}$$

ЗАДАЧИ

1. На титрование 20,00 мл раствора NaCl пошло 18,62 мл 0,1000 н. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв.}}=1/2$). Рассчитать молярную концентрацию раствора NaCl.
2. Навеску KSCN массой 4,856 г растворили в мерной колбе вместимостью 500,0 мл. На титрование 25,00 мл полученного раствора израсходовали 24,95 мл раствора $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$. Определить титр раствора $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$.
3. Рассчитать массу $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, необходимую для приготовления 250,0 мл 0,05 н. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв.}}=1/2$).
4. На титрование 0,0610 г NaCl израсходовали 19,30 мл раствора $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$. Определить молярную концентрацию и титр раствора $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$.
5. Какую массу металлического цинка необходимо растворить в H_2SO_4 для приготовления 100,0 мл 0,01 М раствора ZnSO_4 ?
6. 10 мл 0,1 М ZnSO_4 ($K = 1,018$) поместили в мерную колбу вместимостью 100,0 мл и довели раствор до метки водой. На титрование 20,00 мл полученного раствора израсходовали 20,80 мл ЭДТА. Рассчитать молярную концентрацию ЭДТА.
7. На титрование 0,1035 г CaCO_3 израсходовали 20,15 мл раствора ЭДТА. Рассчитать молярную концентрацию ЭДТА и титр ЭДТА по CaO.
8. Какую массу NaBr, содержащего около 10 % индифферентных примесей, следует взять для анализа, чтобы на ее титрование потребовалось 20,00 мл 0,1 н. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$?
9. Навеску образца, содержащего 28% хлора, оттитровали 18,75 мл 0,05015 н. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв.}}=1/2$). Рассчитать массу образца, взятую для анализа.
10. Навеску руды массой 0,9000 г оттитровали 19,50 мл 0,1015 М раствором ЭДТА. Вычислить массовую долю (%) цинка в руде.
11. Рассчитать массу NiCl_2 в растворе, на титрование которой затратили 20,45 мл 0,05115 М ЭДТА.
12. Навеску поваренной соли массой 2,8530 г растворили в мерной колбе вместимостью 500,0 мл. На титрование 20,00 мл раствора израсходовали 18,95 мл 0,1010 н. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв.}}=1/2$). Рассчитать массовую долю (%) NaCl в образце.
13. На титрование навески технического бромид натрия, содержащего 80 % NaBr, израсходовано 21,20 мл 0,2500 н. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв.}}=1/2$). Вычислить массу навески технического NaBr.
14. Навеску технического бромид калия массой 0,1506 г растворили в воде и оттитровали 22,00 мл 0,05 н. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ($f_{\text{экв.}}=1/2$) ($K=1,055$). Вычислить массовую долю (%) KBr в образце.
15. На титрование 20,00 мл раствора NiCl_2 израсходовано 21,22 мл

- 0,01065 М ЭДТА. Вычислить концентрацию NiCl_2 в растворе (г/л).
16. Для определения суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} 20,00 мл раствора оттитровали в присутствии эриохром черного Т 18,15 мл 0,01120 М ЭДТА. Для определения Ca^{2+} на титрование 20,00 мл раствора в присутствии мурексида израсходовали 12,00 мл 0,01120 М ЭДТА. Рассчитать концентрацию Ca^{2+} и Mg^{2+} в растворе (г/л).
 17. Рассчитать концентрацию магния в воде (ммоль/л), если на титрование 100 мл воды при рН 9,7 в присутствии эриохром черного Т израсходовали 19,20 мл 0,01012 М ЭДТА.
 18. Навеску образца, содержащего Fe^{3+} , массой 3,0340 г растворили в мерной колбе 100,0 мл. Аликвоту полученного раствора в 20,00 мл оттитровали 7,06 мл 0,0500 М раствора комплексона III. Определить массовую долю железа (III) (%) в образце.
 19. Определить массовую долю примесей в ацетате свинца, если на титрование раствора, полученного из образца массой 0,1000 г, израсходовали 5,84 мл 0,05 М ЭДТА ($K = 1,015$).
 20. Навеску алюминиевого сплава массой 0,5000 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. После соответствующей обработки для определения Mg 20,00 мл раствора оттитровали 12,60 мл 0,01000 М ЭДТА. Вычислить массовую долю (%) магния в алюминиевом сплаве.
 21. Рассчитать массу $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, содержащего около 7 % примесей, необходимую для анализа, чтобы на титрование ее пошло 10 мл 0,1 М раствора комплексона III.
 22. К 10,00 мл раствора, содержащего Al^{3+} , добавили 25,00 мл 0,01025 М ЭДТА, избыток ЭДТА оттитровали 12,10 мл 0,0100 М CuSO_4 в присутствии индикатора ПАН. Рассчитать массу алюминия в 1 л раствора.
 23. Вычислить массу алюминия в растворе, если к раствору добавили 20,00 мл 0,04520 М раствор ЭДТА и на титрование избытка ЭДТА израсходовали 6,05 мл 0,04950 М ZnSO_4 .
 24. Навеску силиката массой 1,022 г растворили, добавили 25,00 мл 0,2151 М комплексона III, оттитровали избыток последнего 9,85 мл 0,1015 М раствором ZnSO_4 . Вычислить массовую долю (%) Al_2O_3 в силикате.
 25. Для определения содержания сульфат-ионов в воде минерального источника к 150,0 мл ее прибавили 25,00 мл 0,01115 М BaCl_2 . Избыток BaCl_2 оттитровали 14,00 мл 0,01242 М ЭДТА. Вычислить концентрацию (мг/л) сульфат-ионов.
 26. Навеску MgCl_2 массой 0,3000 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 мл. На титрование 25,00 мл этого раствора израсходовали 10,35 мл 0,0250 М ЭДТА. Вычислить массовую долю (%) MgCl_2 в образце.
 27. При анализе пробы производственных сточных вод объемом 100,0 мл сульфат-ионы осадили раствором BaCl_2 , растворили в 30,00 мл

- 0,02500 М ЭДТА. Избыток ЭДТА оттитровали 15,00 мл 0,025 М MgCl_2 ($K=0,9987$). Определить концентрацию сульфат-ионов (мг/л).
- 28.** Навеску $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ массой 0,8000 г растворили в мерной колбе вместимостью 250,0 мл. К 25,00 мл раствора прибавили 50,00 мл 0,01007 М ЭДТА. На титрование избытка ЭДТА израсходовали 23,00 мл 0,01178 М ZnSO_4 . Вычислить массовую долю (%) $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ в образце.
- 29.** Навеску известняка массой 1,000 г растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование 20,00 мл раствора для определения суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} израсходовали 22,20 мл 0,05140 М ЭДТА. Для определения Ca^{2+} 20,00 мл раствора оттитровали 6,50 мл 0,05140 М ЭДТА. Вычислить массовую долю (%) CaCO_3 и MgCO_3 .
- 30.** К 25,00 мл раствора $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ добавили избыток комплексоната магния ($\text{Na}_2\text{MgЭДТА}$) и на титрование магния затратили 19,85 мл 0,01 М ЭДТА ($K = 0,9878$). Вычислить массу $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ в 1 л раствора.
- 31.** Навеску образца, содержащего 84 % Al , растворили в мерной колбе вместимостью 200,0 мл. К 10,00 мл полученного раствора прибавили 25,00 мл 0,01025 М ЭДТА, избыток которого оттитровали 9,25 мл 0,01 М ZnSO_4 ($K = 1,0178$). Рассчитать массу образца.
- 32.** Рассчитать массу феррита, содержащего около 14 % NiO , которую следует взять на анализ, если после растворения и соответствующей обработки на титрование никеля затрачено 19,55 мл 0,0550 М ЭДТА.
- 33.** Навеску латуни, содержащей около 80 % меди, растворили в мерной колбе вместимостью 500,0 мл. На титрование 10,00 мл раствора израсходовали 11,00 мл 0,0250 М ЭДТА. Рассчитать массу латуни, взятую для анализа.
- 34.** Рассчитать массу образца, содержащего около 10 % Pb , которую следует взять на анализ, чтобы на титрование пошло не более 20 мл 0,01 М ЭДТА.
- 35.** К 25,00 мл раствора $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ добавили избыток комплексоната магния. На титрование выделившихся ионов магния израсходовали 10,45 мл 0,01155 М раствора ЭДТА. Вычислить массу $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ в 100 мл раствора.

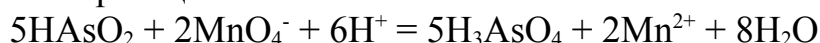
Глава 5.

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ ТИТРОВАНИЕ.

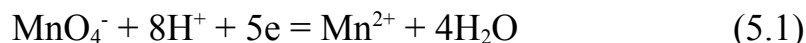
5.1. Молярная масса эквивалента при окислительно-восстановительном титровании

Эквивалент вещества, участвующего в окислительно-восстановительной реакции, – это условная или реальная частица вещества, которая соответствует одному электрону в данной полуреакции.

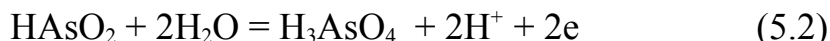
Пример 1. Определить молярную массу эквивалента окислителя и восстановителя в реакции:



Решение. Запишем уравнения полуреакций, соответствующих превращениям окислителя:



и восстановителя:



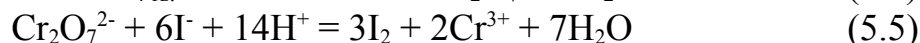
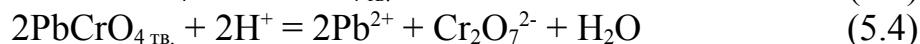
Как можно видеть из уравнения (5.1), перманганат-ион восстанавливается до Mn^{2+} , принимая 5 электронов. Следовательно, одному электрону соответствует частица $1/5\text{MnO}_4^-$, т.е. $f_{\text{экв.}}(\text{MnO}_4^-) = 1/5$. Молярная масса эквивалента окислителя равна:

$$M(1/5\text{MnO}_4^-) = \frac{M(\text{MnO}_4^-)}{5} = \frac{118,936}{5} = 23,787.$$

Аналогично, из уравнения (5.2) следует, что одному электрону соответствует частица $1/2\text{HAsO}_2$, т.е. $f_{\text{экв.}}(\text{HAsO}_2) = 1/2$. Молярная масса эквивалента восстановителя равна:

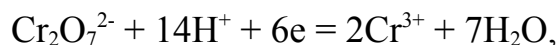
$$M(1/2\text{HAsO}_2) = \frac{M(\text{HAsO}_2)}{2} = \frac{107,928}{2} = 53,964.$$

Пример 2. Вычислить молярную массу эквивалента свинца при иодометрическом определении его по схеме:



Решение. Реакции (5.3) и (5.4) не могут быть использованы для определения молярной массы эквивалента свинца, поскольку ни свинец, ни хром не изменяют степени окисления, т.е. эти процессы взаимодействия частиц не сопровождаются передачей электронов. Достаточно ин-

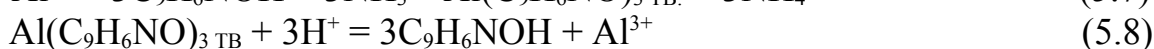
формативна реакция (5.5). Действительно, как видно из следующей полуреакции



дихромат-ион восстанавливается до Cr^{3+} , принимая шесть электронов. Следовательно, одному электрону соответствует частица $1/6$ ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), т.е. $f_{\text{экв.}}(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 1/6$. Учитывая стехиометрические коэффициенты для реакции (5.4), нужно записать, что одному моль PbCrO_4 химически эквивалентна условная частица $1/3(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$. Отсюда легко определить молярную массу эквивалента свинца:

$$M(1/3\text{Pb}) = \frac{M(\text{Pb})}{3} = \frac{207,2}{3} = 69,067$$

Пример 3. Вычислить молярную массу эквивалента алюминия при броматометрическом определении его по схеме:



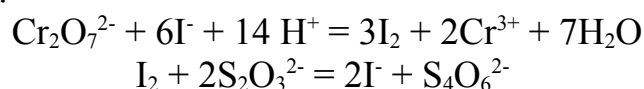
Решение. Как видно из уравнения (5.10), на 1 моль оксихинолина расходуется 2 моля Br_2 , т.е. 4 электрона (поскольку $\text{Br}_2 + 2\text{e} \rightarrow 2\text{Br}^-$); 1 моль Al^{3+} [см. уравнение (5.7)] взаимодействует с 3 моль оксихинолина, следовательно, на 1 моль AlOx_3 приходится $3 \cdot 4 = 12$ электронов, т.е. $f_{\text{экв.}}(\text{Al}) = 1/12$. Отсюда молярная масса эквивалента алюминия равна:

$$M(1/12\text{Al}) = \frac{M(\text{Al})}{12} = \frac{26,9815}{12} = 2,248.$$

5.2. Расчёт концентраций стандартных растворов

Пример 1. Навеску 0,2940 г $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. На титрование иода, выделенного 25,00 мл полученного раствора из KI , израсходовали 20,00 мл раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Рассчитать $T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ и $T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{Cr}}$.

Решение. Запишем уравнения химических реакций, отражающих сущность метода:



В точке эквивалентности

$$n(1/6 \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = n(1/2 \text{I}_2) = n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \quad (5.11)$$

Из условий задачи следует, что число молей эквивалента $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, содержащееся в аликвоте анализируемого раствора, составит:

$$n(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{m_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} \cdot V_n}{M(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot V_k}, \quad (5.12)$$

а количество вещества $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ равно:

$$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = \frac{T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}}{M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} \quad (5.13)$$

где $M(1/6 \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ и $M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ – молярные массы эквивалента дихромата калия и тиосульфата натрия, соответственно.

Подставляя выражения (5.12) и (5.13) в уравнение (5.11), после несложных преобразований получаем:

$$T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = \frac{m_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} \cdot V_n \cdot M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{M(1/6 \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot V_k \cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}}$$

$$T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = \frac{0,2940 \cdot 25,00 \cdot 158,10}{49,03 \cdot 200,0 \cdot 20,00} = 0,005925 \text{ г/мл.}$$

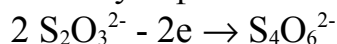
Зная титр раствора тиосульфата натрия, можно рассчитать титр раствора тиосульфата натрия по хрому:

$$T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{Cr}} = \frac{T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot M(1/3\text{Cr})}{M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{Cr}} = \frac{0,005925 \cdot 17,332}{158,10} = 0,0006495 \text{ г/мл.}$$

При титровании раствором тиосульфата ион $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ окисляется до $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$:



Следовательно, на 1 ион $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ расходуется 1 электрон, поэтому $f_{\text{экв}}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 1$.

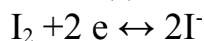
Согласно полуреакции:



на 1 ион Cr^{3+} приходится 3 электрона, в связи с этим $f_{\text{экв}}(\text{Cr}^{3+}) = 1/3$.

Пример2. Установлено, что 50,00 мл раствора йода по своей окисляющей способности эквивалентны 29,47 мл раствора дихромата калия с $T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe}) = 0,001876\text{г/мл}$. Вычислить молярную концентрацию эквивалента обоих растворов.

Решение. Определим молярную массу эквивалента йода и дихромата калия; с этой целью запишем уравнения полуреакций, соответствующих превращениям йода:



и дихромата калия:



Как можно видеть, дихромат-ион восстанавливается до Cr^{3+} , принимая шесть электронов. Следовательно, одному электрону соответствует части-

ца $1/6$ ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), т.е. $f_{\text{э.кв.}}(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 1/6$. Аналогичным образом можно установить, что $f_{\text{э.кв.}}(\text{I}_2) = 1/2$.

Следовательно, молярная масса эквивалента йода:

$$M(1/2\text{I}_2) = \frac{M(\text{I}_2)}{2} = \frac{253,809}{2} = 126,9046,$$

а молярная масса эквивалента дихромата калия составляет:

$$M(1/6)\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \frac{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{6} = \frac{294,185}{6} = 49,031.$$

Согласно принципу эквивалентности число моль-эквивалентов раствора йода равно числу моль-эквивалентов раствора дихромата калия, т.е.

$$n(1/2\text{I}_2) = n(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7).$$

С учетом условий задачи число моль-эквивалентов раствора дихромата калия можно представить как:

$$n(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe}) \cdot V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M(\text{Fe})},$$

а число моль-эквивалентов раствора йода выразится как:

$$n(1/2\text{I}_2) = \frac{c(1/2\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2)}{1000}.$$

Окончательная формула принимает вид:

$$\frac{T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe}) \cdot V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M(\text{Fe})} = \frac{c(1/2\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2)}{1000}.$$

Теперь легко определить молярную концентрацию эквивалента раствора йода по соотношению:

$$c(1/2\text{I}_2) = \frac{T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{I}_2) \cdot V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot 1000}{M(\text{Fe}) \cdot V(\text{I}_2)}.$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$c(1/2\text{I}_2) = \frac{0,001876 \cdot 29,47 \cdot 1000}{55,847 \cdot 50,00} = 0,01980.$$

Вычислим молярную концентрацию эквивалента раствора дихромата калия по уравнению:

$$c(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe}) \cdot 1000}{M(\text{Fe})}$$

Подставляя численные значения, получаем:

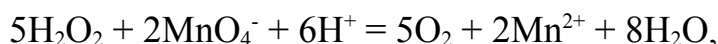
$$c(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{0,001876 \cdot 1000}{55,847} = 0,03359$$

5.3. Расчёт результатов титрования

5.3.1 Прямое титрование

Пример1. Сколько граммов пероксида водорода содержится в пробе, если при титровании израсходовано 14,50 мл перманганата калия с $T_{\text{KMnO}_4/\text{Fe}} = 0,08376\text{г/мл}$?

Решение. При прямом титровании число молей эквивалентов определяемого вещества (пероксида водорода) равно числу молей эквивалентов титранта (перманганата калия). Запишем уравнение химической реакции, протекающей при перманганатометрическом титровании пероксида водорода:



и соответствующие полуреакции:



Из уравнений (5.14) и (5.15) следует, что $f_{\text{экв}}(\text{KMnO}_4) = 1/5$, а $f_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{O}_2) = 1/2$, поскольку 1 электрон химически эквивалентен условным частицам $1/5\text{KMnO}_4$ и $1/2\text{H}_2\text{O}_2$.

Составляем расчётное уравнение:

$$n(1/5\text{KMnO}_4) = \frac{T_{\text{KMnO}_4/\text{Fe}} \cdot V_{\text{KMnO}_4}}{M(\text{Fe})} \quad \text{и}$$

$$n(1/2\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}_2}}{M(1/2\text{H}_2\text{O}_2)}$$

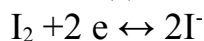
Поскольку $n(1/5\text{KMnO}_4) = n(1/2\text{H}_2\text{O}_2)$, то после преобразований получаем

$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{T_{\text{KMnO}_4/\text{Fe}} \cdot V_{\text{KMnO}_4}}{M(\text{Fe})} \cdot M(1/2\text{H}_2\text{O}_2)$$

$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{0,08376 \cdot 14,50}{55,847} \cdot 17,0073 = 0,3699\text{г}$$

Пример2. Установлено, что 50,00 мл раствора иода по своей окисляющей способности эквивалентны 29,47 мл раствора дихромата калия с $T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe}) = 0,001876\text{г/мл}$. Вычислить молярную концентрацию эквивалента обоих растворов.

Решение. Определим молярную массу эквивалента каждого рабочего раствора; с этой целью запишем уравнения полуреакций, соответствующих превращениям иода:



и дихромата калия:



Как можно видеть, дихромат-ион восстанавливается до Cr^{3+} , принимая шесть электронов. Следовательно, одному электрону соответствует частица $1/6$ ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), т.е. $f_{\text{экв.}}(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 1/6$. Аналогичным образом можно оценить, что $f_{\text{экв.}}(\text{I}_2) = 1/2$.

Следовательно, расчетное уравнение принимает вид:

$$n(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = n(1/2\text{I}_2)$$

С учетом условий задачи имеем:

$$\frac{T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 / \text{Fe})V(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{m(\text{Fe})} = \frac{c(1/2\text{I}_2)V(\text{I}_2)}{1000}$$

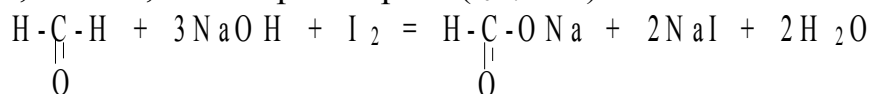
Подставляя численные значения, получаем:

$$c(1/2\text{I}_2) = \frac{0,001876 \cdot 29,47 \cdot 1000}{55,847 \cdot 50,00} = 0,01980$$

$$c(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{0,001876 \cdot 1000}{55,847} = 0,003359$$

5.3.2. Обратное титрование

Пример1. Для определения содержания формальдегида навеску массой 0,2679 г технического препарата растворили в воде, добавили NaOH и 50,00 мл 0,1004 н. раствора I_2 ($f_{\text{экв.}} = 1/2$):



После подкисления раствора на титрование избытка иода пошло 15,20 мл раствора тиосульфата с $T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = 0,01600$. Вычислить массовую долю (%) формальдегида в препарате.

Решение. При обратном титровании:

$$n(\text{НСОН}) = n(1/2 \text{I}_2) - n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$$

Составляем расчётную формулу:

$$\omega_{\text{НСОН}}(\%) = \left(\frac{c(1/2\text{I}_2) \cdot V(\text{I}_2)}{1000} - \frac{T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} \right) \cdot M(1/2\text{НСОН}) \cdot \frac{100}{m_{\text{обр.}}}$$

В соответствии с полуреакцией:



один электрон химически эквивалентен условной частице $1/2(\text{НСОН})$, т.е. $f_{\text{экв.}}(\text{НСОН}) = 1/2$. Отсюда молярная масса эквивалента формальдегида равна: $M(1/2 \text{НСОН}) = 1/2M(\text{НСОН}) = 30,0266/2 = 15,0133$.

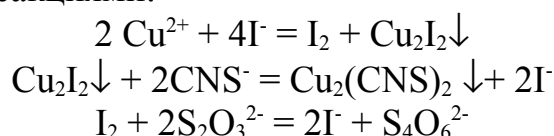
Подставляя численные значения в расчётную формулу, получаем:

$$\omega_{\text{НСОН}}(\%) = \left(\frac{0,1004 \cdot 50,00}{1000} - \frac{0,01600 \cdot 15,20}{158,10} \right) \cdot 15,0133 \cdot \frac{100}{0,2879} = 18,16$$

5.3.3. Титрование по замещению

Пример 1. Вычислить массовую долю (%) меди в руде, если из навески руды массой 0,6215 г медь перевели в раствор в виде Cu^{2+} и после добавления к этому раствору KI выделившийся иод оттитровали 18,23 мл раствора тиосульфата натрия с $T_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = 0,01545$.

Решение. Сущность иодометрического определения меди описывается следующими реакциями:



При титровании по методу замещения:

$$n(\text{Cu}) = n(1/2 \text{I}_2) = n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$$

Составляем расчётную формулу:

$$\omega_{\text{Cu}}(\%) = \frac{T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)} \cdot M(\text{Cu}) \cdot \frac{100}{m_{\text{обр}}}$$

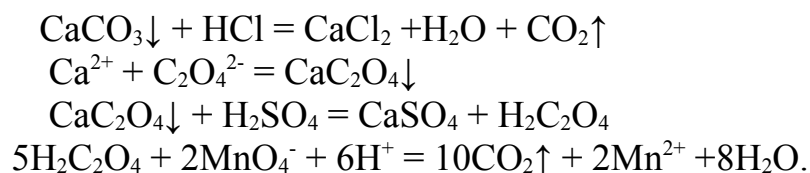
где $M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$ и $M(\text{Cu})$ – молярные массы эквивалента тиосульфата натрия и меди, соответственно; $m_{\text{обр}}$ – масса образца руды.

Подставляя численные значения, получаем:

$$\omega_{\text{Cu}}(\%) = \frac{0,01545 \cdot 18,23}{158,10} \cdot 63,546 \cdot \frac{100}{0,6215} = 18,22.$$

Пример 2. Из навески известняка массой 0,1856 г, растворенной в HCl , ионы Ca^{2+} осадили в виде $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Промытый осадок растворили в разбавленной H_2SO_4 и образовавшуюся $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ оттитровали 22,15 мл раствора перманганата калия $T(\text{KMnO}_4/\text{CaCO}_3) = 0,005820$. Вычислить массовую долю (%) CaCO_3 в известняке.

Решение. Определение CaCO_3 в известняке основано на следующих реакциях:



Поскольку перманганатометрическое определение CaCO_3 в известняке представляет собой титрование по замещению, то в этом случае:

$$n(1/2\text{CaCO}_3) = n(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = n(1/5 \text{KMnO}_4).$$

Составляем расчётную формулу:

$$\omega (\%) \text{CaCO}_3 = T(\text{KMnO}_4 / \text{CaCO}_3) \cdot V(\text{CaCO}_3) \cdot \frac{100}{m_{\text{нав}}}$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$\omega (\%) \text{CaCO}_3 = 0,005820 \cdot 22,15 \cdot 100 / 0,1862 = 69,23.$$

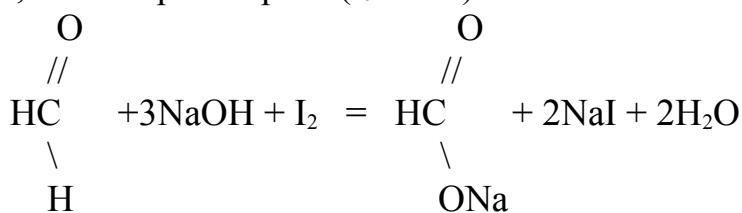
ЗАДАЧИ.

1. Какую массу KMnO_4 надо взять для приготовления: 1) 500 мл 0,05н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{экв}}=1/5$); 2) 500 мл раствора с $T(\text{KMnO}_4/\text{Fe})=0.005932$; 3) 250 мл раствора с $T(\text{KMnO}_4/\text{CaO})=0,005246\text{г/мл}$? Во всех случаях предусматривается титрование в кислой среде.
2. До какого объема следует разбавить 250 мл 0,1000н. KMnO_4 ($f_{\text{экв}}=1/5$), чтобы получить: 1) раствор с $T(\text{KMnO}_4)=0.002634$; 2) раствор с $T(\text{KMnO}_4/\text{Fe})=0.003990$?
3. Какую массу $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ необходимо взять для приготовления: 1) 2,0 л раствора с $T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe})=0.002792$; 2) 500 мл раствора с $T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{FeO})=0,007256$; 3) 250 мл 0,05н. раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($f_{\text{экв}}=1/6$)?
4. Какой объем 0,05н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{экв}}=1/5$) необходимо прибавить к 500 мл раствора с $T(\text{KMnO}_4/\text{Fe})=0.002800$, чтобы получить: 1) раствор с $T(\text{KMnO}_4)=0,004250$; 2) раствор с $T(\text{KMnO}_4/\text{Fe})=0,004000$?
5. Какую массу $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ необходимо взять для приготовления: 1) 500,0 мл 0,02 М раствора; 2) 200 мл раствора с $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{I}_2)=0,006432$; 3) 250 мл раствора с $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{Cu})=0,001345$?
6. На титрование 20,00 мл раствора щавелевой кислоты с $T(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})=0,006900$ израсходовали 25,00 мл раствора KMnO_4 . Вычислить молярную концентрацию эквивалента раствора KMnO_4 и его титр.
7. На титрование 20,00 мл раствора FeSO_4 в сернокислой среде израсходовали 22,50 мл 0,1000н. раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($f_{\text{экв}}=1/6$). Какой объем воды нужно добавить к 200,0 мл раствора сульфата железа, чтобы сделать раствор точно 0,0500н.?
8. Вычислить массу $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, которую следует перенести в мерную колбу вместимостью 500,0 мл, чтобы на титрование 25,00 мл полученного раствора израсходовать 20,25 мл раствора KMnO_4 с концентрацией 3,280 г/л.
9. Вычислить молярную концентрацию эквивалента раствора I_2 , если на титрование 0,1008 г As_2O_3 израсходовано 20,00 мл этого раствора.
10. Вычислить $T(\text{I}_2/\text{As}_2\text{O}_3)$, если $T(\text{I}_2/\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)=0.003500$.
11. Для определения $T(\text{KMnO}_4)$ использовали стандартный образец, содержащий 2,95% хрома. Рассчитать массу навески образца, чтобы на титрование полученного из нее раствора Cr^{3+} было затрачено 20,00 мл 0,02500н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{экв}}=1/5$).

12. Навеску стали массой 0,2548 г с содержанием марганца 1,09% растворили, окислили марганец до MnO_4^- и оттитровали 18,50 мл раствора Na_3AsO_3 . Вычислить молярную концентрацию эквивалента раствора Na_3AsO_3 и его титр по Mn.
13. Какую массу руды, содержащей около 60% Fe_2O_3 , следует взять на анализ, чтобы после соответствующей обработки на титрование полученной соли железа(II) израсходовать 20,00 мл 0,1000н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{эКВ}}=1/5$)?
14. Какая масса H_2O_2 содержится в пробе, если при титровании ее израсходовали 14,50 мл раствора перманганата калия с $T(\text{KMnO}_4/\text{Fe})=0,08376\text{г/мл}$?
15. Какую массу вещества, содержащего 0,3% серы, следует взять на анализ, чтобы на титрование полученного из нее H_2S потребовалось 10,00мл 0,05000н. раствора I_2 ($f_{\text{эКВ}}=1/2$).
16. К кислому раствору KI прибавили 20,00мл 0,1133н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{эКВ}}=1/5$) и выделившийся иод оттитровали 25,90 мл раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Вычислить молярную концентрацию раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.
17. Вычислить молярную концентрацию раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, если 20,00 мл раствора дихромата калия с $T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe})=0,005584\text{ г/мл}$ после добавления KI выделяют такое количество I_2 , которое оттитровывается 32,46 мл раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.
18. К навеске $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ массой 0,1500 г добавили HCl и избыточное количество KI; выделившийся иод оттитровали 21,65 мл раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Вычислить молярную концентрацию раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{I}_2)$.
19. Из технического сульфита натрия массой 0,5600 г приготовили 200,0 мл раствора. На титрование 20,00 мл раствора израсходовали 16,20 мл раствора йода с $T(\text{I}_2/\text{As}_2\text{O}_3)=0,002473\text{г/мл}$. Определить массовую долю (%) Na_2SO_3 в образце.
20. В 20,00 мл раствора FeCl_3 железо восстановили до Fe^{2+} с помощью SnCl_2 (избыток последнего удалили действием HgCl_2) и оттитровали 19,20 мл 0,1045н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{эКВ}}=1/5$). Какая масса Fe содержалась в 100,0 мл исходного раствора?
21. Навеску пергидроля массой 2,5000 г перенесли в мерную колбу вместимостью 500,0 мл. На титрование 25,00 мл раствора израсходовали 18,72 мл 0,1н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{эКВ}}=1/5$) ($k=1.124$). Вычислить массовую долю (%) H_2O_2 в пергидроле.
22. Навеску пробы массой 0,2250 г, состоящей только из Fe и Fe_2O_3 , растворили, восстановили железо до Fe^{2+} и оттитровали 37,50 мл 0,09910н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{эКВ}}=1/5$). Вычислить массовую долю (%) Fe и Fe_2O_3 в пробе.
23. После растворения навески цемента массой 0,5020 г и отделения кремниевой кислоты железо восстановили до Fe^{2+} и оттитровали 15,41 мл

- раствора дихромата калия с $T(K_2Cr_2O_7)=0,0005000$ г/мл. Вычислить массовую долю (%) Fe_2O_3 в цементе.
24. После растворения навески оксида железа массой 0,1000 г и восстановления железа до Fe^{2+} на титрование израсходовали 12,61 мл 0,09931н. раствора $K_2Cr_2O_7$ ($f_{экв}=1/6$). Определить, какую формулу имел анализируемый оксид: FeO , Fe_2O_3 или Fe_3O_4 .
 25. Навеску технического $CuCl$ массой 0,2600 г растворили в избытке солянокислого раствора $NH_4Fe(SO_4)_2$. На титрование образовавшихся ионов Fe^{2+} израсходовали 20,18 мл 0,1200н. раствора $K_2Cr_2O_7$ ($f_{экв}=1/6$). Вычислить массовую долю (%) $CuCl$ в образце.
 26. Определить массовую долю (%) Sn в бронзе, если на титрование раствора, полученного из 0,9122 г бронзы, израсходовали 15,73 мл 0,03523н. раствора I_2 ($f_{экв}=1/2$).
 27. Серу из навески угля массой 0,1906 г превратили в SO_2 , который поглотили разбавленным раствором крахмала и оттитровали 20,45 мл 0,02088 н. раствора I_2 ($f_{экв}=1/2$). Вычислить массовую долю (%) серы в угле.
 28. Из навески известняка массой 0,1862 г, растворенной в HCl , ионы Ca^{2+} осадили в виде $Ca_2C_2O_4 \cdot H_2O$. Промытый осадок растворили в разбавленном растворе H_2SO_4 и образовавшуюся $H_2C_2O_4$ оттитровали 22,15 мл раствора перманганата калия с $T(KMnO_4/CaCO_3)=0,005820$ г/мл. Вычислить массовую долю (%) $CaCO_3$ в известняке.
 29. Кальций из раствора осадили в виде $Ca_2C_2O_4 \cdot H_2O$, осадок отфильтровали, промыли и растворили в разбавленном растворе H_2SO_4 . Образовавшуюся кислоту $H_2C_2O_4$ оттитровали 20,15 мл раствора перманганата калия с $T(KMnO_4/CaO)=0,01752$ г/мл. Какая масса кальция содержалась в растворе?
 30. Вольфрам, содержащийся в 25,00 мл раствора, восстановили до $W(III)$ с помощью гранулированного свинца. Затем к раствору прибавили избыток железоаммонийных квасцов ($W(III) + 3 Fe^{3+} = W(VI) + 3 Fe^{2+}$) и образовавшиеся ионы Fe^{2+} оттитровали 21,20 мл 0,05025н. раствора $K_2Cr_2O_7$ ($f_{экв}=1/6$) в присутствии дифениламинсульфоновой кислоты в качестве индикатора. Определить концентрацию вольфрама в растворе (мг/мл).
 31. К раствору, содержащему 0,1510 г технического $KClO_3$, прилили 100,0 мл 0,09852 н раствора $Na_2C_2O_4$ ($f_{экв}=1/2$), избыток которого оттитровали 22,60 мл 0,1146н. раствора $KMnO_4$ ($f_{экв}=1/5$). Вычислить массовую долю (%) $KClO_3$ в образце.
 32. Вычислить массовую долю (%) MnO_2 в природном пиролюзите, если образец массой 0,4000 г обработали разбавленным раствором H_2SO_4 , содержащим 0,6000 г $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ и избыток щавелевой кислоты оттитровали 23,26 мл 0,1129н. раствора $KMnO_4$ ($f_{экв}=1/5$).

33. Определить массу образца, содержащего около 65% MnO_2 , чтобы после взаимодействия с 50,00 мл 0,1н. $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ($f_{\text{эКВ}}=1/2$) избыток ее оттитровывался 25,00 мл раствора KMnO_4 (1,00 мл раствора KMnO_4 эквивалентен 1,05 мл раствора $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$).
34. К раствору KClO_3 добавили 50,00 мл 0,1048 М FeSO_4 , избыток которого оттитровали 20,00 мл 0,09450 н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{эКВ}}=1/5$). Какая масса KClO_3 содержалась в растворе?
35. Какая масса кальция содержалась в 250,0 мл раствора CaCl_2 , если после прибавления к 25,00 мл его 40,00 мл 0,1000н. $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ ($f_{\text{эКВ}}=1/2$) и отделения образовавшегося осадка $\text{Ca}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ на титрование избытка $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ израсходовали 15,00 мл 0,02000н. раствора KMnO_4 ($f_{\text{эКВ}}=1/5$)?
36. После растворения навески стали массой 1,243 г хром окислили до $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. К полученному раствору прибавили 35,00 мл раствора соли Мора и избыток Fe^{2+} оттитровали 16,12 мл раствора KMnO_4 . Вычислить массовую долю (%) Cr в стали, если $T(\text{KMnO}_4)=0,001510$, а 25,00 мл раствора соли Мора эквивалентны 24,10 мл раствора KMnO_4 .
37. К навеске технического сульфита натрия массой 0,4680 г прибавили 100,0 мл 0,1000н. раствора I_2 ($f_{\text{эКВ}}=1/2$). Избыток иода оттитровали 42,40 мл раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ с $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{Cu})=0,006215$. Вычислить массовую долю (%) Na_2SO_3 в образце.
38. К 25,00 мл раствора H_2S прибавили 50,00 мл 0,01960н. раствора I_2 ($f_{\text{эКВ}}=1/2$). Избыток иода оттитровали 11,00 мл 0,02040 М раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Вычислить концентрацию H_2S в растворе (г/л).
39. Для определения содержания формальдегида НСОН навеску технического препарата массой 0,2879 г растворили в воде, добавили NaOH и 50,00 мл 0,01004н. раствора I_2 ($f_{\text{эКВ}}=1/2$):



После подкисления раствора на титрование избытка йода пошло 15,20 мл раствора тиосульфата натрия с $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)=0,001600$ г/мл. Вычислить массовую долю (%) формальдегида в препарате.

40. К 25,00 мл раствора солянокислого гидроксилamina прибавили 25,00 мл 0,1н. раствора KBrO_3 ($f_{\text{эКВ}}=1/6$) ($k=0,9876$):



Избыток бромата оттитровали иодометрически, затратив 15,00 мл раствора тиосульфата натрия с $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)=0,01634$ г/мл. Определить концентрацию раствора гидроксилamina NH_2OH .

41. Для определения хрома (III) в присутствии ионов CrO_4^{2-} к 20,00 мл раствора прибавили 50,00 мл 0,1032 н. раствора NaBrO ($f_{\text{эКВ}}=1/2$) и некоторое количество концентрированного раствора NaOH , а избыток ги-

- побромита натрия оттитровали 21,45 мл 0,1014н. раствора H_2O_2 ($f_{\text{эKB}}=1/2$). Определить концентрацию Cr^{3+} (г/л) в анализируемом растворе?
42. Вычислить массовую долю (%) меди в руде, если из навески руды массой 0,6215 г медь перевели в раствор в виде Cu^{2+} , добавили к этому раствору KI и на титрование выделившегося иода израсходовали 18,23 мл раствора тиосульфата натрия с $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/\text{Cu})=0,006208$.
 43. Раствор H_2O_2 приготовили разбавлением до 250,0 мл 25,00 мл раствора пероксида водорода с массовой долей 3%. Какой объем полученного раствора следует взять, чтобы на его титрование после обработки HCl и KI израсходовать 25,00 мл 0,1500 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$?
 44. К раствору $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ добавили избыток KI и H_2SO_4 ; выделившийся иод оттитровали 48,80 мл 0,1000 М раствора $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Какая масса $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ содержалась в растворе?
 45. Какой объем хлорной воды, содержащей около 2% хлора, следует взять, чтобы на ее иодометрическое титрование израсходовать около 20 мл раствора тиосульфата натрия с $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})=0,02453$?
 46. В мерную колбу вместимостью 250,0 мл поместили навеску белильной извести массой 3,3590 г и добавили дистиллированной воды до метки. На иодометрическое титрование 25,00 мл полученного раствора потребовалось 18,29 мл раствора тиосульфата натрия с $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})=0,02453$. Вычислить массовую долю (%) активного хлора в белильной извести.
 47. Навеску руды, содержащей MnO_2 , массой 0,1000 г обработали концентрированным раствором HCl . Образовавшийся хлор отогнали и поглотили раствором KI . Выделившийся иод оттитровали 21,25 мл 0,05200 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Вычислить массовую долю (%) MnO_2 в руде.
 48. Из 25,00 мл раствора свинец осадил в виде PbCrO_4 , осадок отфильтровали, промыли, растворили в кислоте и добавили избыток KI . На титрование выделившегося иода израсходовали 21,50 мл 0,1010 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Вычислить концентрацию свинца в растворе (моль/л).
 49. При определении Na_2SO_4 в растворе методом иодометрии ионы SO_4^{2-} путем ряда превращений заменили эквивалентным количеством ионов CrO_4^{2-} . Раствор подкислили, прибавили KI и выделившийся иод оттитровали 20,40 мл 0,01980 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Какая масса Na_2SO_4 содержалась в растворе?
 50. На титрование иода, выделенного из 20,00 мл раствора HCl избытком смеси KIO_3 и KI , израсходовали 18,25 мл 0,02 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ($k=0,9825$). Написать уравнение реакции между HCl и иодид-иодатным раствором. Вычислить, какая масса HCl содержалась в 200,0 мл анализируемого раствора.

Часть 2
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

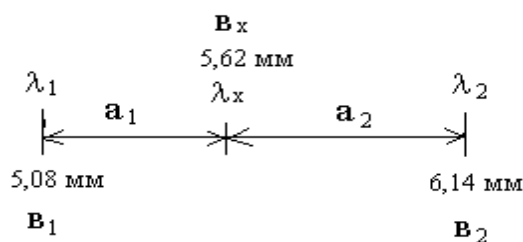
Глава 6

ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Решение типовых задач

Пример 1. Для определения длины волны неизвестной линии спектра (λ_x) были выбраны две линии из спектра железа. С известными длинами волн $\lambda_1 = 3737,1$ и $\lambda_2 = 3745,6$. Отсчеты по измерительной шкале прибора (микроскопа) для этих линий были равны соответственно $S_1 = 5,18$ и $S_2 = 6,24$. Определить длину волны неизвестной линии, если отсчет по шкале прибора для нее равен $v_x = 5,62$.

Решение.



$$\lambda_x = \lambda_1 + \frac{a_1}{a_1 + a_2} (\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$a_1 = v_x - v_1 = (5,62 - 5,08) = 0,54 \text{ мм}$$

$$a_2 = v_2 - v_x = (6,14 - 5,62) = 0,52 \text{ мм}$$

$$\lambda_x = 3737,1 + \frac{0,54}{0,54 + 0,52} \cdot (3745,6 - 3737,1) = 3741,4.$$

Пример 2. Определение содержания марганца в стали по методу 3-х эталонов были измерены почернения линий гомологической пары $\lambda_{Fe} =$

2936,90 Å $\lambda_{Mn} = 2933,06$ Å. Определить массовую долю марганца в стали.

ω_{Mn} %	0,33	0,89	3,03	ω_x
S_{Fe}	1,33	1,24	1,14	1,08
S_{Mn}	0,95	1,06	1,20	0,96

Решение.

$$\Delta S = (S_{Mn} - S_{Fe})$$

$$\Delta S_1 = 0,95 - 1,33 = - 0,38$$

$$\Delta S_2 = 1,06 - 1,24 = - 0,18$$

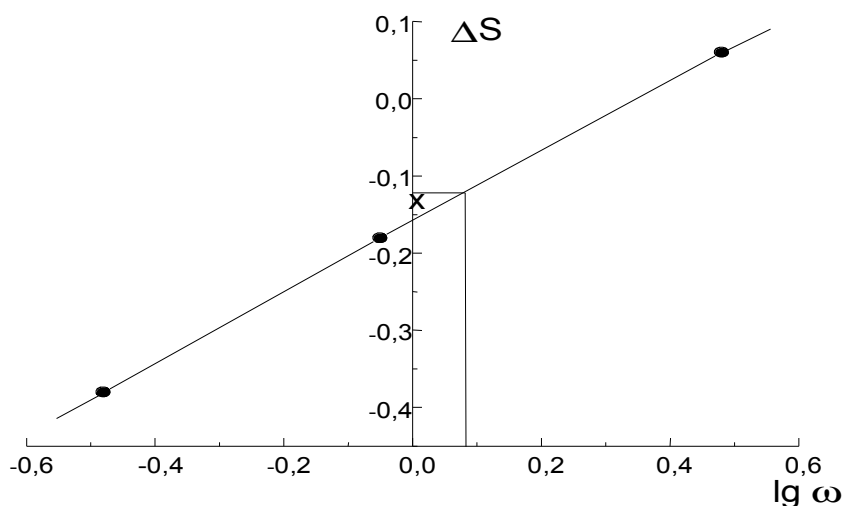
$$\Delta S_3 = 1,20 - 1,14 = 0,06$$

$$\Delta S_x = 0,96 - 1,08 = - 0,12$$

$$\lg \omega_1 = \lg 0,33 = - 0,48$$

$$\lg \omega_2 = \lg 0,89 = - 0,051$$

$$\lg \omega_3 = \lg 3,03 = 0,48$$



Находим $\lg \omega_x$ из графика:

$$\lg \omega_x = 0,085 \quad \omega_x = 1,21 \%$$

Пример 3. В спектре рядового цветного сплава для определения основы была выбрана достаточно интенсивная линия и определена ее длина волны $\lambda_x = 2824,65$ Å. Определить, какому элементу может принадлежать выбранная линия.

Решение. При определении длины волны делается ошибка до $\pm 0,5$ Å. Поэтому взятая линия может иметь длину волны в пределах 2824,15 – 2825,15 Å.

Из таблиц спектральных линий выписываем элементы, линии которых укладываются в данные пределы:

Элемент	$\lambda, \text{ \AA}$	Интенсивность	
		в дуге	в искре
Hg	2824,99	3	3
Ir	2824,44	6	4
Ag	2824,40	6	1
Cu	2824,37	10	5

Исследуемая спектральная линия может принадлежать одному из четырех элементов. Чтобы сделать выбор, необходимо учесть характер сплава и интенсивность линии.

При определении основы общих сплавов из списка возможных элементов исключают, как правило, инертные газы, актиноиды и лантаноиды, редкие и платиновые элементы и др. Так как по условию задачи анализируется обычный цветной сплав, а выбранная линия имеет значительную интенсивность, самым вероятным элементом, которому может принадлежать исследуемая линия, является Cu. Естественно предположить, что и основу сплава составляет медь. Однако окончательное суждение об основе сплава можно сделать лишь после того, как будет исследовано еще несколько линий, и все они (или большинство из них) окажутся соответствующими меди.

Пример 4. При анализе алюминиевого сплава на кремний по методу одного эталона были получены следующие данные:

	Эталон	Анализируемый образец
$\omega_{\text{Si}}, \%$	0,95	?
$S_{\text{Si}} (\lambda = 2516,1 \text{ \AA})$	1,09	0,86
$S_{\text{Al}} (\lambda = 2816,1 \text{ \AA})$	0,37	0,34

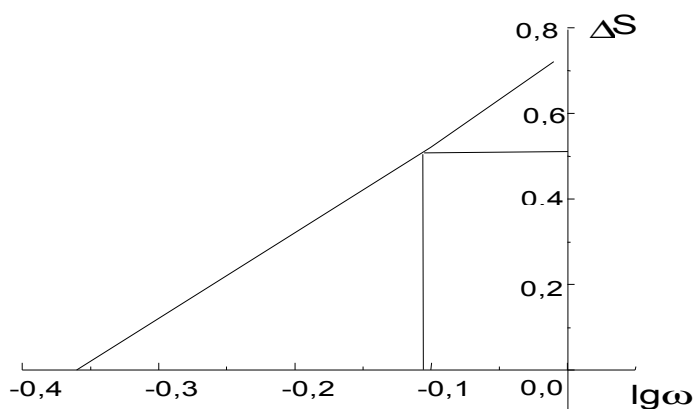
Определить массовую долю кремния в образце, если известно, что $\Delta S = 0$ при $\omega_{\text{Si}} = 0,45 \%$.

Решение. В методе одного эталона градуировочный график в координатах $\Delta S - \lg \omega$ строим по двум точкам, одна из которых дана заранее: $\Delta S = 0$ при $\lg \omega_1 = \lg 0,45 = -0,35$

По данным фотометрирования находим координаты второй точки и строим градуировочный график.

$$\Delta S_2 = S_{\text{Si}} - S_{\text{Al}} = 1,09 - 0,37 = 0,72; \quad \lg \omega_2 = \lg 0,95 = -0,02$$

Определяем ΔS для анализируемого образца $\Delta S_x = 0,86 - 0,34 = 0,52$ и по графику находим соответствующее значение $\lg \omega_x$. $\lg \omega_x = -0,11$ и $\omega_x = 0,78\%$.



ЗАДАЧИ

Качественный спектральный анализ

- Для определения длины волны неизвестной линии в спектре анализируемого образца были выбраны две линии в спектре железа с длинами волн λ_1 и λ_2 . Отсчеты по шкале измерительного микроскопа для этих линий были равны соответственно v_1 и v_2 . Определить длину волны неизвестной линии, если отсчет по шкале для нее равен v_x .

Вариант	Длина волны выбранных линий железа λ_{Fe}		Отсчеты по шкале микроскопа		
	λ_1	λ_2	v_1	v_2	v_x
1.	2793,88	2824,15	3,01	5,04	4,99
2.	3254,36	3280,26	3,18	3,26	3,04
3.	2350,03	2382,04	3,87	4,05	4,01
4.	4251,17	4302,12	1,81	2,08	1,78
5.	4631,20	4654,11	3,02	3,17	3,08
6.	3737,13	3745,56	5,08	6,14	5,62
7.	3608,85	3618,77	2,06	3,18	3,06
8.	4863,70	4871,30	13,36	15,23	14,17
9.	2483,27	2490,64	8,22	9,48	8,76
10.	3254,36	3280,26	9,12	10,49	10,13

2. Для определения длины волны λ_x неизвестной линии в спектре анализируемого образца были выбраны две линии в спектре железа с длинами волн λ_1 и λ_2 . Измерения на микроскопе показали, что расстояние между λ_x и λ_1 равно a_1 , между λ_2 и λ_1 равно a_2 . Определить длину волны неизвестной линии.

Варианты	Длины волн выбранных линий железа, λ		Расстояние между линиями, (мм)	
	λ_1	λ_2	$a_1 = \lambda_x - \lambda_1$	$a_2 = \lambda_2 - \lambda_x$
1	2	3	4	5
1.	2474,76	2478,57	2,22	2,89
2.	3083,75	3091,58	0,25	1,88
3.	3495,30	3506,50	0,27	0,26
4.	4863,70	4871,30	12,30	1,90
5.	2823,28	2825,56	0,10	0,13

Таблица 1

Элемент	Длина волны спектральной линии	Элемент	Длина волны спектральной линии
Al	3961,62	Mo	3864,11
Ni	3414,53	Cr	4274,80
Ti	4981,75	W	4302,12
Sn	3175,16	Al	3944,03
V	4379,52	Sn	2839,99
Pb	3283,47	Cu	2961,17
Co	4057,78	Mg	2852,17
Fe	3719,94	Zn	2795,50

3. В спектре цветного сплава для определения основы выбрана достаточно интенсивная линия и была определена длина ее волны λ_x (см. табл.1). Установить, какому элементу может принадлежать выбранная линия.

Варианты	1	2	3	4	5	6
λ_x	3961,62	3414,53	4981,75	3175,16	4379,52	4057,78

4. При качественном анализе цветного сплава было исследовано несколько участков спектра этого сплава. Наиболее интенсивные линии были затем идентифицированы (см. табл.1). Указать какой элемент может составлять основу сплава.

Интенсивность		Интенсивность		Интенсивность		Интенсивность	
Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3		Вариант 4	
2138,5 (8)	Zn	2612,3 (3)	Sb	2532,4 (3)	Si	2628,2 (2)	Pb
3261,1 (1)	Cd	2613,7 (6)	Pb	2563,0 (6)	Al	2630,0 (5)	Cu
3262,0 (3)	Sn	2652,6 (3)	Sb	3631,3 (5)	Si	2661,2 (3)	Sn
3282,0 (3)	Zn	2663,2 (5)	Pb	2669,5 (5)	Al	2766,4 (4)	Cu
3302,9 (4)	Zn	2684,2 (3)	Zn	2733,6 (3)	Mg	2813,6 (5)	Sn
3345,1 (6)	Zn	2766,4 (4)	Cu	2790,8 (4)	Mg	2824,4 (6)	Cu
3405,7 (4)	Co	2802,0 (6)	Pb	3082,2 (8)	Al	2851,1 (3)	Sb

5. В сплаве могут присутствовать только элементы, указанные в таблице. При анализе спектров на ПС-18 были обнаружены следующие последние линии (см. табл.1). На присутствие каких элементов в каждом сплаве указывают результаты анализа?

Номер сплава	Возможно присутствие элементов	Обнаруженные последние линии (в скобках указана интенсивность линий по 10-бальной системе)
1	Fe, Ni, Mo	2382,04 (1); 3719,94 (7); 3864,11 (5);
2	Fe, W, Cr	4302,12 (1); 3719,94 (7);
3	Al, Cr, Co	3944,03 (8); 4274,80 (8); 3405,12 (1,5);
4	Al, Mn, Fe	3961,53 (10); 3719,94 (7); 3944,03 (8);
5	Al, Cu, Zn	4722,16 (4); 3944,03 (8); 2961,17 (3);
6	Mg, Al, Zn	2852,13 (10); 2795,50 (10); 3345,02 (3);
7	Cu, Zn, Pb	3683,47 (3); 2961,17 (4); 2824,37 (3);
8	Cu, Pb, Sn	3247,54 (10); 2839,99 (3); 3034,12 (1,5);
9	Sn, Cu, Sb	2863,32 (3); 3262,33 (3); 2528,54 (2);
10	Sn, Cu, Pb	2203,51 (10); 2833,07 (5); 3683,47 (0,5)

Количественный анализ

6. При определении содержания марганца в стали по методу трех эталонов было измерено почернение линий гомологической пары $\lambda_{\text{Fe}}=2936,90 \text{ \AA}$; $\lambda_{\text{Mn}} = 2933,06 \text{ \AA}$. Определить массовую долю марганца по следующим данным:

Вариант	Параметры	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Исследуемый образец
1	$\omega_{\text{Mn}}, \%$	0,33	0,89	3,03	?
	S_{Fe}	1,33	1,24	1,14	1,08
	S_{Mn}	0,95	1,06	1,20	0,96
2	$\omega_{\text{Mn}}, \%$	0,10	0,38	1,90	?
	S_{Fe}	0,98	0,94	0,99	0,75
	S_{Mn}	0,71	0,90	1,24	0,61
3	$\omega_{\text{Mn}}, \%$	0,05	0,21	0,30	?
	S_{Fe}	0,72	0,74	0,78	0,73
	S_{Mn}	0,53	0,90	1,03	0,91

7. Определить массовую долю марганца в стали, если при фотометрировании по методу 3-х эталонов были получены следующие данные:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{\text{Mn}}, \%$	1,20	0,94	0,48	?
ΔS	0,47	0,39	0,17	0,30

8. Определить массовую долю хрома в стали, если при фотометрировании по методу 3-х эталонов были получены следующие данные:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{\text{Cr}}, \%$	0,93	1,97	2,34	?
ΔS	0,23	0,60	0,71	0,44

9. Определить массовую долю никеля в стали, если при фотометрировании по методу 3-х эталонов были получены следующие данные:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{\text{Ni}}, \%$	0,56	1,42	1,97	?
ΔS	0,054	0,44	0,60	0,23

10. Определить массовую долю хрома в стали, если при фотометрировании по методу 3-х эталонов были получены следующие результаты:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Cr}, \%$	0,50	1,23	4,17	?
S_{Cr}	0,07	0,29	0,86	0,73
S_{Fe}	0,27	0,15	0,27	0,33

11. Определить массовую долю никеля в стали, если при фотометрировании по методу 3-х эталонов были получены следующие результаты:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Ni}, \%$	1,86	3,80	10,23	?
S_{Ni}	0,082	0,316	0,647	0,287
S_{Cr}	0,062	0,066	0,047	0,067

12. При анализе стали на никель по методу 3-х эталонов было измерено почернение (S) линий гомологической пары (λ_{Ni} 3719,94 и λ_{Fe} 3723,60) в спектрах эталонов и в исследуемом спектре. Найти массовую долю никеля в стали по следующим данным:

I вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Ni}, \%$	0,63	1,58	3,98	?
S_{Ni}	0,15	0,46	0,83	0,54
S_{Fe}	0,27	0,23	0,27	0,24

II вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Ni}, \%$	0,4	1	2,51	?
S_{Ni}	0,23	0,31	0,68	0,61
S_{Fe}	0,52	0,24	0,28	0,25

III вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Ni}, \%$	0,5	1,99	5,01	?
S_{Ni}	0,03	0,62	1,04	0,72
S_{Fe}	0,29	0,30	0,32	0,31

13. Определить массовую долю ванадия в сплаве, если при фотометрировании получены следующие данные:

Вариант	Параметры	Эталоны			Исследуемый образец
		I	II	III	
I	$\omega_V, \%$	0,28	0,794	4,07	-
	S_{Fe}	0,72	0,74	0,77	0,79
	S_V	0,04	0,56	1,38	1,19
II	$\omega_V, \%$	0,32	1,26	5,01	-
	S_{Fe}	0,74	0,76	0,80	0,81
	S_V	0,12	0,80	1,50	1,07
III	$\omega_V, \%$	0,50	1,55	6,31	-
	S_{Fe}	0,73	0,75	0,72	0,76
	S_V	0,33	1,01	1,53	1,18
IV	$\omega_V, \%$	0,4	1,77	7,94	-
	S_{Fe}	0,79	0,80	0,83	0,81
	S_V	0,28	1,00	1,75	1,41
V	$\omega_V, \%$	0,44	2,0	4,07	-
	S_{Fe}	0,79	0,81	0,81	0,80
	S_V	1,19	1,07	1,41	1,30

14. Определить массовую долю молибдена в сплаве, если при фотометрировании получены следующие данные:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Mo}, \%$	0,63	2,0	6,31	-
ΔS	- 0,1	0,4	0,9	0,5

15. Определить массовую долю углерода в сплаве, если при фотометрировании получены следующие данные:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_C, \%$	0,282	1,26	2,82	-
ΔS	- 0,45	0,20	0,55	0,35

16. Определить массовую долю мышьяка в стали, если при фотометрировании получили следующие данные:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{As}, \%$	0,155	0,356	0,708	-
ΔS	- 0,71	- 0,35	- 0,05	- 0,55

17. Определить массовую долю свинца в оловянном сплаве, если при фотометрировании получили следующие данные:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Pb}, \%$	0,50	1,58	5,01	-
ΔS	- 0,40	0,10	0,60	0,2

18. Определить массовую долю меди в золоте, если при фотометрировании получили следующие данные:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Cu}, \%$	0,282	0,794	3,55	-
ΔS	- 0,65	- 0,20	0,45	0,35

19. Определить массовую долю вольфрама в анализируемом образце, если при фотометрировании получили следующие данные:

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_W, \%$	0,55	1,41	4,47	-
ΔS	- 0,45	0,05	0,55	0,45

20. Определить массовую долю марганца в стали, если при фотометрировании получили следующие данные:

I вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Mn}, \%$	0,79	1,59	3,16	-
S_{Mn}	0,25	0,57	0,90	0,68
S_{Fe}	0,45	0,47	0,50	0,48

II вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Mn}, \%$	0,71	1,78	3,98	-
S_{Mn}	0,26	0,68	1,07	0,32
S_{Fe}	0,51	0,53	0,57	0,52

III вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Mn}, \%$	0,50	1,25	5,01	-
S_{Mn}	0,24	0,60	1,27	1,14
S_{Fe}	0,64	0,60	0,67	0,64

IV вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Mn}, \%$	0,63	2,24	6,31	-
S_{Mn}	0,40	0,99	1,48	1,25
S_{Fe}	0,70	0,74	0,78	0,75

21. Определить массовую долю кремния в образце, если при фотометрировании сплава получили следующие результаты:

I вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Si}, \%$	0,16	0,32	0,79	-
S_{Si}	0,22	0,43	0,82	0,72
S_{Fe}	0,67	0,63	0,69	0,67

II вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Si}, \%$	0,18	0,49	1,25	-
S_{Si}	0,43	0,83	1,18	1,10
S_{Fe}	0,84	0,87	0,89	0,85

III вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Si}, \%$	0,24	0,55	1,59	-
S_{Si}	0,40	0,74	1,16	0,97
S_{Fe}	0,70	0,74	0,79	0,80

IV вариант

	1-й эталон	2-й эталон	3-й эталон	Анализируемый образец
$\omega_{Si}, \%$	0,4	1,26	3,98	-
S_{Si}	0,63	1,11	1,47	1,46
S_{Fe}	0,75	0,78	0,77	0,76

Метод одного эталона

22. При определении кадмия в кремнии $\Delta S = 0$ соответствовала $\omega_0 = 1,05 \%$, а для эталона с массовой долей $\omega_1 = 5,62 \%$ $\Delta S_1 = 0,54$. Построить градуировочный график и определить массовую долю кадмия в исследуемом образце, если $\Delta S_x = 0,25$.
23. При определении кальция в магнии $\Delta S_0 = 0$ соответствовала $\omega_0 = 1,41 \%$, а для эталона с массовой долей $\omega_1 = 4,47 \%$ $\Delta S_1 = 0,36$. Построить градуировочный график и определить массовую долю кальция в исследуемом образце, если $\Delta S_x = 0,29$.
24. Определить массовую долю калия в алюминии, если $\Delta S = 0$ соответствовала $\omega_0 = 0,015 \%$, а для массовой доли $\omega_1 = 0,15 \%$ $\Delta S = 0,75$. Построить градуировочный график и определить массовую долю калия в образце, если $\Delta S_x = 0,21$.
25. При определении натрия в кремниевом сплаве $\Delta S_0 = 0$ соответствовала массовой доле ω_0 , а для эталона с массовой долей ω_1 получено ΔS_1 . Построить градуировочный график и определить массовую долю кремния в исследуемом образце, если получено:

Варианты	$\omega_0 \%$	$\omega_1 \%$	ΔS_1	ΔS_x
1	0,126	0,25	0,51	0,30
2	0,145	0,32	0,69	0,35
3	0,164	0,36	0,57	0,24
4	0,188	0,40	0,56	0,10
5	0,216	0,40	0,46	0,37

26. При определении марганца в бронзе $\Delta S = 0$ соответствовала массовой доле $\omega_0 = 1,77 \%$, а для эталона с массовой долей $\omega_1 = 0,83 \%$ $\Delta S_1 = 0,54$. Построить градуировочный график и определить массовую долю марганца в исследуемом образце, если $\Delta S_x = 0,33$.
27. При определении олова в бронзе $\Delta S = 0$ соответствовала массовой доле $\omega_0 = 10,2 \%$, а для эталона с массовой долей $\omega_1 = 5,2 \%$ $\Delta S_1 = 0,52$. Построить градуировочный график и определить массовую долю олова в исследуемом образце, если $\Delta S_x = 0,28$.
28. При определении магния в алюминиевом сплаве $\Delta S = 0$ соответствовала массовой доле $\omega_0 = 0,57 \%$, а для эталона с массовой долей $\omega_1 = 0,97 \%$ $\Delta S_1 = - 0,27$. Построить градуировочный график и определить массовую долю магния в исследуемом образце, если $\Delta S_x = - 0,19$.
29. При определении железа в алюминиевом сплаве $\Delta S = 0$ соответствовала массовой доле $\omega_0 = 0,23 \%$, а для эталона с массовой долей $\omega_1 = 0,54$

%, $\Delta S_1 = 0,60$. Построить градуировочный график и определить массовую долю железа в исследуемом образце, если $\Delta S_x = 0,32$.

30. При определении кремния в алюминиевом сплаве $\Delta S = 0$ соответствовала массовой доле $\omega_0 = 1,70$ %, а для эталона с массовой долей $\omega_1 = 0,72$ %, $\Delta S_1 = - 0,48$. Построить градуировочный график и определить массовую долю кремния в исследуемом образце, если $\Delta S_x = - 0,24$.

31. При определении марганца в алюминиевом сплаве $\Delta S = 0$ соответствовала массовой доле ω_0 , а для эталона с концентрацией ω_1 получено ΔS_1 . Построить градуировочный график и определить массовую долю марганца в исследуемом образце, если получено:

Варианты	ω_0 , %	ω_1 , %	ΔS_1	ΔS_x
1	0,14	0,22	0,26	0,14
2	0,37	0,19	0,44	0,25
3	0,42	0,66	0,39	0,25
4	0,56	0,29	0,66	0,34
5	1,40	2,20	0,52	0,27

Метод постоянного графика

32. Для построения градуировочного графика при определении олова в бронзе были получены следующие результаты:

ω_{Sn} , %	6,23	8,02	9,34	11,63
ΔS	0,690	0,772	0,831	0,910

Фотометрирование спектра, снятого через 3-х ступенчатый ослабитель, показало, что для двух ступеней линии Sn $\Delta S_{стун} = 1,055$. При фотометрировании спектра образца бронзы, сфотографированного на другой пластинке, для двух ступеней той же линии Sn получено $\Delta S'_{стун}$ (см. табл.), а для аналитической пары Sn – Cu в спектре образца на той же пластинке $\Delta S'_x$.

Определить массовую долю олова в образцах:

Номер образца	1	2	3	4	5
$\Delta S'_{стун}$	0,930	0,920	0,890	0,900	0,910
$\Delta S'_x$	0,635	0,663	0,746	0,725	0,694

33. Для построения градуировочного графика при определении никеля в бронзе были получены следующие результаты:

$\omega_{Ni}, \%$	3,003	3,42	3,84	4,24
ΔS	0,580	0,662	0,740	0,821

Для двух линий меди на основной пластинке $\Delta S_{осн.} = 0,828$. При фотометрировании спектра образца бронзы для той же пары линий меди получено $\Delta S'_{осн.}$, а для аналитической пары Ni – Cu в спектре образца на той же пластинке $\Delta S'_x$.

Определить массовую долю никеля в образцах:

Номер образца	1	2	3	4	5
$\Delta S'_{осн.}$	0,765	0,828	0,822	0,804	0,790
$\Delta S'$	0,566	0,708	0,764	0,820	0,538

Фотометрия пламени

34. Навеску стекла 0,1000 г растворили в смеси H_2SO_4 и HF раствор выпарили, остаток смочили HCl и перенесли в мерную колбу на 250 мл. Полученный раствор фотометрировали в пламени так же, как и стандартные растворы, приготовленные из NaCl. Данные фотометрирования приведены в таблице.

($I_{отн}$ – относительная интенсивность излучения)

	Стандартные растворы			Образцы		
	1	2	3	1	2	3
$\omega_{Na}, \text{мг/л}$	10,0	20,0	30,0	?	?	?
$I_{отн}$	16,0	31,5	47,5	24,0	35,0	42,5

Построить градуировочный график и определить массовую долю натрия в образце.

35. Навеску удобрения 2,0000 г обработали при кипячении насыщенным раствором оксалата аммония; после охлаждения раствор разбавили в мерной колбе на 500 мл и профильтровали. Аликвоту фильтрата 5,00 мл разбавили до 250,0 мл. Полученный раствор фотометрировали в пламени так же, как и стандартные растворы, приготовленные из KCl. Данные фотометрирования приведены в таблице:

	Стандартные растворы			Образцы		
	1	2	3	1	2	3
$C_K, \text{мг/л}$	5,0	10,0	15,0	?	?	?
$I_{отн}$	8,0	15,0	24,2	142,7	18,4	20,8

Построить градуировочный график и определить массовую долю кальция в удобрении.

36. Порцию исследуемой воды объемом 25,00 мл разбавили дистиллированной водой в мерной колбе на 500,0 мл и фотометрировали в пламени так же, как и стандартные растворы, приготовленные из CaCO_3 . Результаты фотометрирования приведены в таблице:

	Стандартные растворы				Образцы		
	1	2	3	4	1	2	3
C_{Ca} , мг/л	10,0	30,0	50,0	70,0	?	?	?
$I_{\text{отн}}$	16,0	47,6	80,2	111,0	32,0	76,9	101,8

Построить градуировочный график и определить концентрацию кальция (мг/л) в исследуемой воде.

Глава 7

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА

Решение типовых задач

Пример 1. Рассчитать минимально определяемую массу (мг) железа (III) по реакции с сульфосалициловой кислотой в аммиачной среде. Условия определения: кювета с толщиной слоя $l = 5$ см, объем окрашенного раствора V равен 5 мл, коэффициент молярного поглощения равен 4000; минимальная оптическая плотность, измеряемая прибором, составляет 0,01.

Решение. Минимально определяемую концентрацию C_{\min} можно определить из уравнения:

$$C_{\min} = \frac{A_{\min}}{\epsilon l},$$

подставив в него данные из условия задачи:

$$C_{\min} = \frac{0,01}{4000 \cdot 5} = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Минимальную навеску железа находят по уравнению:

$$m = \frac{C \cdot V}{1000} M, \quad \text{где}$$

C – минимальная концентрация сульфосалицилатного комплекса железа, моль/л;

V – объем окрашенного раствора, мл;

M – молярная масса определяемого вещества, г/моль.

$$m(\text{Fe}^{3+}) = \frac{5,0 \cdot 10^{-7} \cdot 5}{1000} \cdot 55,85 = 1,396 \cdot 10^{-7} \text{ г} = 1,396 \cdot 10^{-4} \text{ мг.}$$

Пример 2. Содержание Ti в образце стали определяли по светопоглощению его комплекса с H_2O_2 . Для маскировки железа добавили H_3PO_4 . После растворения 0,2500 г стали раствор разбавили до 100,0 мл. В три колбы вместимостью 50,0 мл поместили по 25,0 мл этого раствора и добавили: в первую колбу стандартный раствор, содержащий 0,50 мг Ti , раство-

ры H_2O_2 и H_3PO_4 , во вторую – растворы H_2O_2 и H_3PO_4 , в третью – раствор H_3PO_4 (нулевой раствор). Растворы довели до метки и фотометрировали два первых раствора относительно третьего. Получили значения оптической плотности:

$$A_{x+ст} = 0,650, \quad A_x = 0,250.$$

Рассчитать массовую долю (%) титана в стали.

Решение. В решении задачи будет использован метод добавок.

Находим концентрацию титана, добавленного в первую колбу со стандартным раствором:

$$C_{ст} = \frac{0,50}{50,0} = 1,00 \cdot 10^{-2} \text{ мг/мл},$$

где 0,50 – масса добавленного титана, мг;

50,0 – объем раствора, мл.

Вычисляем концентрацию титана в исследуемом растворе (колба № 1) по формуле:

$$C_x = C_{ст} \frac{A_x}{A_{x+ст} - A_x}; \quad C_x = 1,00 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{0,250}{0,650 - 0,250} = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ мг/мл}.$$

Определяем массу титана во взятой навеске:

$$m = \frac{6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 50,0 \cdot 100,0}{25,0} = 1,25 \text{ мг} = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ г}$$

и рассчитываем массовую долю (%):

$$\omega(\text{Ti}) = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{0,2500} = 0,50 \% \text{ Ti}.$$

Пример 3. После соответствующей обработки навески стали массой 0,2000 г получили 100,0 мл раствора, содержащего ионы MnO_4^- и $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, и измерили оптическую плотность этого раствора при светофильтрах $\lambda_1 = 540 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 440 \text{ нм}$. Для построения градуировочных графиков в мерные колбы вместимостью 100,0 мл поместили 10,0; 15,0; 20,0 мл стандартного раствора перманганата ($T(\text{Mn}) = 0,00005494 \text{ г/мл}$ или дихромата $T(\text{Cr}) =$

0,001041 г/мл) и разбавленные до метки растворы фотометрировали при тех же светофильтрах.

Рассчитать массовую долю (%) марганца и хрома в стали по следующим данным:

Параметр	Стандартные растворы						Исследуемый раствор
	KMnO ₄			K ₂ Cr ₂ O ₇			
V, мл	10,0	15,0	20,0	10,0	15,0	20,0	
A ₅₄₀	0,23	0,33	0,48	0	0	0	0,28
A ₄₄₀	0,09	0,12	0,17	0,47	0,73	0,97	0,70

Решение. Как показывают данные, при 540 нм свет поглощает только KMnO₄, а при 440 нм – как KMnO₄, так и K₂Cr₂O₇. Поэтому можно воспользоваться графическим способом решения.

Рассчитываем концентрации стандартных растворов после разбавления:

$$C_1 (\text{Mn}) = \frac{T_{\text{Mn}} \cdot V_1}{100} = \frac{0,00005494 \cdot 10,0}{100,0} = 5,49 \cdot 10^{-6} \text{ г/мл};$$

$$C_2 (\text{Mn}) = \frac{0,00005494 \cdot 15,0}{100,0} = 8,23 \cdot 10^{-6} \text{ г Mn/мл};$$

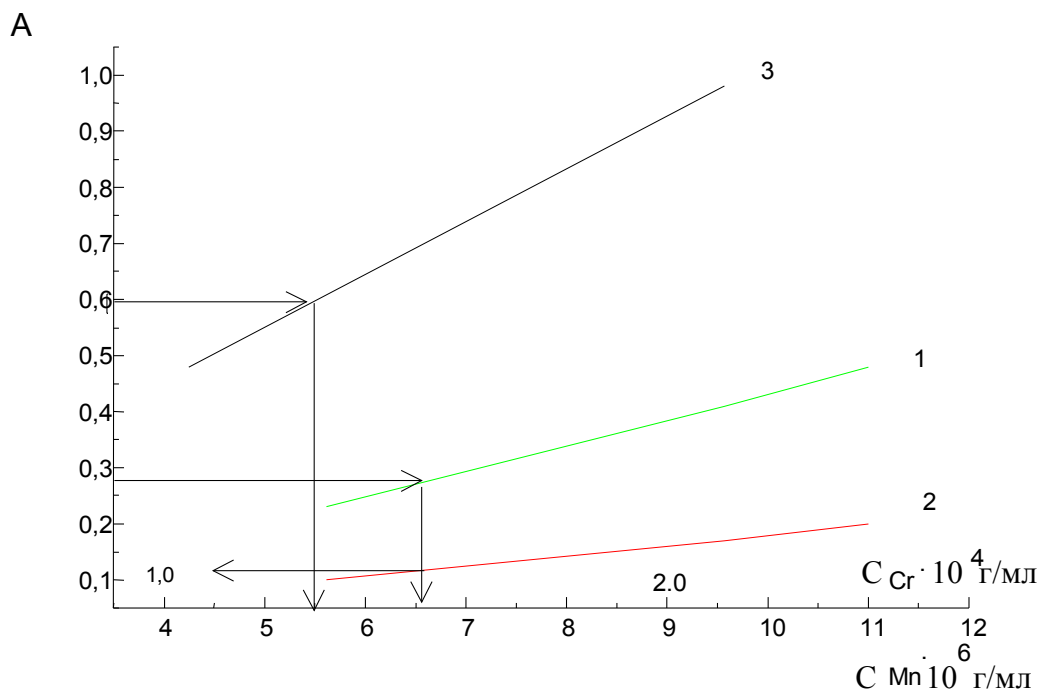
$$C_3 (\text{Mn}) = \frac{0,00005494 \cdot 20,0}{100,0} = 10,98 \cdot 10^{-6} \text{ г/мл};$$

$$C_1 (\text{Cr}) = \frac{0,001041 \cdot 10,0}{100,0} = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ г/мл};$$

$$C_2 (\text{Cr}) = \frac{0,001041 \cdot 15,0}{100,0} = 1,56 \cdot 10^{-4} \text{ г/мл};$$

$$C_3 (\text{Cr}) = \frac{0,001041 \cdot 20,0}{100,0} = 2,08 \cdot 10^{-4} \text{ г/мл};$$

Строим градуировочные графики в координатах А – С, используя данные по светопоглощению перманганата при 540 нм (1) и 440 нм (2) и дихромата – при 440 нм (3).



Так как при 540 нм $A_{540}(\text{смеси}) = A_{540}(\text{KMnO}_4)$, то по градуировочному графику (1) находим: $C(\text{Mn}) = 6,6 \cdot 10^{-6}$ г/мл. Массовая доля (%) марганца в стали равна:

$$\omega(\text{Mn}) = \frac{6,6 \cdot 10^{-6} \cdot 100,0 \cdot 100}{0,2000} = 0,33 \%$$

При 440 нм $A_{440}(\text{смеси}) = A_{440}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) + A_{440}(\text{KMnO}_4)$. По градуировочному графику (2) находим А (KMnO₄) при 440 нм, используя ранее найденное значение $C(\text{Mn}) = 6,6 \cdot 10^{-6}$ г/мл: вклад KMnO₄ в суммарную оптическую плотность раствора при 440 нм составляет 0,11. Вычисляем $A_{440}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = A_{440}(\text{смеси}) - A_{440}(\text{KMnO}_4) = 0,70 - 0,11 = 0,59$. По градуировочному графику (3) находим концентрацию хрома $C(\text{Cr}) = 1,30 \cdot 10^{-4}$ г/мл и рассчитываем массовую долю (5) хрома:

$$\omega(\text{Cr}) = \frac{1,30 \cdot 10^{-4} \cdot 100,0 \cdot 100}{0,2000} = 6,5 \%$$

ЗАДАЧИ

1. Светопропускание исследуемого раствора равно 80 %. Вычислить оптическую плотность этого раствора.
2. Выразить оптическую плотность в процентах пропускания: а) 0,054; б) 0,801; в) 0,521.
3. Переведите данные измерения пропускания в оптическую плотность: а) 22,2 %; б) 52,5 %; в) 79,8 %.
4. Пропускание раствора, содержащего 3,2 мг Al в 100,0 мл, измеренное при 480 нм в кювете с $l = 2$ см, равно 34,6 %. Рассчитать молярный коэффициент светопоглощения этого вещества.
5. Коэффициент молярного поглощения комплекса $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$ при 580 нм равен $6 \cdot 10^3$. Рассчитать оптическую плотность $3 \cdot 10^{-5}$ моль/л раствора комплекса, измеренную при 580 нм в кювете с $l = 2,0$ см.
6. Светопропускание раствора окрашенного комплекса алюминия состава 1:1, содержащего 10 мкг/мл алюминия, равно 56,2 % при $\lambda = 487$ нм и $l = 1$ см. Определить коэффициент молярного поглощения комплекса.
7. Светопропускание раствора индикатора, измеренное при $\lambda = 650$ нм в кювете с $l = 3$ см, равно 30,2 %. Чему равна оптическая плотность этого же раствора, если $l = 1$ см.
8. Для вычисления величины молярного коэффициента поглощения 4,0 мл раствора соли титана (IV) с концентрацией Ti $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л поместили в мерную колбу вместимостью 50,0 мл, подкислили, добавили пероксид водорода и довели до метки дистиллированной водой. Поглощение комплекса $[\text{TiO}_2]^{2+}$, измеренное при $\lambda = 440$ нм в кювете с толщиной слоя 2 см, равно 0,30. Вычислить величину молярного коэффициента поглощения.
9. Вычислить коэффициент молярного поглощения комплекса меди (состав 1:1), если оптическая плотность раствора, содержащего 0,50 мг меди в 250,0 мл при толщине поглощающего слоя 1 см, равна 0,150.

10. Из навески цветного сплава 0,3500 г после растворения и обработки аммиаком было получено 250,0 мл окрашенного раствора, оптическая плотность которого в кювете с $l = 1$ см была равна 0,200. Определить массовую долю меди, если коэффициент молярного поглощения аммиаката меди равен 450.
11. При фотоколориметрическом определении железа методом сравнения оптическая плотность стандартного раствора, содержащего 0,175 мг Fe^{3+} , равна 0,248. Какова массовая доля железа в руде, если навеску ее, равную 0,2000 г, растворили в мерной колбе вместимостью 100,0 мл, для анализа отобрали 0,50 мл раствора, оптическая плотность полученного раствора после добавления всех реактивов равна 0,200?
12. Для фотоколориметрического определения фосфора в образце фосфорного удобрения приготовленный раствор должен содержать не более 1,5 мг/мл P_2O_5 . Сколько граммов фосфоритной муки, содержащей 20% P_2O_5 , надо растворить в мерной колбе вместимостью 250,0 мл для получения такого раствора?
13. При определении железа в серной кислоте фотометрическим методом нужно приготовить 500,0 мл стандартного раствора, содержащего 1 мг/мл железа. Сколько граммов железоаммонийных квасцов следует растворить в колбе вместимостью 500,0 мл, чтобы приготовить стандартный раствор.
14. Коэффициент молярного поглощения KMnO_4 при длине волны 546 нм равен 2420. Оптическая плотность исследуемого раствора в кювете с толщиной слоя 2 см равна 0,80. Чему равен T (KMnO_4/Mn), г/мл?
15. Для фотометрического определения железа в воде нужно приготовить стандартный раствор, содержащий 0,1 мг железа в 1,00 мл. Сколько граммов железоаммонийных квасцов $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ нужно взять для приготовления 500,0 мл такого раствора.
16. Стандартный раствор железоаммонийных квасцов содержит 1,00 мг/мл Fe^{3+} . Для серии стандартных растворов необходимо приготовить раствор, содержащий 0,025 мг/мл Fe^{3+} . До какого объема нужно разбавить 5,0; 10,0; 25,0 мл исходного раствора, чтобы получить раствор нужной концентрации?
17. Для определения железа в серной кислоте взяли 15,0 мл раствора H_2SO_4 ($\rho = 1,705$ г/см³). Железо окислили, и раствор разбавили в мерной колбе до 250,0 мл. Для колориметрирования взяли 15,0 мл полученного

раствора. Содержание железа по градуировочному графику соответствовало 0,50 мг. Вычислить массовую долю железа в образце.

18. Для определения меди в сплаве из навески 0,3000 г после растворения и обработки аммиаком было получено 250,0 мл окрашенного раствора, оптическая плотность которого в кювете с толщиной слоя 1 см была 0,250. Определить массовую долю меди в сплаве; коэффициент молярного поглощения аммиаката меди равен 400.

19. При определении никеля фотометрическим методом с диметилглиоксимом навеска сплава 0,1248 г переведена в мерную колбу вместимостью 100,0 мл; 10,0 мл полученного раствора поместили в мерную колбу вместимостью 200,0 мл и подготовили для фотометрирования. Оптическая плотность исследуемого раствора соответствовала по градуировочному графику 0,03 мг никеля. Вычислить массовую долю никеля в исследуемом образце.

20. Для фотоколориметрического определения H_3PO_4 1,50 мл фосфорной кислоты (пл. 1,090 г/см³) растворили в мерной колбе вместимостью 200,0 мл. Затем 1,0 мл полученного раствора перенесли в мерную колбу вместимостью 100,0 мл и после добавления соответствующих реактивов определили оптическую плотность. По градуировочной кривой содержание фосфорной кислоты соответствовало 0,964 мг P_2O_5 . Вычислить массовую долю H_3PO_4 в образце.

21. Для колориметрического определения меди навеску шлака 4,000 г после соответствующей обработки поместили в мерную колбу вместимостью 200,0 мл. Приготовили пять стандартных растворов, содержащих 10,0; 20,0; 30,0; 40,0 и 50,0 мг/л Cu . Интенсивность окраски анализируемого раствора совпала с окраской второго стандартного раствора. Вычислить массовую долю меди в шлаке.

22. Навеску стали 1,2 г растворили в кислоте и разбавили раствор дистиллированной водой до 50,0 мл. Из 5,00 мл этого раствора после соответствующей обработки было получено 100,0 мл окрашенного раствора. Оптическая плотность этого раствора оказалась равной 0,12. Из стандартного раствора, содержащего 0,1124 г $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в 100,0 мл раствора, были отобраны указанные ниже объемы и после обработки фенилгидразином и разбавления до 100,0 мл были получены следующие значения оптической плотности:

V, мл	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00
A	0,05	0,11	0,16	0,21	0,25

Вычислить массовую долю молибдена в стали.

23. Для фотометрического определения молибдена в минерале с дитиолом приготовлен стандартный раствор молибдата аммония растворением 0,1000 г его в мерной колбе вместимостью 500,0 мл. Для построения градуировочного графика в мерные колбы вместимостью 50,0 мл поместили 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мл этого раствора, обработали реактивом и довели до метки. Измерили оптические плотности стандартных растворов и получили:

$V_{\text{ст.}}, \text{ мл}$	0,5	1,0	1,5	2,0
A	0,231	0,465	0,690	0,940

Определить массовую долю MoO_3 в минерале, если навеска минерала массой 0,2400 г, растворена в мерной колбе вместимостью 100,0 мл, к 10,0 мл этого раствора прибавлен тот же реактив и объем раствора доведен до 50,0 мл. Оптическая плотность такого раствора равна 0,510.

24. Для построения градуировочного графика с целью определения ионов NO_3^- в воде использовали стандартный раствор KNO_3 с $T (\text{KNO}_3 / \text{NO}_3^-) = 0,01$ г/мл. Пробы раствора в диапазоне 0,1 – 0,8 мл обработали необходимыми реактивами, прибавили 0,1 % -й раствор хромотроповой кислоты, довели объем до 10,0 мл концентрированной серной кислотой и измеряли оптическую плотность в кювете с $l = 3$ см. Результаты измерений представлены ниже:

$V, \text{ мл}$	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
A	0,100	0,202	0,418	0,603	0,802

Пробу анализируемой воды объемом 2,5 мл провели через все стадии анализа, как и стандартный раствор, и измерили оптическую плотность этого раствора, она оказалась равной 0,550. Определить содержание ионов NO_3^- в анализируемой воде, г/л.

25. Для определения железа в растворе технической серной кислоты взяли навеску серной кислоты 24,85 г. Железо окислили до Fe^{3+} и раствор разбавили в мерной колбе вместимостью 250,0 мл. Для колориметрирования взяли 10,0 мл полученного раствора и разбавили в мерной колбе до 100,0 мл. Концентрация железа в этом растворе по

градуировочному графику соответствовала 0,78 мг. Вычислить массовую долю железа в образце.

26. Сплав анализировали на содержание титана фотометрическим методом с хромотроповой кислотой. Навеска сплава 0,3560 г переведена в мерную колбу вместимостью 200,0 мл; 5,0 мл полученного раствора помещены в мерную колбу вместимостью 50,0 мл и подготовлены для фотометрирования. Оптическая плотность исследуемого раствора в кювете с толщиной слоя 3 см составляла 0,570. Оптическая плотность стандартного раствора, приготовленного аналогично и содержащего 0,005 мг/мл Ti , составляла 0,530. Вычислить массовую долю титана в исследуемом образце.

27. Для определения железа в воде в мерных колбах вместимостью 50,0 мл были приготовлены стандартный и исследуемый растворы. Для приготовления стандартного раствора взяли 8,0 мл раствора железа (III) ($C_{Fe} = 0,0100$ мг/мл), а для приготовления исследуемого – 25,0 мл исследуемой воды. После добавления соответствующих реактивов оптическую плотность растворов определили на фотоэлектроколориметре: $A_{ст.} = 0,65$; $A_x = 0,62$. Вычислить концентрацию железа в исследуемом растворе в мг/л.

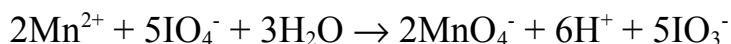
28. Определение никеля в стали проводили фотометрическим методом с диметилглиоксимом. Навеска стали 0,2010 г после растворения переведена в мерную колбу вместимостью 100,0 мл. Для фотометрирования 5,0 мл полученного раствора поместили в мерную колбу вместимостью 200,0 мл. Оптическая плотность этого раствора составляла 0,300. В другую мерную колбу вместимостью 200,0 мл поместили стандартный раствор, содержащий 0,045 мг никеля, и подготовили для фотометрирования аналогично исследуемому раствору. Оптическая плотность стандартного раствора составляла 0,330. Вычислить массовую долю никеля в исследуемой стали.

Метод добавок

29. В две мерные колбы на 100,0 мл поместили по V мл сточной воды. В одну колбу добавили 10,0 мл стандартного раствора $CuSO_4$ ($T_{Cu} = 0,0010000$). В обе колбы ввели растворы аммиака, рубановодородной кислоты и разбавили до метки водой. При фотометрировании растворов получили оптические плотности A_x и $A_{x+ст.}$. Определить концентрацию меди в сточной воде (г/л) для следующих вариантов:

Варианты	I	II	III	IV
V, мл	10,00	20,00	30,00	40,00
A _x	0,24	0,28	0,32	0,40
A _{x+ст}	0,38	0,42	0,46	0,54

30. При фотометрическом определении Mn (II) в стали методом добавок пробу стали растворили в разбавленной азотной кислоте, прокипятили и отобрали две аликвотные части раствора в одинаковые мерные колбы. В одну из колб добавили стандартный раствор, содержащий 20,0 мг/мл Mn (II). В обеих колбах Mn (II) окислили до MnO₄⁻ действием периодата калия и растворы довели до метки дистиллированной водой:



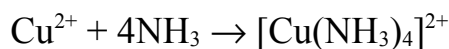
Поглощение полученных растворов, измеренное на фотоэлектроколориметре, составляло соответственно A_x = 0,6 и A_{x+ст} = 0,8. Определить содержание Mn (II) в анализируемом растворе, г/мл.

31. Навеску стали 0,2500 г растворили в смеси кислот и разбавили раствор до 100,0 мл. Три аликвоты по 25,0 мл поместили в мерные колбы вместимостью 50,0 мл. К первой аликвоте добавили стандартный раствор сульфата титана, содержащий 0,5 мг Ti, растворы H₂O₂ и фосфорной кислоты, ко второй – реактивы H₂O₂ и H₃PO₄, к третьей только H₃PO₄ (нулевой раствор). Содержимое колб довели до метки водой. Растворы в двух первых колбах фотометрировали относительно третьего раствора в одинаковых кюветах. Получили величины оптической плотности: A_{x+ст} = 0,65 и A_x = 0,25. Рассчитать массовую долю титана в стали.

32. При фотометрическом определении ванадия по методу добавок навеску стали массой 0,5036 г перевели в раствор и его объем довели до 50,0 мл. В две мерные колбы на 50,0 мл отобрали аликвоты раствора по 20,0 мл; в одну из колб добавили стандартный раствор ванадия (0,003 г V), затем в обе колбы – пероксид водорода. Растворы в колбах довели до метки, измерили оптические плотности и получили A_x = 0,20 и A_{x+ст} = 0,48. Рассчитать массовую долю ванадия в стали.

33. При определении содержания меди в сплаве методом добавок навеску сплава (m_{спл.}) перевели в раствор и объем раствора довели в мерной колбе до 50,0 мл. Аликвоты растворов (10,0 мл) перевели в две мерные колбы вместимостью 50,0 мл. В одну из них добавили стандартный

раствор, содержащий 100 мкг меди. В обе колбы ввели необходимые количества водного раствора аммиака и растворы в колбах довели до метки дистиллированной водой:



Определить массовую долю меди в сплаве, если при фотометрировании были получены следующие данные:

Вариант	I	II	III	IV
A_x	0,54	0,57	0,52	0,55
$A_{x+ст}$	0,65	0,60	0,64	0,65
$m_{спл}$	0,4880	0,5022	0,4516	0,4937

Метод дифференциальной фотометрии

34. При определении содержания никеля в сплаве применили метод дифференциальной фотометрии. Навеску сплава 0,3744 г после перевода в раствор перенесли в мерную колбу вместимостью 100,0 мл и раствор довели до метки дистиллированной водой. Аликвоту 10,0 мл полученного раствора поместили в мерную колбу вместимостью 50,0 мл, после создания аммиачной среды добавили бромную воду и раствор диметилглиоксима ($\text{C}_4\text{N}_2\text{H}_3\text{O}_2$) и довели до метки дистиллированной водой, при этом образовалось винно-красное комплексное соединение никеля. Оптическая плотность исследуемого раствора, измеренная относительно раствора сравнения, содержащего 20 мкг/мл Ni, равна 0,28, оптическая плотность стандартного раствора, содержащего 31 мкг/мл Ni, равна 0,42. Определить массовую долю никеля в сплаве.

35. Относительная оптическая плотность раствора сульфосалицилатного комплекса железа (III) равна $A_{отн.,x} = 0,290$ ($l = 5$ см). Вычислить концентрацию мг/мл железа, если раствор сравнения содержал 0,0576 мг Fe в 50,0 мл, а молярный коэффициент поглощения сульфосалицилатного комплекса железа (III) равен 3000.

36. Для построения градуировочного графика $A_{отн.} - C_{Mn}$ в мерные колбы вместимостью 250,0 мл поместили 11,0; 12,0; 13,0; 14,0; 15,0 мл стандартного раствора, содержащего 1,25 мг/мл Mn, и окислили марганец до перманганат-иона. Оптическую плотность измерили относительно раствора, содержащего 12,5 мг Mn в 250,0 мл и получили:

Объем стандартного раствора, мл	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0
$A_{\text{отн.}}$	0,200	0,400	0,60	0,80	1,01

Навеску руды 0,5000 г растворили и раствор разбавили до 1000 мл. В 50,0 мл фильтрата окислили марганец до перманганат-иона и разбавили раствор до 250,0мл. Измерили относительную оптическую плотность, как при построении градуировочного графика. Вычислить массовую долю марганца в образцах руды, если для них получены величины $A_{\text{отн. x}}$: 1) 0,320; 2) 0,420; 3) 0,560.

37. Анализ пероксида водорода основан на окислении им железа (II) и фотометрическом определении избытка железа (II) с 1,10-фенантролином. Для построения градуировочного графика в мерные колбы на 50,0 мл поместили 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 мл стандартного раствора H_2O_2 с концентрацией $1,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л. В каждую колбу добавили хлорную кислоту, ацетат натрия, железо (II), 1,10-фенантролин и разбавили до метки водой. Измерили относительные оптические плотности, используя раствор сравнения с наибольшим содержанием H_2O_2 (шестой раствор) и получили:

Объем стандартного раствора, мл	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
$A_{\text{отн.}}$	0,340	0,270	0,205	0,135	0,070	0

Вычислить концентрацию (моль/л) H_2O_2 , если 20,0 мл исследуемого раствора разбавили в мерной колбе вместимостью 500,0 мл, отобрали аликвоту 5,0 мл в колбу вместимостью 50,0 мл, добавили указанные выше реактивы, фотометрировали как при построении градуировочного графика и получили результаты: 1) $A_{\text{отн., x}} = 0,120$; 2) $A_{\text{отн., x}} = 0,170$; 3) $A_{\text{отн., x}} = 0,255$.

38. Навеску 0,5046 г $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ растворили в хлорной кислоте и разбавили до 1000 мл. Для построения градуировочного графика в мерные колбы вместимостью 50,0 мл поместили 10,0; 20,0; 25,0; 30,0; 35,0 мл этого раствора, добавили смесь молибдата и метаванадата аммония и разбавили водой до метки. Измерили оптическую плотность относительно первого раствора и получили:

Объем стандартного раствора, мл	20,0	25,0	30,0	35,0
$A_{\text{отн.}}$	0,186	0,285	0,380	0,475

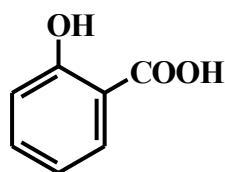
Навеску 0,3000 г нитроаммофоски растворили в соляной кислоте и разбавили раствор до 250,0 мл. Аликвоту 20,0 мл поместили в колбу вместимостью 50,0 мл и выполнили все операции как при построении градуировочного графика. Вычислить массовую долю P_2O_5 в нитроаммофоске, если для различных образцов получили: 1) $A_{\text{отн.,x}} = 0,365$; 2) $A_{\text{отн.,x}} = 0,415$; 3) $A_{\text{отн.,x}} = 0,455$.

39. Содержание антрацена в растворе определяли по собственному поглощению при 253 нм. Относительная оптическая плотность стандартного раствора, содержащего 35,0 мг/л антрацена, найдена равной $A_{\text{отн.}}^{\text{ст}} = 0,412$. У исследуемого раствора эта величина равна $A_{\text{отн.}}^{\text{x}} = 0,396$. В кювете сравнения в обоих случаях был раствор с содержанием 30,0 мг/л антрацена. Вычислить концентрацию антрацена, мг/л, в исследуемом растворе.

40. При определении никеля методом дифференциальной фотометрии из навески стали массой 0,2542 г после соответствующей обработки получили 100,0 мл окрашенного раствора окисленного диметилглиоксимата никеля. Относительная оптическая плотность этого раствора оказалась равной 0,55. Для построения градуировочного графика взяли три стандартных раствора с содержанием никеля 8,0; 10,0 и 12,0 мг в 100,0 мл, измерили их оптические плотности и соответственно получили 0,24; 0,46; 0,70. Раствор сравнения содержал 6,0 мг Ni в 100,0 мл. Определить массовую долю никеля в стали.

Определение смеси двух окрашенных веществ

41. Навеску шихты 0,0200 г, содержащую Fe и Ti, перевели в раствор, поместили в мерную колбу вместимостью 100,0 мл и раствор довели до метки дистиллированной водой. Аликвоту 10,0 мл полученного раствора перенесли в мерную колбу вместимостью 100,0 мл, создали серно-кислую среду, прибавили салициловую кислоту



и раствор довели до метки дистиллированной водой. Образовались салицилатные комплексы железа (III) и титана (IV). При фотометрировании полученного раствора в кювете с $l = 1$ см при 370 нм и 520 нм получили соответственно $A_{370} = 0,8$ и $A_{520} = 0,3$. Коэффициенты молярного поглощения равны:

I	II
салицилатный комплекс титана (IV)	салицилатный комплекс железа (III)
$\epsilon_{370 \text{ нм}} = 1,5 \cdot 10^4$	$5,0 \cdot 10^2$
$\epsilon_{520 \text{ нм}} -$	$2,0 \cdot 10^3$

Определить массовую долю Fe и Ti в шихте.

42. Навеску стали 0,2025 г растворили, отделили мешающие ионы, окислили марганец до MnO_4^- и хром до $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Объем раствора довели до 100,0 мл и измерили его оптическую плотность при 540 нм и 400 нм. Для построения градуировочных графиков использовали стандартные растворы перманганата с $T_{\text{Mn}} = 0,0001090$ и дихромата с $T_{\text{Cr}} = 0,001210$. В мерные колбы вместимостью 100,0 мл поместили 10,0; 15,0 и 20,0 мл стандартного раствора перманганата или дихромата и фотометрировали с теми же светофильтрами.

Рассчитать массовую долю (%) марганца и хрома в стали по следующим данным:

Оптическая плотность	Стандартные растворы, V мл						Исследуемый раствор
	KMnO ₄			K ₂ Cr ₂ O ₇			
	10,0	15,00	20,00	10,0	15,0	20,0	
A_{400}	0,23	0,35	0,47	0	0	0	0,32
A_{540}	0,10	0,14	0,18	0,43	0,60	0,78	0,72

43. Для приготовления стандартных растворов титана (IV) и ванадия (V) навеску стали, не содержащую ванадий и титан, растворили в азотной кислоте. В шесть мерных колб на 50,0 мл поместили одинаковые аликвоты полученного раствора, добавили 0,5; 1,0; 1,5 мл раствора, содержащего 0,2 мг/мл титана (IV) или ванадия (V), пероксид водорода и довели до метки. Измерили оптические плотности пероксидных комплексов титана (IV) при 400 нм и ванадия (V) при 400 и 619 нм относительно раствора сравнения, содержащего все компоненты, кроме H_2O_2 . Получили следующие величины для построения градуировочного графика:

Оптическая плотность при λ , нм	Стандартные растворы содержат, мл					
	Ванадия (V)			Титана (IV)		
	0,50	1,00	1,50	0,50	1,00	1,50
A_{400}	0,165	0,340	0,570	0,290	0,575	0,860
A_{619}	0,060	0,120	0,185	0	0	0

Навеску стали m г растворили в азотной кислоте и раствор разбавили до 100,0 мл. Аликвоту 10,0 мл отобрали в колбу вместимостью 50,0 мл, добавили растворы H_2O_2 , HNO_3 и довели до метки водой. Измерили оптическую плотность при 400 и 619 нм относительно алиquotы исследуемой смеси, не содержащей H_2O_2 . Вычислить массовую долю (%) ванадия и титана в стали для следующих вариантов:

Варианты	I	II	III
Навеска стали m , г	0,2000	0,2500	0,3000
A_{400}	0,920	0,940	0,900
A_{619}	0,115	0,105	0,180

44. Молярные коэффициенты поглощения 8-оксихинолятов и кобальта (II) и никеля (II) в растворе HCl – ацетон при 365 нм равны $\epsilon_{Co} = 3529$, $\epsilon_{Ni} = 3228$. При $\lambda = 700$ нм свет поглощает только оксихинолят кобальта: $\epsilon_{Co} = 428,9$. Из 10,0 мл исследуемого раствора получили осадки оксихинолятов кобальта и никеля, растворили их в 25,0 мл смеси HCl – ацетон и измерили оптическую плотность при 365 и 700 нм в кювете $l = 1$ см. Вычислить содержание (мкг/мл) кобальта и никеля в растворе для следующих вариантов: 1) $A_{365} = 0,820$; $A_{700} = 0,083$; 2) $A_{365} = 0,860$; $A_{700} = 0,050$; 3) $A_{365} = 0,920$; $A_{700} = 0,075$.

45. Для построения градуировочного графика в колбы вместимостью 50 мл поместили 5,0; 8,0; 10,0 мл раствора железо-аммонийных квасцов с $T_{Fe} = 0,000050$, добавили соляную кислоту и тиоцианат калия, довели до метки водой и измерили оптическую плотность при 496 нм:

Объем стандартного раствора, мл	5,0	8,0	10,0
Оптическая плотность	0,365	0,595	0,750

Исследуемый раствор, содержащий железо и никель, разбавили в колбе вместимостью 100,0 мл, отобрали две алиquotы по 20,0 мл в колбы вместимостью 50,0 мл. Одну пробу разбавили до метки водой, ко второй пробе прилили HCl , $KSCN$ и также довели до метки водой. Оптическая плотность первой пробы при 496 нм равна $A_{Ni} = 0,080$. Оптические плот-

ности второй пробы для разных вариантов равны: 1) 0,46; 2) 0,53; 3) 0,66; 4) 0,74. Рассчитать массу железа, мг, в растворе.

Фотометрическое титрование

46. Аликвоту 10,0 мл анализируемого раствора, содержащего железо (III), оттитровали 0,01 М (1/2 $C_6H_6O_6$) раствором аскорбиновой кислоты ($C_6H_8O_6 + Fe^{3+} \rightarrow C_6H_6O_6 + Fe^{2+} + 2H^+$) с фотометрической индикацией точки эквивалентности. На титрование было затрачено 4,50 мл аскорбиновой кислоты. Определить содержание Fe (III) в 100,0 мл исходного раствора, мг.

47. Навеску руды массой m г растворили и после соответствующей обработки оттитровали ионы Fe^{2+} раствором перманганата калия фотометрическим методом. Построить кривую титрования и рассчитать массовую долю (%) железа в образце по следующим результатам измерений:

Вариант	Навеска образца m , г	Концентрация раствора $KMnO_4$	Оптическая плотность раствора после добавления мл $KMnO_4$					
			10,0 0	12,00	14,00	16,00	18,0 0	20,00
I	1,0389	0,1075 М ($f_{эkv.}=1/5$)	0,01 0	0,010	0,010	0,050	0,10 0	0,150
II	1,0200	$T=0,003109$		0,010	0,045	0,110		0,240
III	0,9987	$T_{(KMnO_4/Fe)}=$ $=0,005544$	0,01 0 0,02 0	0,020	0,075	0,140	0,17 5 0,20 0	0,265

48. Навеску сплава массой m г растворили и после соответствующей обработки ионы Cu^{2+} оттитровали комплексоном III спектрофотометрическим методом при 620 нм. Построить кривую титрования и рассчитать массовую долю (%) меди в сплаве по следующим данным:

Вариант	Навеска образца m, г	Концентрация комплексона, М	Оптическая плотность раствора после добавления мл комплексона					
			1,0 мл	2,0 мл	3,0 мл	4,0 мл	5,0 мл	6,0мл
I	0,5112	0,09842	0,160	0,250	0,350	0,440	0,450	0,450
II	0,9968	0,1014	0,185	0,280	0,385	0,485	0,525	0,525
III	0,2112	0,05215	0,100	0,190	0,275	0,350	0,350	0,350

49. Навеску стали массой m г растворили, хром окислили до дихромата и оттитровали раствором FeSO_4 спектрофотометрическим методом. Построить кривую титрования и рассчитать массовую долю (%) хрома в стали по следующим данным:

Вариант	Навеска образца m, г	Концентрация раствора FeSO_4	Оптическая плотность раствора после добавления мл FeSO_4						
			10мл	12мл	14мл	16мл	18мл	20мл	22мл
I	0,5016	0,09916 М ($f_{\text{эkv}}=1$)	0,800	0,610	0,420	0,235	0,080	0,080	0,080
II	0,2975	$T=0,01519$	0,610	0,450	0,290	0,135	0,070	0,070	0,070
III	0,7215	$T(\text{FeSO}_4/\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)=0,004903$	0,440	0,310	0,180	0,050	0,050	0,050	0,050

50. Навеску m г амина растворили в 25,0 мл безводной CH_3COOH и 10,0 мл полученного раствора оттитровали 0,0400 М HClO_4 (в безводной CH_3COOH) спектрофотометрическим методом. Построить кривую титрования и вычислить массовую долю (%) амина в образце по следующим данным:

Вариант	Амин	Навеска m, г	Оптическая плотность раствора после добавления мл HClO_4						
			0мл	0,5мл	1,0мл	1,5мл	2,0мл	2,5мл	3,0мл
I	М-нитроанилин $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_2$	0,0238	0,780	0,540	0,300	0,070	0	0	0
II	О-нитроанилин $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_2$	0,0240	0,600	0,420	0,250	0,180	0,180	0,180	0,180
III	П-нитроанилин $\text{C}_6\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_2$	0,0185	0,640	0,440	0,250	0,130	0,130	0,130	0,130
IV	п-нитрозо-диметиланилин, $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}$	0,0198	0,920	0,750	0,570	0,500	0,500	0,500	0,500

51. Навеску массой 0,0515 г салицилата натрия ($M(\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}) = 160,1$ г/моль) растворили в ледяной уксусной кислоте и оттитровали фотометрическим методом с индикатором тропеолином ОО при 540 нм на

фотометре ЛМФ-69, используя в качестве титранта 0,1000 М HClO_4 в ледяной уксусной кислоте. Рассчитать массовую долю (%) салицилата натрия в препарате по результатам титрования:

$V(\text{HClO}_4)$,мл	0,0	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	2,6
A	0,02	0,04	0,04	0,05	0,07	0,11	0,15

$V(\text{HClO}_4)$,мл	2,8	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6	4,0	4,4
A	0,23	0,44	0,68	1,04	1,07	1,07	1,07	1,07

52. Вычислить молярную концентрацию эквивалента раствора хлорной кислоты в ледяной уксусной кислоте, если при фотометрическом титровании этим раствором навеска массой 0,0696 г дифенилгуанидина ($M(\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{N}_3) = 211,28$ г/моль) в ледяной уксусной кислоте с индикатором тропеолином 00 при 540 нм получены следующие результаты:

$V(\text{HClO}_4)$,мл	0,0	1,0	2,0	2,4	2,8	3,2	3,4	3,6
A	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,13	0,17	0,33

$V(\text{HClO}_4)$,мл	3,7	3,8	4,0	4,2	4,4	4,8	5,0
A	0,67	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07

Количественный анализ по ИК-спектрам

53. В смеси углеводородов с помощью ИК-спектров сняли кривые светопоглощения в области 11,6 мкм для исследуемого раствора ($\omega(\%)$) и трех растворов с известными массовыми долями циклогексана ($\omega(\%)$). В кювету сравнения во всех случаях помещали раствор с одинаковой концентрацией циклогексана. Методом базовой линии получили следующие данные:

Интенсивность поглощения	Стандартные растворы, $\omega, \%$			Исследуемый раствор
	75,51	80,45	84,35	
I	57,5	49,7	46,7	53,2
I_0	63,8	62,6	64,7	64,6

Определить массовую долю циклогексана в исследуемом растворе.

54. Для анализа конечной газовой смеси при синтезе азотной кислоты в паровой фазе сняли ИК-спектры в области 1,44 мкм. Получили следующие значения интенсивности полос:

Вариант	1	2	3	4
I	63,6	55,4	62,5	53,5
I ₀	68,2	68,5	67,4	67,8

Для построения калибровочного графика использовали следующие значения:

$\omega(\text{HNO}_3),\%$	1,48	1,71	2,07	2,58	3,18	4,35	5,95
I	64,8	64,2	62,0	60,1	58,7	55,6	49,8
I ₀	70,5	71,0	69,8	69,5	70,8	71,2	70,2

На основании этих данных рассчитать массовую долю азотной кислоты.

55. Навеску хлористого метилена массой 20,0 г растворили в хлороформе в колбе вместимостью 100,0 мл. Для построения градуировочного графика в колбы вместимостью 50,0 мл поместили по V мл этого раствора и довели до метки хлороформом. Методом базовой линии нашли значения $A = \lg I_0 / I$:

V, мл	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00
A	0,080	0,155	0,225	0,300	0,375

Вычислить концентрацию (г/л) хлористого метилена (CH_2Cl_2) в анализируемом растворе, если после разбавления 25,0 мл его хлороформом в колбе вместимостью 50,0 мл найдены следующие значения A: 1) 0,325; 2) 0,280; 3) 0,125.

56. При анализе циклогексана в смеси углеводородов сняли ИК-спектры ряда смесей в области 11,6 мкм. Методом базовой линии получили следующие значения I и I₀ для смесей с известным и неизвестным содержанием циклогексана:

$\omega, \%$	I	I ₀	Номер смеси	I	I ₀
77,00	48,1	50,0	1	56,4	61,1
81,16	50,4	55,1	2	51,6	58,4
85,10	51,4	57,6	3	59,9	62,7
86,56	48,6	57,3	4	52,2	63,1
90,61	51,1	63,0	5	53,2	60,3
			6	49,8	58,2
			7	52,1	58,6
			8	48,7	57,6
			9	48,3	52,2
			10	54,1	57,3

Определить массовую долю циклогексана в смесях.

57. Массовую долю нормального бутана и изобутана в смеси определили по полосам поглощения при 10,3 мкм (поглощает только бутан) и при 8,5 мкм (поглощает только изобутан). Для ряда стандартных смесей получили следующие данные:

Массовая доля н-бутана, %	18,0	36,0	58,0	79,0	92,0
А при 10,3 мкм	0,125	0,230	0,375	0,500	0,585
Массовая доля изобутана, %	15,0	42,0	61,0	83,0	95,0
А при 8,5 мкм	0,135	0,360	0,530	0,710	0,785

Вычислить массовую долю компонентов смеси, если для них получены следующие результаты:

Вариант	А при 10,3 мкм	А при 8,5 мкм
1	0,190	0,600
2	0,280	0,470
3	0,320	0,430
4	0,370	0,320
5	0,510	0,160

58. Навеску смеси 2-метилбутанола-2 и 2-метилбутена-2 массой m (г) растворили в CCl_4 в колбе вместимостью 100,0 мл. Методом базовой линии нашли значения $A = \lg I/I_0$ при 930 см^{-1} и 2740 см^{-1} :

2-метилбутанол-2			2-метилбутен-2	
С, г/100 мл	$A_{930 \text{ см}^{-1}}$	$A_{2740 \text{ см}^{-1}}$	С, г/100 мл	$A_{2740 \text{ см}^{-1}}$
2,5	0,28	0,05	0,30	0,22
5,5	0,62	0,11	0,60	0,45
9,0	1,00	0,18	1,00	0,75

Вычислить массовую долю компонентов, если при анализе в аналогичных условиях получены результаты:

Вариант	1	2	3	4	5
Масса m , г	3,200	5,100	8,500	8,800	10,000
$A_{930 \text{ см}^{-1}}$	0,30	0,48	0,86	0,72	0,98
$A_{2740 \text{ см}^{-1}}$	0,47	0,32	0,52	0,80	0,86

59. Навеску циклогексанона массой m г поместили в колбы вместимостью 50,0 мл и довели до метки циклогексаном. Стандартные растворы фотометрировали при 1718 см^{-1} по отношению к чистому циклогексану и получили следующие данные:

Масса циклогексанона $m, \text{г}$	0,0625	0,125	0,250	0,500	1,000
A	0,060	0,085	0,140	0,255	0,480

Объем V мл исследуемой смеси разбавили циклогексаном в колбе вместимостью 250,0 мл и полученный раствор фотометрировали в тех же условиях. Определить концентрацию г/100 мл циклогексанона в анализируемом растворе, если A_x и V_x составляют:

1) 0,345; 100,0 мл; 2) 0,070; 10,0 мл; 3) 0,160; 50,0 мл; 4) 0,258; 100,0 мл.

60. При анализе смеси бензола, уксусной кислоты и уксусного ангидрида сняли ИК-спектры при 1,1 мкм и 1,92 мкм. Поглощение стандартных растворов при этих длинах волн составило:

		$A_{1,1}$	$A_{1,92}$
Массовая доля бензола в смеси, %	30,0	0,350	
	40,0	0,410	
	50,0	0,500	
Массовая доля уксусной кислоты в смеси, %	10,0	0,040	0,145
	30,0	0,130	0,430
	40,0	0,180	0,580

Определить массовую долю бензола и уксусной кислоты по следующим данным о светопоглощении анализируемых растворов.

Вариант	$A_{1,1}$	$A_{1,92}$
1	0,400	0,300
2	0,450	0,340
3	0,490	0,440
4	0,550	0,500
5	0,620	0,560

61. Для анализа смесей метанол-вода измерено поглощение стандартных растворов при 1,94 мкм:

Массовая доля воды, %	26,0	29,0	32,0	37,0
$A_{1,94}$	0,470	0,500	0,532	0,585

Определить массовую долю воды и метанола в смесях по следующим данным: 1) $A = 0,570$; 2) $A = 0,540$; 3) $A = 0,485$.

62. Установлено, что при $\lambda = 1,68$ мкм поглощают аммиак и карбонат аммония, а при $\lambda = 2,19$ мкм – только аммиак.

Параметр	Аммиак			Карбонат аммония		
Концентрация, г/л	5,0	12,5	20,0	180	360	450
$A_{2,19}$	0,15 0	0,330	0,510	-	-	-
$A_{1,68}$	0,07 5	0,150	0,220	0,110	0,270	0,350

Определить концентрацию (г/200 мл) NH_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ в исследуемых растворах по следующим данным:

Вариант	1	2	3	4	5
$A_{2,19}$	0,450	0,300	0,210	0,190	0,480
$A_{1,68}$	0,380	0,450	0,350	0,270	0,500

63. Из навески смеси изомеров ксилола массой m г приготовили 50,0 мл раствора в циклогексане. Для построения градуировочного графика и анализа смеси на содержание о-ксилола были определены оптические плотности при 134,4 нм:

C , г/50 мл	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
A	0,155	0,33	0,523	0,700	0,880

5

Вычислить массовую долю (%) о-ксилола в смесях, если при анализе в аналогичных условиях получены следующие результаты:

Вариант	1	2	3	4
m , г	6,2	8,0	4,5	15,0
A	0,735	0,650	0,470	0,250

64. Для контроля состава смеси в производстве триацетата целлюлозы, состоящей из бензола, уксусной кислоты и уксусного ангидрида, на содержание уксусной кислоты измерили поглощение при 1,92 мкм стандартных смесей при разной массовой доле уксусной кислоты (ω , %). Получили следующие результаты:

ω , %	10,0	30,0	40,0
A	0,380	0,535	0,615

Определить массовую долю уксусной кислоты в смеси, если получены следующие значения A_x : 1) 0,425; 2) 0,510; 3) 0,580.

Глава 8

НЕФЕЛОМЕТРИЯ И ТУРБИДИМЕТРИЯ

ЗАДАЧИ

1. При нефелометрическом определении бария были приготовлены суспензии BaSO_4 из стандартного раствора с концентрацией бария 57,2 мкг/мл и раствора, анализируемого на содержание бария. Кажущаяся оптическая плотность равна соответственно 0,50 и 0,45. Рассчитать концентрацию бария в анализируемом растворе.

2. Для построения градуировочного графика при турбидиметрическом определении хлорид-ионов были приготовлены стандартные суспензии AgCl и измерена их кажущаяся оптическая плотность:

$C \cdot 10^{-5}(\text{Cl}^-)$, мг/мл	2	5	10	15
$A_{\text{каж.}}$	0,075	0,200	0,400	0,600

Из пробы воды была приготовлена аналогично стандартным суспензия AgCl и измерена ее кажущаяся оптическая плотность, равная 0,45. Определить концентрацию NaCl в воде, мг/мл.

3. Для турбидиметрического определения свинца построен градуировочный график (рис.1).

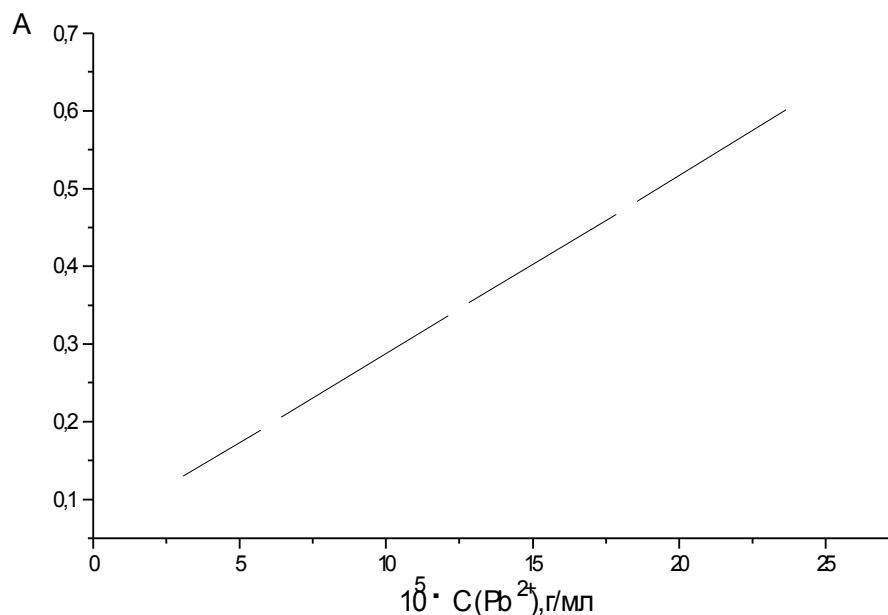


Рис 1. Градуировочный график для определения свинца.

Из навески 6,4000 г анализируемого образца приготовили раствор в мерной колбе вместимостью 100,0 мл. Из 10,0 мл этого раствора в мерной колбе вместимостью 50,0 мл получили суспензию PbSO_4 , оптическая плотность оказалась равной 0,32. Определить массовую долю свинца в анализируемом образце.

4. Для построения градуировочного графика при нефелометрическом определении сульфат-иона 25,0 мл раствора H_2SO_4 с концентрацией 0,263 мг/мл разбавили до 100,0 мл. Затем в мерных колбах вместимостью 100,0 мл, содержащих V мл этого раствора, приготовили суспензии BaSO_4 , измерили их кажущиеся оптические плотности и получили:

V , мл	25,0	15,0	10,0	6,0	2,0
$A_{\text{каж.}}$	0,21	0,32	0,50	0,68	1,02

Пробу V_1 анализируемого раствора разбавили до 100,0 мл, затем из 20,0 мл этого раствора приготовили 100,0 мл суспензии BaSO_4 . Определить содержание SO_3 , мг/л, в анализируемом растворе, если кажущаяся оптическая плотность составила:

Вариант	V_1	$A_{\text{каж.}}$
I	50,0	0,90
II	25,0	0,72
III	10,0	0,46

5. Для нефелометрического определения серы в каменном угле использовали в качестве стандартного 0,01000 М раствор H_2SO_4 . При этом 2,5 мл его разбавили до 1000 мл, из V мл полученного раствора в колбе вместимостью 100,0 мл приготовили суспензии BaSO_4 и после доведения до метки измерили кажущуюся оптическую плотность. По полученным данным построили градуировочный график:

V , мл	20,0	15,0	12,0	8,0	4,0	2,0
$A_{\text{каж.}}$	0,21	0,33	0,42	0,60	0,80	0,92

Из навески m г каменного угля приготовили 100,0 мл раствора, 20,0 мл его поместили в мерную колбу на 250,0 мл, приготовили суспензию BaSO_4 и довели до метки.

Определить процентное содержание серы в каменном угле, если кажущаяся оптическая плотность составила:

Вариант	m, г	A _{каж.}
I	1,832	0,30
II	3,348	0,46
III	10,080	0,69

6. Из навески 0,826 г $Pb(C_2H_3O_2)_2 \cdot 3H_2O$ приготовили 100,0 мл раствора и, взяв по V мл его, получили серию стандартных растворов. После добавления к ним стабилизирующего коллоида, серной кислоты для образования $PbSO_4$ и доведения объема до 50,0 мл измерили кажущуюся оптическую плотность и получили:

V, мл	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
A _{каж.}	0,65	0,40	0,32	0,27	0,22

Пробу объемом 50,0 мл анализируемой промышленной воды разбавили до 200,0 мл и 10,0 мл полученного раствора обработали так же, как и стандартные растворы. Определить содержание свинца в промышленной воде, если кажущаяся оптическая плотность составила:

Вариант	1	2	3
A _{каж.}	0,52	0,36	0,26

7. При определении содержания NaCl в растворе гидроксида натрия приготовили серию стандартных растворов. Для этого V мл раствора NaCl ($C_{NaCl} = 0,10$ мг/мл) перенесли в колбы вместимостью на 25,0 мл, добавили реактивы, необходимые для получения суспензии AgCl, измерили кажущиеся оптические плотности с помощью нефелометра и получили:

V, мл	0,3	0,5	0,8	1,5
A _{каж.}	0,67	0,55	0,39	0,15

Навеску анализируемого раствора массой 21,74 г осторожно нейтрализовали HNO_3 , перенесли в мерную колбу и приготовили 50,0 мл раствора, V₁ мл которого использовали для приготовления 25,0 мл суспензии AgCl. Определить массовую долю (%) NaCl по следующим данным:

Вариант	V ₁	A _{каж.}
I	2,0	0,48
II	5,0	0,30
III	5,0	0,42

8. При турбидиметрическом определении хлорид-иона для построения градуировочного графика в мерную колбу на 100,0 мл поместили 20,0 мл раствора KCl ($T = 0,001051$ г/мл). Затем в мерных колбах вместимостью 50,0 мл, содержащих V мл этого раствора, приготовили суспензии AgCl, довели водой до метки, измерили их оптические плотности:

V , мл	2,0	4,0	6,0	8,0
A	0,22	0,47	0,70	0,94

Пробу V_1 мл анализируемого раствора разбавили до 100,0 мл, затем 5,0 мл этого раствора перенесли в колбу вместимостью 50,0 мл и приготовили в ней суспензию AgCl. Определить содержание хлорид-иона мг/мл в анализируемом растворе, если измеренные оптические плотности были равны:

Вариант	V_1	A
I	15,0	0,38
II	25,0	0,56
III	50,0	0,82

9. Для определения сульфат-иона в хлорате натрия приготовили серию эталонных растворов. Для этого в мерные колбы вместимостью 50,0 мл ввели V мл раствора Na_2SO_4 ($T = 7,39 \cdot 10^{-5}$ г/мл), а также реактивы, необходимые для получения суспензии $BaSO_4$. Фототурбидиметрическое измерение оптической плотности этих реактивов дало результаты:

V , мл	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
A	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75

Из навески $NaClO_3$ массой 1,5250 г приготовили 25,0 мл раствора, V_1 мл которого перенесли в колбу вместимостью 50,0 мл, приготовили суспензию $BaSO_4$ и измерили A, как указано выше. Определить массовую долю (%) сульфат-ионов в хлорате натрия по следующим данным:

Вариант	V_1	A
I	10,0	0,38
II	10,0	0,49
III	5,0	0,68

10. Для построения градуировочного графика при фототурбидиметрическом определении анабазин гидрохлорида ($C_{10}H_{14}N_2 \cdot HCl$, М.м.198, 694)

в колбах вместимостью 25,0 мл ввели V мл 0,1%-го водного раствора $C_{10}H_{14}N_2 \cdot HCl$, этанол, фосфорновольфрамную кислоту и воду до метки. Полученную суспензию фотометрировали и получили:

V, мл	0,20	0,25	0,30	0,50
A	0,43	0,54	0,66	1,09

Пробу анализируемого раствора, содержащего анабазин-гидрохлорид, объемом V_1 мл, поместили в мерные колбы вместимостью 50,0 мл, добавили те же реактивы и объем раствора довели до метки дистиллированной водой и измерили оптические плотности. Определить молярную концентрацию раствора анабазингидрохлорида, если измеренные оптические плотности были равны:

Вариант	V_1	A
I	0,50	0,49
II	0,80	0,70
III	1,00	1,20

11. Из навески пирита массой 0,6090 г приготовили 250,0 мл раствора, из 10,0 мл которого после соответствующей обработки получили 100,0 мл суспензии $BaSO_4$ с оптической плотностью 0,55. Во второй аналогичной пробе после добавления 10,0 мл стандартного раствора $BaCl_2$ ($T = 0,004702$ г/мл) оптическая плотность суспензии $BaSO_4$ возросла до 0,85. Определить массовую долю (%) серы в пирите.

12. Для определения хлорид-иона в азотной кислоте методом нефелометрического титрования разбавили 100,0 мл исследуемой HNO_3 ($\rho = 1,47$ г/см³) до 250,0 мл водой. Для приготовления суспензии $AgCl$ в серию мерных колб вместимостью 50,0 мл ввели по 25,0 мл приготовленного раствора HNO_3 , V мл 0,09815 М $AgNO_3$, 5,0 мл раствора желатина и воды до метки. С помощью нефелометра измерили кажущиеся оптические плотности и получили:

V, мл $AgNO_3$	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
$A_{каж.}$	0,02	0,40	0,21	0,15	0,12

Построить кривую титрования и определить массовую долю (%) хлорид-иона в азотной кислоте.

13. Для определения серебра в индии методом фототурбидиметрического титрования 3,17 г анализируемого металла растворили в кислоте и довели до 100,0 мл водой. В мерные колбы вместимостью 100,0 мл поместили по 10,0 мл этого раствора, 5 мл желатина, 5 мл 0,1 М HNO_3 и V мл раствора KCl ($T = 0,0080$ г/мл). Оптическая плотность этих растворов составила:

V, мл KCl	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
A	0,12	0,33	0,56	0,67	0,68	0,67

Построить кривую титрования и определить массовую долю серебра в индии.

Глава 9

КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ. ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ТИТРОВАНИЕ

Решение типовых задач

Пример 1. Сопротивление 0,2870 М раствора K_2SO_4 в ячейке с электродами площадью $2,54 \text{ см}^2$ и расстоянием между ними 0,65 см равно 5,61 Ом. Определить эквивалентную электрическую проводимость K_2SO_4 .

Решение. Определяем электрическую проводимость раствора

$$W = \frac{1}{R} = \frac{1}{5,61} = 0,178 \text{ См}$$

Удельная электрическая проводимость раствора

$$\chi = \frac{1 W}{S} = \frac{0,65 \cdot 0,178}{2,54} = 0,0458 \text{ См/см}$$

Тогда эквивалентная электрическая проводимость

$$\lambda = \frac{0,0458 \cdot 1000}{0,2870 \cdot 2} = 79,8 \text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль экв.}$$

Пример 2. Удельная электрическая проводимость 0,0109 М раствора NH_3 равна $1,02 \cdot 10^{-4} \text{ См/м}$. Определить константу диссоциации аммиака.

Решение. Определяем эквивалентную электрическую проводимость раствора

$$\lambda = \frac{1,02 \cdot 10^{-4} \cdot 1000}{0,0109} = 9,38 \text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль экв.}$$

По табличным значениям подвижности ионов NH_4^+ и OH^- рассчитываем эквивалентную электрическую проводимость при бесконечном разбавлении:

$$\lambda_{\infty} = 76 + 205 = 281 \text{ См} \cdot \text{см}^2/\text{моль экв.}$$

Тогда степень диссоциации

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda_{\infty}} = \frac{9,38}{281} = 0,0334$$

Отсюда константа диссоциации

$$K_{\text{дисс.}} = \frac{\alpha^2 c}{1 - \alpha} = \frac{(0,0334)^2 \cdot 0,0109}{1 - 0,0334} = 1,26 \cdot 10^{-5}$$

ЗАДАЧИ

1. Для стандартных растворов NaOH различной концентрации измерены значения эквивалентной электрической проводимости:

С (NaOH), моль/л	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5
λ, См · см ² /моль экв	219	213	206	203	197

Построить градуировочный график и рассчитать концентрацию исследуемого раствора NaOH, г/л, если для него удельная проводимость $\chi = 0,045$ См/м.

2. При измерении электрической проводимости водных растворов CaCl₂ с различной концентрацией вещества были получены данные:

ω (CaCl ₂) %	0,5	2,5	5	7,5	10
χ См/м	7,00	2,92	1,80	1,28	0,94

Построить график и найти нормальную концентрацию анализируемого раствора CaCl₂, если его удельная электрическая проводимость $\chi = 2,00$ См/м.

3. Для водного раствора KCl нашли следующую зависимость:

ω (KCl), %	5	10	15	20	25
χ, См/м	0,092	0,180	0,260	0,336	0,402

Построить график и определить титр исследуемого раствора KCl, если его удельная электрическая проводимость $\chi = 0,220$ См/м ($\rho = 1$).

4. Для ряда стандартных растворов CH₃COOH получены следующие значения удельной электрической проводимости:

С (CH ₃ COOH), моль/л	0,083	0,42	0,83	1,25	1,67
χ, См/м	1,75	0,73	0,45	0,32	0,24

Построить график и найти титр исследуемого раствора CH₃COOH, если $\chi = 1,00$ См/м.

5. Определить константу диссоциации NH₄OH, если эквивалентная электрическая проводимость $8,2 \cdot 10^{-3}$ М раствора его равна 12,43 См · см²/моль экв.

6. Определить степень диссоциации 0,1 М раствора HIO_3 , если удельная электрическая проводимость этого раствора 4,02 См/м.

7. Для кондуктометрического определения содержания соды и щелочи при их совместном присутствии исследуемый раствор довели до метки водой в мерной колбе вместимостью 50 мл. Аликвоту 10,0 мл полученного раствора перенесли в ячейку и оттитровали 0,1056 М раствором HCl . Получили следующие результаты:

I вариант:

V (HCl), мл	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
χ , См/м	31,0	30,0	28,5	27,8	25,2	24,0	23,0	22,0	22,0

V (HCl), мл	5,0	5,5	6,0	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
χ , См/м	22,0	22,0	22,5	23,0	23,8	26,5	32,2	38,0	49,0

II вариант

V (HCl), мл	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
χ , См/м	16,0	14,0	12,5	11,5	11,2	11,5	12,0	13,0	19,5	26,0	32,5	38,5

Построить кривую титрования и рассчитать массу NaOH и Na_2CO_3 в исследуемом растворе в миллиграммах.

8. При титровании 100,0 мл раствора уксусной кислоты 0,5000 М раствором NaOH получено:

V (NaOH), мл	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	15,0	17,0
Сопротивление, Ом	75,0	68,1	62,3	57,0	53,2	50,8	51,5	50,0

Определить концентрацию CH_3COOH , моль/л.

При титровании 50,0 мл HCl 2,0000 М раствором KOH были получены результаты:

V (KOH), мл	3,2	6,0	9,2	15,6	20,0	23,5
χ , См/м	3,2	2,56	1,86	1,64	2,38	2,96

Определить концентрацию HCl , г/л.

При титровании 50,0 мл хлороводородной кислоты раствором NaOH получили следующие данные:

V(NaOH), мл	Электрическая проводимость раствора, $\chi \cdot 10^3$, См/м для вариантов				
	I C(NaOH)= = 0,0100 М	II T(NaOH)= = 0,0040	III ω (NaOH)= = 2,5%	IV T(NaOH) = = 0,04048	V T(NaOH/HCl) = 0,05486
0	1,50	-	4,49	-	8,72
2	1,09	1,42	3,00	4,05	-
4	0,672	0,85	1,52	1,93	2,88
6	0,633	0,70	1,50	2,35	2,72
8	0,991	1,15	2,25	3,27	-
10	1,35	1,62	3,04	-	5,52

Построить график в координатах χ - V(NaOH). Определить точку эквивалентности. Рассчитать нормальную концентрацию хлороводородной кислоты.

При титровании 50,0 мл раствора, содержащего NaOH и NH₄OH, 0,01 М раствором HCl получили следующие данные:

V(HCl),мл	Электрическая проводимость, $\chi \cdot 10^3$, См/м для вариантов		
	I	II	III
0	6,30	5,68	6,60
1	5,41	4,46	5,93
2	4,52	3,20	5,30
3	3,62	-	4,68
4	3,71	3,00	4,05
5	4,79	3,84	-
6	5,85	4,68	4,45
7	6,93	5,50	5,70
8	9,00	7,00	7,80
9	12,08	10,80	12,02
10	15,13	14,55	16,20

Построить график титрования, определить точки эквивалентности и рассчитать концентрацию NaOH и NH₄OH в исследуемом растворе, г/л.

Исследуемый раствор, содержащий смесь HCl и CH₃COOH, поместили в мерную колбу вместимостью 50 мл и довели до метки водой. Аликвоту 10,0 мл этого раствора оттитровали кондуктометрически 0,09385М раствором NaOH. Получили следующие результаты:

V (NaOH),мл	2,0	4,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
Электрическая проводимость χ , См/м	43,5	34,5	25,0	21,0	17,5	17,0	18,0	19,0	20,5

V (NaOH),мл	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0
χ , См/м	23,0	24,0	25,5	26,5	28,5	31,0	35,0	38,0	42,0

Построить кривую титрования и рассчитать массу каждой кислоты в исследуемой пробе в миллиграммах.

Исследуемый раствор, содержащий смесь HCl и CH₃COOH, поместили в мерную колбу вместимостью 50 мл и довели до метки водой. Аликвоту 10,0 мл этого раствора перенесли в ячейку и оттитровали кондуктометрически 0,1066 М раствором NaOH. Получили следующие результаты:

V (NaOH),мл	1,0	2,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Электрическая проводимость χ , См/м	53	51,5	41	35,5	29,5	23,8	21,1	22,0

V (NaOH),мл	10,0	12,0	14,0	15,0	16,0
Электрическая проводимость χ , См/м	23,5	27,2	30,4	32,4	37,1

Построить градуировочный график и рассчитать массу каждой кислоты в исследуемой пробе.

Раствор глицина (аминоуксусной кислоты) оттитровали раствором NaOH с помощью высокочастотного титратора. Для этого исследуемую пробу глицина поместили в мерную колбу вместимостью 50 мл, довели до метки водой и 20,0 мл этого раствора перенесли в ячейку для титрования. Получили следующие результаты:

I вариант: C (NaOH) = 0,1056 М

V (NaOH),мл	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0
показания прибора	90	88	85	82,5	80	77	74	69	63	56,5	49	41	27	12

II вариант: C (NaOH) = 0,1010 М

V (NaOH),мл	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0
показания прибора	87	82	76	70	64	58	51	48	43

V (NaOH),мл	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0
показания прибора	38	33	27	20	11	5

Построить кривую титрования и рассчитать массу глицина в исследуемой пробе в миллиграммах. ($M(C_2H_5NO_2) = 75,07$)

При высокочастотном титровании 25,0 мл смеси HCl и CH₃COOH 0,1050 М раствором NaOH было получено:

V (NaOH),мл	2,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	11,0	13,0	15,0	17,0	18,0	19,0
показания прибора	62	51	37	32	23	21	23	26	31	37	44	56	68

Определить концентрацию кислот, г/л.

При высокочастотном титровании 200,0 мл смеси NH₃ и KOH 0,2000 М хлороводородной кислотой было получено:

V (HCl),мл	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0	8,5
показания прибора	42	39	29	23	21	14	20	22	23	25	30	44	57

Построить кривую титрования и определить концентрацию каждого из компонентов, г/л.

Раствор хлорида бария стандартизировали по точной навеске сульфата натрия методом высокочастотного титрования. Навеску Na₂SO₄ массой 0,7094 г растворили в мерной колбе вместимостью 100 мл, довели до метки водой и 10,0 мл полученного раствора оттитровали раствором BaCl₂. Получили следующие результаты:

V (BaCl ₂),мл	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
показания прибора	50,0	50,0	50,0	51,0	49,5	51,0	50,5	50,0	50,0	49,0

V (BaCl ₂),мл	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0
показания прибора	46,0	43,0	40,0	37,0	34,0	31,0

Построить кривую титрования и рассчитать нормальную концентрацию раствора BaCl₂.

Содержание железа и кобальта в растворе определяли методом высокочастотного титрования. Для этого исследуемый раствор довели водой до метки в мерной колбе вместимостью 50 мл. Пробу 5,0 мл перенесли в ячейку для титрования. Титрантом служил 0,009469 М раствор Na₂H₂ЭДТА. Получили следующие данные:

V (ЭДТА),мл	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
показания прибора	47,7	45,0	43,0	40,5	38,0	35,0	34,0	33,0	31,0	30,0

V (ЭДТА),мл	8,5	9,0	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0
показания прибора	30,0	30,0	30,0	30,0	30,2	31,0	31,8	32,4	33,6

Построить кривую титрования и рассчитать массу железа и кобальта в смеси.

Для определения железа методом высокочастотного титрования исследуемый раствор поместили в мерную колбу вместимостью 50 мл и довели до метки водой. Аликвоту 5,0 мл полученного раствора перенесли в ячейку и оттитровали 0,009897 М раствором $\text{Na}_2\text{H}_2\text{ЭДТА}$. Получили такие данные:

V(ЭДТА),мл	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
показания прибора	55,0	51,0	49,5	44,5	42,2	40,0	37,5	35,0	33,0	30,2

V(ЭДТА),мл	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	15,0
показания прибора	28,0	26,3	25,7	26,5	27,5	30,0	31,0	33,0

Построить кривую титрования и рассчитать массу железа в исследуемом растворе в миллиграммах.

При высокочастотном титровании 200 мл смеси KOH и NH_3 раствором 0,2 М HCl были получены следующие показания прибора:

V(HCl),мл	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0	8,5
показания прибора	42	39	29	23	21	14	20	22	23	25	30	44	57

Построить кривую титрования и рассчитать концентрацию KOH и NH_3 . Определить, сколько 0,1 М растворов KOH и NH_3 надо взять для приготовления 200 мл указанной смеси.

Глава 10

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Решение типовых задач

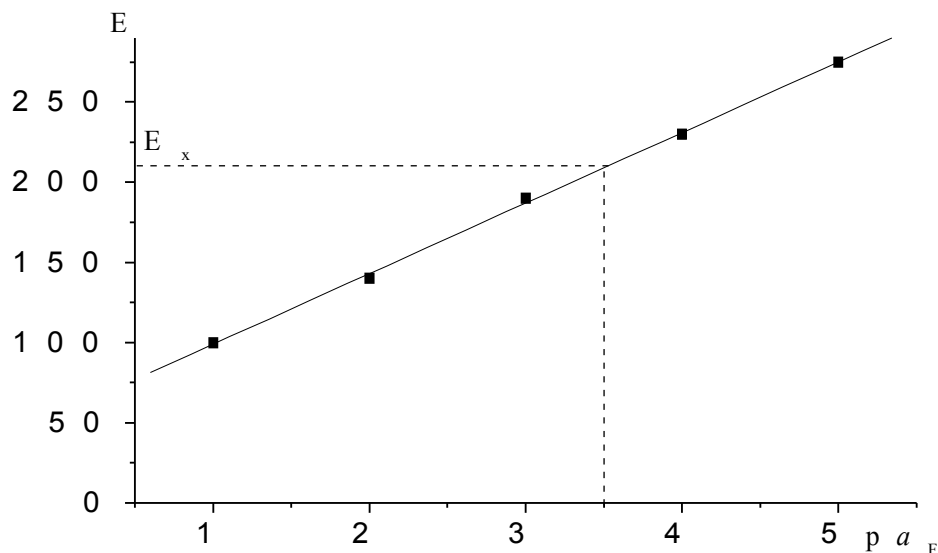
Пример 1. В стандартных растворах NaF были измерены электродные потенциалы фторидселективного электрода относительно хлорсеребряного электрода и получены следующие данные:

a_F , моль/л.....	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
E , мВ.....	100	140	190	230	275

Исследуемый раствор, содержащий фторид-ион, объемом 10 мл разбавили водой до 50 мл и измерили потенциал фторидселективного электрода в полученном растворе: $E_x = 210$ мВ. Определить активность (моль/л) фторид-иона в исследуемом растворе.

Решение. Строим градуировочный график в координатах $E - p a_F$, где $p a_F = \lg a_F$. По графику (см. рис.) находим $p a_F = 3,5$ и $a_F = 3,16 \cdot 10^{-4}$ моль/л, соответствующую $E_x = 210$ мВ, и рассчитываем активность исследуемого раствора:

$$a_F = \frac{a_F \cdot V_K}{V_{II}} = \frac{3,16 \cdot 10^{-4} \cdot 50,0}{10,00} = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$



Пример 2. Смесь хлороводородной и борной кислот оттитровали потенциометрически 0,1000 М последовательно: сначала оттитровали HCl (израсходовав объем титранта V_1), затем прибавили к раствору глицерин и оттитровали H_3BO_3 по первой ступени (получив суммарный объем титранта V_2).

Построить кривые титрования в координатах $\text{pH} - V$ и $\Delta\text{pH}/\Delta V - V$, определить объемы V_1 и V_2 и рассчитать концентрации (г/л) хлороводородной и борной кислот, если для анализа было взято 20,00 мл смеси кислот и при титровании получены следующие данные:

$V(\text{NaOH}), \text{мл} \dots$	0,00	0,20	0,30	0,40	0,46	0,50	0,55	0,60	прибавили
$\text{pH} \dots \dots \dots$	2,60	2,84	3,02	3,40	3,95	5,58	7,03	7,38	глицерин
$V(\text{NaOH}), \text{мл} \dots$	0,80	1,00	1,20	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,70
$\text{pH} \dots \dots \dots$	5,95	6,25	6,55	7,04	7,28	7,73	8,55	9,10	9,55

Решение. Строим кривые потенциометрического титрования в координатах $\text{pH} - V$ и $\Delta\text{pH}/\Delta V - V$ и находим положение точек эквивалентности(см. рис.): $V_1 = 0,5$ мл и $V_2 = 1,52$ мл.

Вычисляем концентрации HCl и H_3BO_3 в г/л:

$$c(\text{HCl}) = \frac{c(\text{NaOH})V_1(\text{NaOH})}{1000} M(\text{HCl}) \frac{1000}{V_{\text{ал}}}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{0,1000 \cdot 0,5}{1000} \cdot 36,453 \cdot \frac{1000}{20,00} = 0,0912 \text{ мл/л}$$

$$c(\text{H}_3\text{BO}_3) = \frac{c(\text{NaOH})(V_2 - V_1)\text{NaOH}}{1000} M(\text{H}_3\text{BO}_3) \frac{1000}{V_{\text{ал}}}$$

$$c(\text{H}_3\text{BO}_3) = \frac{0,1000 \cdot (1,55 - 0,5)}{1000} \cdot 61,83 \cdot \frac{1000}{20,00} = 0,3246 \text{ мл/л}$$

ЗАДАЧИ

1. В стандартных растворах соли калия с концентрацией C (K^+) были измерены электродные потенциалы калийселективного электрода относительно хлорсеребряного электрода:

C (K^+), моль/л	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$
E , мВ	100	46,0	-7,00	-60,0

По этим данным построили градуировочный график в координатах $E - pC$ (K^+).

Навеску образца массой 0,2000 г, содержащего калий, растворили в воде, и объем довели до V мл. Затем измерили электродный потенциал E_x :

Вариант:	I	II	III	IV
V , мл	100,0	25,00	500,0	1000
E_x , мВ	60,0	34,0	10,0	-30,0

Вычислить массовую долю (%) К в образце.

В стандартных растворах $CdSO_4$ с различной активностью Cd^{2+} были измерены электродные потенциалы кадмийселективного электрода относительно хлорсеребряного электрода:

a (Cd^{2+}), моль/л	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
- E , мВ	75,0	100	122	146	170

Исследуемый раствор соли кадмия объемом 10,0 мл разбавили водой до 50 мл в мерной колбе и измерили электродный потенциал:

Вариант	1	2	3	4
- E_x , мВ	94,0	116	130	159

Определить активность исследуемого раствора соли кадмия, моль/л.

3. С помощью нитрат-селективного электрода определяли содержание NO_3^- - иона в растворе. Стандартный раствор KNO_3 приготовили растворением точной навески его массой m г в 100 мл воды. Из этого раствора приготовили серию более разбавленных растворов с концентрацией C (KNO_3) моль/л, для чего каждый предыдущий раствор разбавляли в 10 раз водой в мерной колбе. При измерении электродных потенциалов стандартных растворов получили следующие данные:

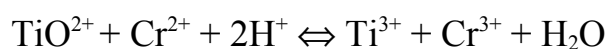
Вариант I: m (KNO_3) = 1,0003 г					
C (KNO_3), моль/л	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	C_x
E , мВ	63	111	164	215	-
E_x , мВ					155

Вариант II: $m(\text{KNO}_3) = 0,4964 \text{ г}$

$C(\text{KNO}_3)$, моль/л	$n \cdot 10^{-2}$	$n \cdot 10^{-3}$	$n \cdot 10^{-4}$	$n \cdot 10^{-5}$	C_x	
E , мВ	76,7	130,4	184,3	234,1		-
E_x , мВ						166,8

Исследуемый раствор с концентрацией C_x довели до метки водой в мерной колбе вместимостью 100 мл и измерили E_x (указано в таблице). Рассчитать точную концентрацию стандартных растворов KNO_3 , построить градуировочный график и определить массу нитрат-иона в исследуемом растворе, г.

Из навески 0,6000 г сплава титан перевели в TiO^{2+} и оттитровали 0,1000 М CrCl_2 :



Вычислить массовую долю титана в сплаве по результатам потенциометрического титрования:

$V(\text{CrCl}_2)$, мл	2,0	10,	18,0	19,8	20,0	20,2	22,0
E , мВ	159	100	41	-18	-155	-292	-351

В навеске 2,5000 г стали хром окислили до $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ и оттитровали 0,1030 М раствором FeSO_4 . Вычислить массовую долю Cr в стали по результатам титрования:

$V(\text{FeSO}_4)$, мл	0	5	10	20	30	35	36	37	37,5
E , мВ	650	700	800	820	860	879	885	887	887

$V(\text{FeSO}_4)$, мл	38	38,3	38,4	39	43	45
E , мВ	885	884	505	495	480	470

Построить кривые потенциометрического титрования в координатах $pH - V$ и $\Delta pH/\Delta V - V$. Определить концентрацию HCl , если при титровании 20,0 мл анализируемого раствора кислоты 0,1000 М NaOH получили следующие результаты:

V_{NaOH} , мл	10,0	18,0	19,0	19,9	20,0	20,1	21,0	22,0
pH	1,48	2,28	2,59	3,60	7,00	10,60	11,49	11,68

Построить кривые потенциометрического титрования в координатах $pH - V$ и $\Delta pH/\Delta V - V$ и определить концентрацию CH_3COOH , если при титровании 10,0 мл анализируемого раствора кислоты 0,1000 М KOH получили следующие результаты:

V_{KOH} , мл	10,0	18,0	19,0	19,5	19,9	20,0	20,1	20,5	21,0
pH	4,76	5,71	6,04	6,35	7,06	8,79	10,52	11,22	11,51

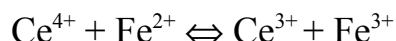
Определить концентрацию NH_4Cl в растворе, г/л, если при потенциометрическом титровании 20,0 мл раствора раствором 0,0500 М ($1/2 \text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$) получили следующие результаты:

$V(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2), \text{мл}$	10,0	15,0	17,0	17,5	17,9	18,0	18,1	18,5	19,0
$E, \text{мВ}$	382	411	442	457	498	613	679	700	709

Определить концентрацию NaCl в растворе, г/л, если при потенциометрическом титровании 20,0 мл его раствором 0,1000 М ($1/2 \text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$) получили следующие результаты:

$V(\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2), \text{мл}$	10,0	18,0	19,0	19,5	19,9	20,0	20,1	20,5
$E, \text{мВ}$	501	552	570	589	629	704	737	757

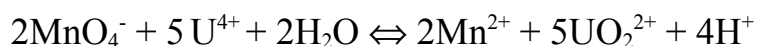
Из навески сплава массой 1,2000 г железо перевели в $\text{Fe}(\text{II})$ и оттитровали 0,1000 М раствором $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$:



Вычислить массовую долю железа в сплаве по следующим результатам потенциометрического титрования:

$V(\text{CeSO}_4)_2, \text{мл}$	2,0	10,0	18,0	19,8	20,0	20,2	22,0
$E, \text{мВ}$	712	771	830	889	1110	1332	1391

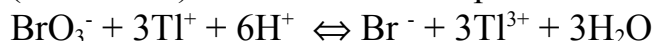
Из навески руды массой 0,0800 г уран перевели в U^{4+} и оттитровали раствором 0,0100 М ($1/5 \text{KMnO}_4$):



Вычислить массовую долю урана в руде по следующим результатам потенциометрического титрования:

$V(\text{KMnO}_4), \text{мл}$	2,0	10,0	18,0	19,8	20,0	20,2	22,0
$E, \text{мВ}$	301	330	359	389	1173	1486	1498

Из навески образца массой 2,0400 г таллий перевели в $\text{Tl}(\text{I})$ и оттитровали раствором 0,1000 М ($1/6 \text{KBrO}_3$) в солянокислой среде:



Вычислить массовую долю таллия в сплаве по следующим результатам потенциометрического титрования:

$V(\text{KBrO}_3), \text{мл}$	2,0	10,0	18,0	19,8	20,0	20,2	22,0
$E, \text{мВ}$	1251	1280	1309	1339	1407	1430	1451

Из навески стали массой 2,0000 г ванадий перевели в раствор и оттитровали 0,1000 М раствором сульфата железа (II):



Вычислить массовую долю ванадия в стали по следующим результатам потенциометрического титрования:

V(FeSO ₄),мл	2,0	10,0	18,0	19,8	20,0	20,2	22,0
E, мВ	1058	999	940	901	885	841	830

Исследуемый раствор, содержащий смесь HCl и H₃BO₃, оттитровали потенциометрически в присутствии глицерина. Для этого раствор поместили в мерную колбу вместимостью 100 мл и довели до метки водой. Аликвоту 20,0 мл полученного раствора отобрали для титрования 0,09789 М раствором NaOH. Получили следующие результаты:

V(NaOH),мл	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	+ глицерин
pH	2,36	2,41	2,46	2,56	2,81	6,07	7,85	8,33	

V(NaOH),мл	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
pH	6,51	6,96	8,91	9,76	10,06	10,30	10,45	10,57	10,69

Построить кривую титрования и рассчитать массу каждой кислоты в растворе в миллиграммах.

Аликвоту раствора, содержащего смесь хлорид- и иодид-ионов, оттитровали потенциометрически раствором AgNO₃ с серебряным электродом. Для этого исследуемый раствор довели водой до метки в мерной колбе вместимостью 50 мл и 10,0 мл полученного раствора перенесли в ячейку для титрования. Получили следующие результаты:

I вариант: C (AgNO₃) = 0,01954 М

V(AgNO ₃),мл	0,6	0,66	0,73	0,76	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
E, мВ	-180	-155	-125	-75	25	175	200	220	240

V(AgNO ₃),мл	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
E, мВ	255	265	285	305	330	360	375	380	385

II вариант: C (AgNO₃) = 0,01970 М

V(AgNO ₃),мл	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70	0,80
E, мВ	-106	-100	-95	-86	-72	-30	21	30	50

V(AgNO ₃),мл	0,90	1,0	1,10	1,20	1,30	1,40	1,45	1,50	1,60	1,70
--------------------------	------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------

E, мВ 80 130 156 176 200 275 315 332 348 355

Построить кривую титрования и рассчитать массу хлорид- и иодид-ионов в исследуемом растворе в миллиграммах.

Для определения Cl^- - иона в красителе точную навеску последнего массой m , г поместили в мерную колбу вместимостью 50 мл, растворили в воде и довели раствор до метки водой. Аликвоту 10,0 мл раствора перенесли в ячейку и оттитровали потенциометрически 0,0197 М раствором AgNO_3 . Получили следующие результаты:

I вариант: $m = 0,0502$ г

V(AgNO_3),мл	0,1	0,3	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
E, мВ	-85	-70	-55	-35	-15	5	10	30	50	80

V(AgNO_3),мл	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
E, мВ	105	165	255	305	330	345

II вариант: $m = 0,0565$ г

V(AgNO_3),мл	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
E, мВ	-45	-35	-25	0	15	30	45	70

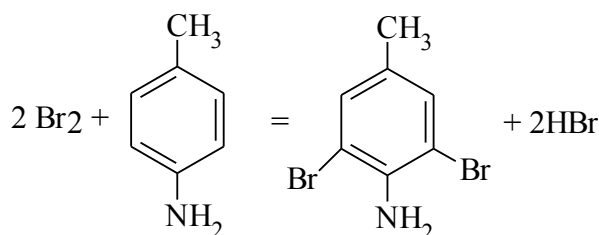
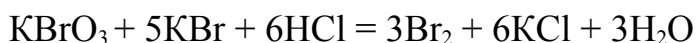
V(AgNO_3),мл	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
E, мВ	105	180	240	305	330

III вариант: $m = 0,0415$ г

V(AgNO_3),мл	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
E, мВ	-65	-55	-35	-20	0	25	100	290	335	350

Построить кривую титрования и рассчитать массовую долю хлорид-иона в красителе.

Для потенциометрического определения p – толуидина исследуемый раствор довели до метки водой в мерной колбе вместимостью 100 мл и 10,0 мл полученного раствора оттитровали раствором 0,1999 М ($1/6\text{KBrO}_3$):



Получили следующие результаты:

I вариант:

V(KBrO ₃),мл	0,50	1,00	1,50	1,58	1,62	1,64	1,68	1,72	1,82
E, мВ	695	695	695	717	731	737	742	744	750

II вариант:

V(KBrO ₃),мл	0,50	0,78	0,82	0,85	0,88	0,92	0,96	1,00	1,10
E, мВ	652	652	724	735	740	745	748	750	754

III вариант:

V(KBrO ₃),мл	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
E, мВ	693	700	705	707	710	713	754	775	779	783	785

Построить кривую титрования и рассчитать массу n – толуидина в исследуемой пробе в граммах, если $M(1/4 C_7H_9N) = 26,79$.

Навеску смеси двух аминокислот – аланина и фенилаланина – массой 0,3702 г растворили в ледяной уксусной кислоте и раствор довели до метки в мерной колбе вместимостью 50,0 мл. Аликвоту 5,0 мл полученного раствора оттитровали потенциометрически 0,0881 М раствором HClO₄ в ледяной уксусной кислоте. Получили следующие результаты:

V(HClO ₄),мл	2,0	2,2	2,6	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,6	5,0
E, мВ	401	405	416	434	445	470	556	596	612	624	639	649

Построить кривую титрования в интегральном и дифференциальном виде и рассчитать массовую долю аланина ($M = 89,09$) и фенилаланина ($M = 165,19$) в анализируемой смеси.

Для проверки качества салицилата натрия точную навеску препарата массой 0,0446 г поместили в ячейку для титрования, растворили в 30,0 мл ледяной уксусной кислоты и оттитровали потенциометрически 0,0881 М раствором HClO₄ в ледяной уксусной кислоте. Получили следующие результаты:

V(HClO ₄),мл	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
E, мВ	413	419	427	436	451	488	602	630	643	650	655

Построить кривую титрования в интегральном и дифференциальном виде и вычислить массовую долю салицилата натрия ($M = 161,12$) в препарате.

Точную навеску установочного вещества массой m , г растворили в мерной колбе вместимостью 50 мл и довели раствор до метки ледяной уксусной кислотой. При потенциометрическом титровании аликвоты 5,0 мл

полученного раствора хлорной кислотой в безводной уксусной кислоте получили следующие результаты:

E, мВ	V(HClO ₄),мл	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	m(KHC ₈ H ₄ O ₄) = = 0,39962	383	389	398	420	509	547	562	568	-
E, мВ	m(C ₁₃ H ₁₃ N ₃) = = 0,4003 г	382	389	402	419	473	594	622	636	644
	V(HClO ₄),мл	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2
E, мВ	m(Na ₂ CO ₃) = = 0,2500 г	431	439	450	465	486	523	550	566	575

Построить кривые титрования в координатах E-V и ΔE / ΔV-V и вычислить нормальную концентрацию HClO₄ а) по бифталату калия KHC₈H₄O₄; б) дифенилгуанидину C₁₃H₁₃N₃; в) по соде Na₂CO₃.

Навеску технического салицилата натрия NaHSal массой 0,8008г растворили в мерной колбе вместимостью 50 мл и раствор довели до метки ледяной уксусной кислотой. Аликвоту 5,0 мл полученного раствора перенесли в ячейку для титрования и оттитровали потенциметрически 0,1 М (K = 1,030) раствором HClO₄ в ледяной уксусной кислоте. Получили следующие результаты:

V(HClO ₄),мл	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4
E, мВ	440	447	458	474	512	595	615	625

Построить кривую титрования и рассчитать массовую долю индифферентных примесей в анализируемом препарате.

Точную навеску пролина марки "ч" растворили в ледяной уксусной кислоте и оттитровали потенциметрически 0,1 М раствором (K = 1,035) HClO₄ в безводной уксусной кислоте. Получили следующие результаты:

V(HClO ₄),мл	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4
E, мВ	136	145	157	176	279	325	339	345

Построить кривую титрования и рассчитать массовую долю основного вещества в образце (M (пролина) = 115,13).

Глава 11

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЯ. АМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Решение типовых задач

Пример 1. Определить характеристику капилляра при $E = -0,6$ В относительно данной ртути, если 100 капель ртути весят 990 мг, а время образования 10 капель – 45 секунд.

Решение. Характеристика капилляра k есть $m^{2/3} \cdot \tau^{1/6}$. Находим массу ртути, вытекающей из капилляра за 1 с:

$$m = \frac{990 \cdot 10}{100 \cdot 45} = 2,2 \text{ мг/с}$$

Период капания

$$\tau = \frac{45}{10} = 4,5 \text{ с}$$

Тогда

$$k = 2,2^{2/3} \cdot 4,5^{1/6} = 1,692 \cdot 1,285 = 2,174.$$

Пример 2. Вычислить концентрацию кадмия в растворе, если при анализе 15,0 мл раствора, содержащего Cd^{2+} , методом добавок высота полярографической волны составила 20,5 мм, а после добавления 2,0 мл стандартного 0,05300 М раствора CdCl_2 ($f_{\text{экв.}} = 1/2$) высота волны увеличилась до 24,3 мм.

Решение. Воспользуемся формулой для метода добавок (см. Васильев В.П. Аналитическая химия: В 2 ч. М.:Высшая школа, 1989. С.239)

$$C_x = \frac{C_{\text{ст.}} \cdot V_{\text{ст.}} \cdot h_x}{h_{x+\text{ст.}} (V_x + V_{\text{ст.}}) - h_x \cdot V_x} = \frac{0,05300 \cdot 2 \cdot 20,5}{24,3 (15 + 2) - 20,5 \cdot 15} = 0,02058 \text{ моль экв/л}$$

Пример 3. При снятии вольтамперной кривой раствора, содержащего неизвестный ион и 0,1 М раствор NaOH, были получены следующие данные:

-E, В	0,645	0,695	0,720	0,745	0,770	0,795	0,820	0,870	0,920
I, мкА	0,3	0,3	0,46	1,14	2,35	2,89	3,00	3,00	3,00

Построить графическую зависимость, соответствующую уравнению полярографической волны, и определить число электронов, участвующих в электродном процессе, и потенциал полуволны. Что это был за ион?

Решение. Из приведенной таблицы данных видно, что $I_{пр.} = 3$ мкА, $I_0 = 0,3$ мкА, тогда $I_d = 3 - 0,3 = 2,7$ мкА.

Рассчитываем данные для построения графика:

- E	0,720	0,745	0,770	0,795
I	0,46	1,14	2,35	2,89
$I - I_0$	0,16	0,84	2,05	2,59
$I / (I_d - I)$	0,063	0,452	3,15	23,5
$Lg I / (I_d - I)$	- 1,20	- 0,35	0,50	1,37

Строим график в координатах $lg(I / (I_d - I)) - (- E, В)$ (рис.1).

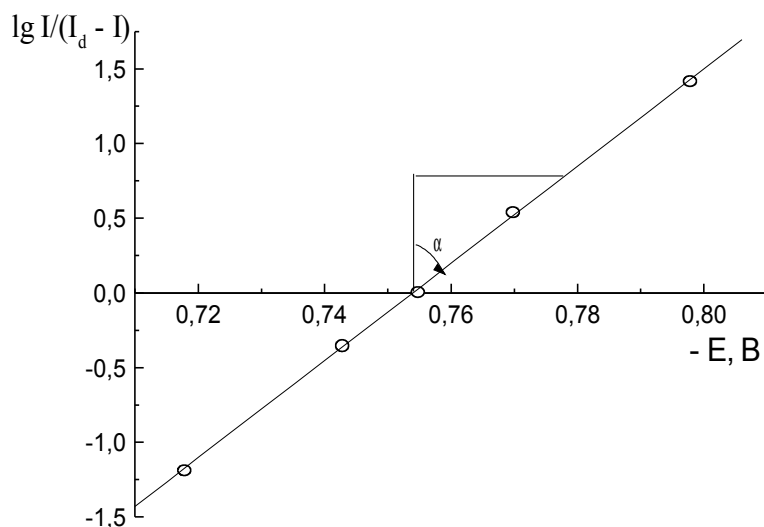


Рис. 1. Зависимость $lg(I / (I_d - I))$ от потенциала.

Из графика находим $ctg \alpha = \frac{0,059}{n} = 0,02875$. Отсюда $n = 2$.

Значение $E_{1/2}$ находим как точку пересечения прямой с осью абсцисс: $E_{1/2} = - 0,755$ В. С помощью таблицы (см. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.:Химия. 1979. С.420) определяем, что в растворе находился ион Pb^{2+} .

ЗАДАЧИ

1. Для определения Zn полярографическим методом построили градуировочный график, используя 10^{-4} М раствор Zn. Аликвотные части его $V_{ал.}$ разбавили буферным аммиачным раствором до 25 мл и записали полярограммы. Получили данные:

$V_{ал.}(Zn)$, мл	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
h, мм	9	16	26,5	35	41	54

Навеску сплава массой 1,000 г растворили в 25 мл смеси кислот, отобрали 5,0 мл полученного раствора и довели объем до 25 мл буферным раствором. При полярографировании получили высоту волны 24,7 мм. Определить массовую долю Zn в сплаве.

Для полярографического определения Mn (II) построили градуировочный график: аликвотные части $V_{ал.}$ раствора соли Mn (II) с концентрацией $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л разбавили буферным раствором до 25 мл и получили полярограммы. Были получены следующие данные:

$V_{ал.}(Mn II)$, мл	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
h, мм	9	16	26,5	35	41	54

Навеску сплава массой 0,5000 г, содержащую марганец, растворили в 100 мл HNO_3 , отобрали 5,0 мл полученного раствора и разбавили тем же буферным раствором до 25 мл. При полярографировании получили высоту волны 32,7 мм. Рассчитать массовую долю Mn в сплаве.

Определение Zn в сплаве проводили полярографическим методом. Навеску сплава массой 0,8120 г перевели в мерную колбу вместимостью 200 мл. Затем 50,0 мл полученного раствора поместили в мерную колбу вместимостью 100 мл и довели до метки водой. При полярографировании этого раствора получили волну высотой 36 мм. Для полярографирования стандартного раствора в мерную колбу вместимостью 100 мл поместили 5,0 мл раствора, содержащего 0,085 мг/мл Zn, и довели раствор до метки водой. Для этого раствора получили волну высотой 25 мм. Вычислить массовую долю цинка в сплаве.

Содержание меди в сплаве определяли полярографическим методом. Навеску сплава 1,1206 г после растворения перевели в мерную колбу вместимостью 100 мл. При полярографировании исследуемого раствора получили волну высотой 29 мм. Затем 30,0 мл стандартного раствора, содержащего 0,8 мг/мл меди, поместили в мерную колбу вместимостью 100 мл. Полярографирование стандартного раствора дало высоту волны 21 мм. Вычислить массовую долю меди в сплаве.

Для определения содержания меди в латуни навеску последней q растворили и довели раствор до метки водой в мерной колбе вместимостью 50 мл. Раствор полярографировали и определили высоту волны на полярограмме h_x , мм. Приготовили стандартный раствор сульфата меди: точную навеску $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ массой 9,8232 г растворили в 100 мл воды. Для построения градуировочного графика в мерные колбы вместимостью 50 мл поместили 1,0; 2,0; 3,0 и 4,0 мл стандартного раствора и довели до метки водой. При полярографировании полученных растворов получили:

$V_{\text{ст.}}$, мл	1,0	2,0	3,0	4,0
$h_{\text{ст.}}$, мм	5,0	15,0	25,0	35,0

Построить градуировочный график и выполнить расчет в соответствии с вариантом:

Дано:	Варианты:		
	I	II	III
q , г	0,1000	0,1435	-
h_x , мм	18,0	28,0	23,0
$\omega(\text{Cu})$, %	-	-	58,25
Рассчитать:	$\omega(\text{Cu})$, %	$m(\text{Cu})$, г	q , г

6. Для четырех стандартных растворов, содержащих хром, сняли их полярограммы и получили следующие результаты:

Образцы №	1	2	3	4
$C(\text{Cr}) \cdot 10^3$, моль/л	0,30	0,42	0,96	1,40
h , мм	8,0	10,0	20,0	28,0

Навеску анализируемого образца q г, растворили в смеси кислот и довели до метки водой в мерной колбе вместимостью 100 мл. При полярографировании этого раствора измерили h_x , мм. Построить градуировочный график и выполнить расчеты в соответствии с вариантом:

Дано:	Варианты:	
	I	II
q , г	1,8025	-
h_x , мм	22,0	14,0
$\omega(\text{Cr})$, %	-	0,25 %
Рассчитать:	$\omega(\text{Cr})$, %	q , г

Для определения содержания примеси свинца в металлическом алюминии навеску последнего q растворили, перенесли в мерную колбу вместимостью V мл и раствор довели водой до метки. При снятии полярограммы высота волны оказалась h_x . При полярографировании стандартных растворов соли свинца получили следующие результаты:

$C(\text{Pb}) \cdot 10^6$, г/мл	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
$h_{\text{ст}}$, мм	4,0	8,0	12,0	16,0	20,0

Построить градуировочный график и выполнить расчеты в соответствии с условиями варианта:

Дано:	Варианты:			
	I	II	III	IV
q , г	2,5000	-	7,5860	5,3000
V , мл	50	50	100	-
h_x , мм	6,0	14,0	17,0	11,0
$\omega(\text{Pb})$, %	-	$1,5 \cdot 10^{-3}$	-	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Рассчитать:	$\omega(\text{Pb})$, %	q , г	$\omega(\text{Pb})$, %	V , мл

При амперометрическом титровании 10,0 мл раствора свинца стандартным раствором Na_2SO_4 при $E = 1,0$ В получили следующие данные:

$V(\text{Na}_2\text{SO}_4)$, мл	I вариант	II вариант	III вариант
	$T(\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{Pb}) =$ $= 0,00640$ г/мл	$C(1/2 \text{Na}_2\text{SO}_4) =$ $= 0,06178$ моль/л	$T(\text{Na}_2\text{SO}_4) =$ $= 0,004387$ г/мл
	I_d мкА	I_d мкА	I_d мкА
0	215	151	105
0,5	163	106	72
1,0	113	57	40
1,5	60	31	30
2,0	40	31	30
2,5	39	30	29

Построить кривую титрования и рассчитать концентрацию свинца в растворе, мг/л.

Определить концентрацию никеля в растворе мг/л, если при амперометрическом титровании 20,0 мл этого раствора спиртовым раствором диметилглиоксима (ДМГО) с титром по никелю 0,00203 при $E = -1,76$ В получили следующие результаты:

$V(\text{ДМГО})$, мл	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
-----------------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

I_d , мкА	240	190	140	93	4	76	110	145	180
-------------	-----	-----	-----	----	---	----	-----	-----	-----

Определить концентрацию цинка в растворе, моль/л, если при амперометрическом титровании 10,0 мл его свежеприготовленным раствором $K_4Fe(CN)_6$ с титром по цинку 0,00244 при $E = -1,46$ В получили следующие данные:

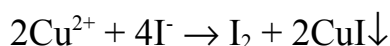
$V(K_4Fe(CN)_6)$, мл	0	0,2	0,4	0,5	1,0	1,5	2,0
I_d , мкА	30	30	31	40	84	146	210

Исследуемый раствор, содержащий ионы цинка, поместили в мерную колбу вместимостью 50 мл и довели до метки 0,1 М раствором K_2SO_4 . Аликвоту 10,0 мл этого раствора поместили в электролизер и при $E = 1,0$ В провели амперометрическое титрование цинка раствором $K_4Fe(CN)_6$ ($T(K_4Fe(CN)_6/Zn) = 0,5660 \cdot 10^{-3}$). Получили следующие результаты:

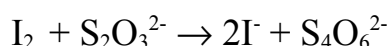
$V(K_4Fe(CN)_6)$, мл	0,2	0,4	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
I_d , мкА	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	1,0	1,6	2,2	2,8

Построить кривую титрования и рассчитать массу Zn в исследуемой пробе, мг.

Для амперометрического определения меди использовали метод замещения. К определяемому раствору добавили иодид калия:



Заместитель – I_2 – оттитровали тиосульфатом натрия по току иода:



Получили следующие результаты:

$V(Na_2S_2O_3)$, мл	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
I_d , мкА	185	180	172	160	140	120	102

$V(Na_2S_2O_3)$, мл	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
I_d , мкА	85	62	30	20	3	3	3

Построить кривую титрования и рассчитать массу меди в растворе в миллиграммах, если для титрования была взята аликвота 5,0 мл, общий объем раствора меди – 100 мл, а $T(Na_2S_2O_3/Cu) = 0,06173 \cdot 10^{-3}$ г/мл.

Содержание тиомочевины $CS(NH_2)_2$ в техническом продукте определяли амперометрическим методом путем титрования ее ионами ртути (II) по току восстановления ртути. Навеску анализируемого вещества массой 0,1600 г растворили и поместили в ячейку для титрования. Титровали раствором ртути (II), полученным растворением точной навески $Hg(NO_3)_2$.

H₂O массой 3,4262 г в 100 мл воды, подкисленной HNO₃. При титровании получили следующие результаты:

Объем титранта, мл	0,0	2,0	4,0	5,0	6,0	8,0	9,0	9,5	10,0
I _d , мкА	0	0	0	1	3	5	9	45	80

Построить кривую титрования и рассчитать массовую долю тиомочевины в техническом продукте.

Содержание тиомочевины определяли амперометрическим методом путем титрования ее ионами ртути (II). Предварительно таким же методом установили точную концентрацию раствора Hg(NO₃)₂. Для титрования в ячейку поместили раствор, содержащий 0,0996 г тиомочевины CS(NH₂)₂. Получили следующие результаты:

Объем раствора ртути (II), мл	0,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	6,5	7,0	7,5
I _d , мкА	0	0	0	1,5	5	8	20	60	95

Построить кривую титрования и рассчитать T (Hg(NO₃)₂/ CS(NH₂)₂).

При определении содержания фенола в сточной воде 50,0 мл последней разбавили в мерной колбе вместимостью 250 мл и записали полярограмму при чувствительности 1/10. Высота волны при этом оказалась равной 24,5 мм. Полярографирование стандартного раствора, содержащего 25,6 мг фенола в 250 мл, при чувствительности 1/100 дало высоту волны 38,5 мм. Определить концентрацию фенола в сточной воде, мг/л.

7. При анализе 10,0 мл исследуемого раствора меди методом добавок получена волна высотой 20,5 мм. После добавления 2 мл стандартного раствора меди с концентрацией 0,05000 моль/л высота волны увеличилась до 24 мм. Рассчитать концентрацию меди в исследуемом растворе, моль/л.

Навеску минерала, содержащего титан, массой 0,5650 г растворили и раствор разбавили водой до 200 мл. При полярографировании 10,0 мл раствора высота волны оказалась равной 5,5 мм. После прибавления 0,25 мл стандартного раствора TiCl₄ с концентрацией 3,5·10⁻⁵ г/мл высота волны увеличилась до 6,35 мм. Определить массовую долю TiO₂ в минерале.

Для определения свинца в цинковой руде методом добавок навеску руды массой 2,2665 г растворили и после соответствующей обработки довели объем раствора до 200 мл водой. Аликвоту 20,0 мл полученного раствора

поместили в электролизер и сняли полярограмму при $E = - 0,45$ В. Высота волны оказалась равной 25 мм. После добавления в электролизер 5,0 мл стандартного 0,0020 М раствора $Pb(NO_3)_2$ получили высоту волны, равную 35 мм. Рассчитать массовую долю свинца в руде.

При снятии вольтамперной кривой кадмия с использованием РКЭ и раствора 0,1 М HCl в качестве фона были получены следующие результаты:

- E, В	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
h, мм	2	2	3	3,5	4,5	25	45	46	47

Вычислить потенциал полуволны кадмия и число электронов, участвующих в процессе.

20. При снятии вольтамперной кривой для хлорида индия в 1 М KCl были получены данные:

- E, В	0,550	0,562	0,575	0,587	0,600	0,612	0,625	0,650	0,675
I, мкА	0	0,64	2,36	8,41	20,50	30,21	33,75	35,00	35,00

Найти потенциал полуволны и число электронов, участвующих в катодном процессе.

Глава 12

ЭЛЕКТРОЛИЗ. КУЛОНОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Решение типовых задач

Пример 1. При кулонометрическом титровании 20,0 мл раствора дихромата калия электрохимически генерируемым железом (II) на восстановление ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ понадобилось 25 мин при силе тока 200 мА. Определить нормальную концентрацию раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Решение. Через раствор прошло количество электричества $Q = I \cdot t = 25 \cdot 60 \cdot 0,200 = 300$ Кл. При прохождении 96500 Кл восстанавливается 1 моль экв $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. При прохождении 300 Кл восстанавливается $300 / 96500 = 0,0032$ моль экв $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

В 20 мл находится 0,0032 моль экв дихромата калия. Следовательно, нормальная концентрация раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ равна

$$\frac{0,0032}{20,0} \cdot 1000 = 0,160 \text{ моль экв/л.}$$

Пример 2. Вычислить электрохимический эквивалент цинка в электролите сульфата цинка.

Решение. Электрохимический эквивалент равен

$$\frac{A(\text{Zn})}{nF} = \frac{65,38}{2 \cdot 96500} = 0,0003388 \text{ г} = 0,3388 \text{ мг.}$$

Пример 3. Сколько граммов кадмия выделится на электроде при токе 0,1 А и продолжительности электролиза 1 час, если выход по току составляет 93%?

Решение. По закону Фарадея при 100 %-м выходе по току

$$M(\text{Cd}) = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F} = \frac{112,4 \cdot 0,1(60 \cdot 60)}{2 \cdot 96500} \text{ г.}$$

С учетом неполного выхода по току

$$m(\text{Cd}) = \frac{112,4 \cdot 0,1(60 \cdot 60)}{2 \cdot 96500} \cdot \frac{93}{100} = 0,195 \text{ г.}$$

ЗАДАЧИ

1. Определяли содержание кобальта в сплаве кулонометрическим методом. При этом в серебряном кулонометре выделилось 0,0755 г серебра. Определить массовую долю Co в сплаве, если масса навески сплава равна 1,5000 г.

При кулонометрическом анализе раствора, содержащего кадмий, за время электролиза выделилось 0,4050 г осадка металла. За то же время в серебряном кулонометре выделилось 0,2750 г серебра. Определить массу кадмия в растворе.

Сколько граммов Zn выделится на катоде при электролизе 50,0мл 0,1 М ($1/2 \text{ZnSO}_4$), если ток 0,3 А, время электролиза 10 мин., выход по току 95%? Достигается ли при этом полное выделение Zn ?

Сплав содержит около 30 % Cu , взятая навеска сплава для электролиза – 2,5420 г. Какое время необходимо для полного выделения меди при токе 0,5 А, если выход по току – 90 % ?

Сколько времени надо проводить электролиз для полного выделения меди при токе 0,3 А, если масса меди, содержащейся в электролите, 0,2000 г и выход по току составляет 90 % ?

Навеску сплава массой 0,4450 г перевели в раствор и анализировали содержание меди с помощью электролиза при токе 0,35 А в течение 40 мин.; при этом масса катода увеличилась на 0,1892 г. Определить, достаточно ли было времени для полного выделения Cu , если выход по току составил 90 %. Вычислить массовую долю Cu в сплаве.

Определить, за какое время при электролизе раствора FeCl_3 выделится 0,1000 г железа, если ток равен 4 А?

При постоянном токе 0,19 А для выделения меди на катоде и PbO_2 на аноде из навески сплава массой 1,8350 г потребовалось 50 мин. Определить привес катода и анода и массовую долю Pb и Cu в сплаве.

Для полного выделения цинка из навески цинковой руды массой 2,2500 г после соответствующей обработки потребовалось 18,5мин. при токе 1,15 А. Определить массу выделившегося цинка и массовую долю ZnO в руде.

При пропускании тока через последовательно включенные электролизеры с растворами AgNO_3 , CuSO_4 и ZnCl_2 в первом электролизере на катоде выделилось 1,118 г серебра. Какая масса меди выделится во втором электролизере и цинка – в третьем ?

Какая масса меди выделится на катоде при электролизе раствора медного купороса, если пропускать ток силой 0,2 А в течение 1 ч. 15 мин. (выход по току – 90 %) ?

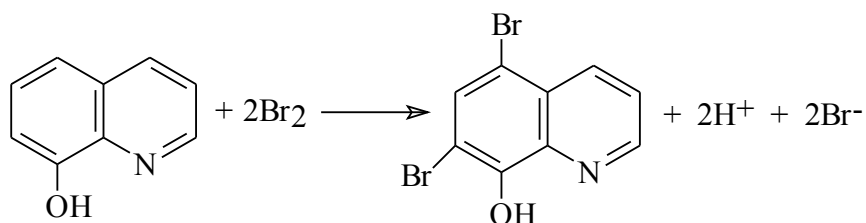
При электролизе раствора ZnSO_4 на катоде за 768 с. осадилось 0,1200 г цинка. Какую силу тока необходимо было поддерживать при электролизе, если выход по току составил 90 % ?

Кулонометрическое титрование Се (IV) электролитически генерируемыми ионами Fe (II) при силе тока 25,2 мА закончилось за 3 мин. 20 с. Какова масса церия в растворе ?

Навеску алюминия массой 1,2245 г растворили и кулонометрически оттитровали ионы Fe³⁺, содержащиеся в алюминии в качестве примеси. Титрантом служили ионы Sn (II), генерируемые при силе тока 4,0 мА. Титрование закончилось через 80 с. Определить массовую долю железа в алюминии.

Для определения иодид-ионов использовали кулонометрический метод, титруя I⁻ -ионами ионы MnO₄⁻, которые электрогенерируются в анодном пространстве в сернокислой среде. Точку эквивалентности установили потенциометрически. Вычислить массу I⁻ в растворе, мг, если титрование продолжалось 272 с., а сила тока равнялась 8,0 мА и была постоянной.

Для определения 8-гидроксихинолина C₉H₇ON исследуемый раствор кулонометрически титровали бромом, электрогенерируемым из KBr в присутствии H₂SO₄ :



Конец реакции определили биамперометрически. Найти массу 8-гидроксихинолина, мг, если время электролиза составило 100 с при силе тока 6,0 мА.

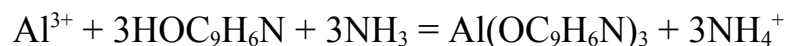
17. Раствор дихромата калия объемом 20,0 мл оттитровали электролитически генерируемыми ионами железа (II) при силе тока 0,2 А в течение 15 мин. Определить нормальную концентрацию раствора дихромата калия.

Титрование раствора, содержащего уран (IV), провели кулонометрическим методом с помощью ионов церия (IV), которые электрогенерировались в сернокислом растворе при постоянной силе тока 5,0 мА. Точку эквивалентности определили амперометрически, при этом время электролиза t составило 102 с. Сколько миллиграммов урана содержалось в растворе ?

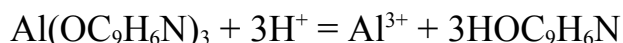
В анодную камеру кулонометрической ячейки ввели раствор SO₂ в пиридине и раствор KI в метаноле. Установив силу тока генерационной цепи 40 мА, провели генерирование иода до достижения заданного тока в индикаторной цепи. Затем внесли в ячейку пробу бензола массой 0,5106 г, включили секундомер и провели титрование воды, содержащейся в бензоле, до получения такого же значения индикаторного тока. Время титрования составило 2,5 минуты. Вычислить массовую долю воды в

бензоле, если на 1 моль воды при взаимодействии с реактивом Фишера приходится 2 электрона.

Навеску сурьмы массой 0,5346 г перевели в раствор и содержащийся в качестве примеси алюминий выделили в виде оксихинолята:



После очистки и растворения осадка в HCl провели кулонометрическое титрование раствора бромом, полученным в ходе электролиза из KBr при постоянной силе тока 8,5 мА:



Точка эквивалентности, найденная биамперометрически, соответствовала времени электролиза 108 с. Рассчитать массовую долю алюминия в сурьме.

ОТВЕТЫ

Глава 1

3. 0,01815 г; 1,532% 4. 0,1411 г 5. 4,48 г/л 6. 99,32% 7. 2,1%;
8. 87,61% 9. 20 мл 10. 25 мл 11. 4,79 г 12. 2,75 г 13. 3,58 г 14. 1,02
г 15. 0,9219 г 16. 0,0372 г 17. 0,238 г 18. 0,72 г 19. 0,47 г 20. 0,15 г
21. 37,5 мл 22. 25 мл 23. 20,5 мл 24. 2,47 мл 25. 10,4 мл 26. 8,5 мл

Глава 2

1. 1) 0,4988; 2) 0,1005; 3) 0,2412; 4) 0,1039; 5) 0,5431; 6) 0,004943; 7)
0,003992; 8) 0,004615; 9) 0,004087; 10) 0,002751; 11) 0,04906; 12)
0,005005; 13) 0,004932; 14) 0,003999; 15) 0,0004474; 16) 0,002398; 17)
0,003814; 0,002933 18) 0,04947 моль/л; 0,09894; 0,002774 19) 0,4904;
0,004810; 0,003923 2. $T(\text{Na}_2\text{CO}_3)=0,05316$; а) $T(\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{HCl})=0,003658$;
 $c(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)=0,1003$; б) $T(\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{HCl})=0,001829$; $c(\text{Na}_2\text{CO}_3)=0,05016$.
3. 1,003. 4. 0,2307 моль/л; 0,008412 г/мл. 5. 60 мл. 6. 135 мл. 7. 14,05
мл. 8. 32,90 мл. 9. 8,0 мл. 10. 27,9 мл. 11. 0,5000. 12. 0,8163 г. 13.
0,1934. 14. 0,1264 моль/л; 0,004698 г/мл. 15. 0,1038; 0,004673 16.
0,09600 моль/л; 0,003840 и 0,003500 г/мл. 17. 0,09454 моль/л;
0,003447 и 0,003781 г/мл. 18. 0,09792. 19. 500 мл. 20. 0,1735 г. 21.
0,21 г. 22. 0,13 г. 23. 0,12 г. 24. 0,09978 г. 25. 2,604 г. 26. 0,27 г.
27. 87,52% H_3PO_4 ; 63,39% P_2O_5 . 28. 95,86%. 29. 42,70%. 30.
0,07318. 31. 39,44% CaCO_3 ; 60,56% BaCO_3 . 32. KOH. 33. 88,58%.
34. 88,91% Na_2CO_3 ; 9,00% NaHCO_3 . 35. 2,62%. 36. 1,26 г HCl; 32,73
г H_3PO_4 . 37. 123,95 г/л H_2SO_4 ; 263,13 г H_3PO_4 . 38. 0,14 г. 39. 0,17 г.
40. 86,22%. 41. 1,218 г. 42. 0,1468. 43. 9,65%. 44. 26,05%. 45.
21,49%. 46. $c(\text{HClO}_4)=0,2493$; $c(\text{NaOH})=0,2732$. 47. 3,766. 48.
39,59% SrCO_3 ; 60,41% Li_2CO_3 . 49. 45 мл. 50. 5,86 мл. 51. 6,70 г/л.
52. 24,21 % KCl; 15,30 % K_2O . 53. 23,08 мл. 54. 45,03 %. 55. 269,64
г/л. 56. 97,79 %. 57. 0,3232 г. 58. 0,55 г. 59. 2,205 г.

Глава 3

1. 0,1361 моль/л и 0,02313 г/мл 2. 0,09463 и 0,009196 г/мл 3. 0,08983
4. 0,1003; 0,01704 г/мл 5. 0,08642 и 0,003068 г/мл 6. 0,28 г/л 7.
70,53% 8. 3,28 г 9. 66,63 г/л 10. 99,06% 11. 0,78 г 12. 0,36 г 13.
36,15% 14. 0,64 г 15. 20 мл 16. 85,58% 17. 0,16 г 18. 25 мл 19. 0,35
г 20. 32,16% 21. 22,79% 22. 56,79% 23. 14,42 г/л 24. 6,87 г 25.
62,4% 26. 2,095 г

Глава 4

1. 0,0931 моль/л; 2. 0,01626 г/мл; 3. 2,14 г; 4. 0,0270 моль/л; 0,008764 г/мл; 5. 0,06539 г; 6. 0,009788 моль/л; 7. 0,05136 моль/л и 0,002876 г/мл; 8. 0,23 г; 9. 0,1192 г; 10. 14,38%; 11. 0,1355 г 12. 98% 13. 0,6817 г 14. 91,7% 15. 1,4644 г/л 16. 0,2688 г/л Ca; 0,08369 г/л Mg 17. 1,943 ммоль/л 18. 3,25% 19. 3,6% 20. 3,06% 21. 0,3129 г 22. 0,365 г/л 23. 16,31 мг 24. 21,85% 25. 67,12 мг/л 26. 82,12% 27. 360 мг/л 28. 94,38% 29. 16,70 и 34,02 % 30. 2,55 г/л 31. 0,1041 г 32. 0,5736 г 33. 1,092 г 34. 0,4144 г 35. 0,1567 г

Глава 5

1. 1) 0,7902 г; 2) 1,679 г; 3) 1,478 г. 2. 1) 300 мл; 2) 350 мл. 3. 1) 4,903 г; 2) 2,476 г; 3) 0,6129 г 1) 115,4 мл; 2) 25,07 мл. 4. 1) 115,4 мл; 2) 25,07 мл. 5. 1) 2,482 г; 2) 2,516 г; 3) 1,313 г. 6. 0,08757; 0,002768 г/мл. 7. 250 мл. 8. 2,649 г. 9. 0,1019. 10. 0,001095. 11. 0,3 г. 12. 0,01366; 0,0001501 г/мл. 13. 0,27 г. 14. 0,3699 г. 15. 2,672 г. 16. 0,08749. 17. 0,06161. 18. 0,1413 моль/л; 0,01793 г/мл. 19. 91,15 %. 20. 0,5603 г. 21. 28,63 %. 22. 74,18 % Fe 25,82 % Fe₂O₃. 23. 2,50 %. 24. Fe₂O₃. 25. 92,21 %. 26. 3,61 %. 27. 3,59 %. 28. 69,23 %. 29. 0,2523 г. 30. 2,61 мг/мл. 31. 98,23 %. 32. 74,91 %. 33. 0,1588 г. 34. 0,0684 г. 35. 0,7415 г. 36. 1,17 %. 37. 80,53 %. 38. 0,5150 г/л. 39. 18,16 %. 40. 0,2023 г/л. 41. 2,5868 г/л. 42. 18,21 %. 43. 21,26 мл. 44. 0,2393 г. 45. 3,50 мл. 46. 19,08 %. 47. 48,03 %. 48. 0,0290 моль/л. 49. 0,0191 г. 50. 48,03 %. 51. 0,1308 г.

Глава 6

1. 1) 2823,40; 2) 3271,97; 3) 2376,71; 4) 4266,46; 5) 4640,26; 6) 3741,42; 7) 3617,71; 8) 4866,99; 9) 2486,43; 10) 3290,20; 2. 1) 2476,42; 2) 3084,67; 3) 3501,01; 4) 4870,28; 5) 2824,27; 3. 1) Al, 2) Ni, 3) Ti, 4) Sn, 5) V, 6) Pb. 4. 1) Zn, 2) Pb, 3) Al, 4) Cu. 5. 1) Fe:Mo, 2) Fe:W, 3) Al:Cr:Co, 4) Al:Fe, 5) Al:Zn:Cu, 6) Mg:Zn, 7) Cu:Pb, 8) Cu:Sn, 9) Sn:Pb, 10) Pb; 6. 1) 1,2 %; 2) 0,2 %; 3) 0,23 %; 7. 0,04 %; 8. 1,44 %; 9. 0,85 %; 10. 2,57 %; 11. 3,30 %; 12. 1) 1,9 %; 2) 2,26 %; 3) 2,57 %; 13. 1) 2,57 %; 2) 2,0 %; 3) 2,72 %; 4) 3,80 %; 5) 3,16 %; 14. 2,51 %; 15. 1,77 %; 16. 0,224 %; 17. 1,99 %; 18. 2,82 %; 19. 3,55 %; 20. 1) 1,99 %; 2) 1,26 % 3) 3,98 %; 4) 5,98 %; 21. 1) 0,65 %; 2) 1,12 %; 3) 0,85 %; 4) 3,98 %; 22. 2,29 %; 23. 3,59 %; 24. 0,44 %; 25. 1) 0,19 %; 2) 0,22 %; 3) 0,23 %; 4) 0,21 %; 5) 0,35; 26. 1,12 %; 27. 7,08 %; 28. 0,83 %; 29. 0,36 %; 30. 1,12 %; 31. 1) 0,18 %;

2) 0,26 %; 3) 0,56 %; 4) 0,40 % 5) 1,8 %; **32.** 1) 6,8 %; 2) 7,6 %; 3) 11 %; 4) 10 %; 5) 8,6 %; **33.** 1) 3,2 %; 2) 3,82 %; 3) 4,03 %; 4) 4,52 %; 5) 2,98 %; **34.** 1) 3,75 %; 2) 5,51 %; 3) 6,75 %; **35.** 1) 10,0 %; 2) 14,4 %; 3) 16,25 %; **36.** 1) 400 мг/л; 2) 980 мг/л; 3) 1300 мг/л.

Глава 7

1. 0,097; **2.** 1) 88,30 %; 2) 15,81 %; 3) 30,13 %; **3.** 1) 0,654; 2) 0,280; 3) 0,098; **4.** 194; **5.** 0,36; **6.** 675; **7.** 0,173; **8.** 3750; **9.** 4766; **10.** 2,02 %; **11.** 14,11 %; **12.** 1,875 г; **13.** 4,3171 г; **14.** $9,02 \cdot 10^{-6}$ г/мл; **15.** 0,4317 г; **16.** 200 мл, 400 мл, 1000 мл; **17.** 0,033 %; **18.** 3,31 %; **19.** 48,08 %; **20.** 16,28 %; **21.** 0,10 %; **22.** 2,04 %; **23.** 0,66 %; **24.** 2,2 г/л; **25.** 0,0785 %; **26.** 3,02 %; **27.** 3,05 %; **28.** 0,41 **29.** 1) 1,71 г/л; 2) 1,00 г/л; 3) 0,76 г/л; 4) 0,71 г/л; **30.** 0,06 г/л; **31.** 0,5 %; **32.** 1,06 %; **33.** 1) 0,50 %; 2) 9,29 %; 3) 2,36 %; 4) 2,73 %; **34.** 3,65 %; **35.** $2,230 \cdot 10^{-3}$ мг/мл; **36.** 1) 58,2 %; 2) 60,5 %; 3) 64 %; **37.** 1) $6,625 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 2) $6,25 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 3) $5,625 \cdot 10^{-4}$ моль/л **38.** 1) 12,19 %; 2) 13,29 %; 3) 14,17 %; **39.** 34,8 мг/л; **40.** 4,5 %; **41.** 41,88 % Fe, 11,57 % Ti; **42.** 0,74 % Mn, 8,74 % Cr; **43.** 1) 0,95 % V, 1,05 % Ti; 2) 0,76 % V, 0,90 % Ti; 3) 0,97 % V, 0,47 % Ti **44.** 1) 28,5 мкг/мл Co; 6,23 мкг/мл Ni; 2) 17,2 мкг/мл Co; 20,4 мкг/мл Ni; 3) 25,8 мкг/мл Co; 13,8 мкг/мл Ni; **45.** 1) 1,30 мг; 2) 1,53 мг; 3) 1,88 мг; 4) 2,20 мг; **46.** 25,13 мг; **47.** 1) 8,32 %; 2) 7,00 %; 3) 6,83 %; **48.** 1) 5,02 %; 2) 2,84 %; 3) 6,07 %; **49.** 1) 6,06 %; 2) 9,79 %; 3) 3,84 %; **50.** 1) 95,76 %; 2) 94,96 %; 3) 97,06 %; 4) 91,02 %; 5) 98,73 %; **51.** 99,48 %; **52.** 0,08669 моль/л; **53.** 79,01 %; **54.** 1) 1,15 %; 2) 2,85 %; 3) 1,30 %; 4) 4,10 %; **55.** 1) 69 г/л; 2) 60 г/л; 3) 26 г/л; **56.** 1) 80,45 %; 2) 83,90 %; 3) 77,80 %; 4) 88,90 %; V. 83,95 %; 6) 86,40 %; 7) 83,35 %; 8) 87,30 %; 9) 80,25 %; 10) 78,70 %; **57.** 1) 30 %, 70%; 2) 45 %, 55 %; 3) 50 %, 50 %; 4) 60,5 %, 38 %; 5) 81 %, 18,5 %; **58.** 1) 81,2 %, 17,2 %; 2) 84,0 %, 6,0 %; 3) 90,6 %, 5,6 %; 4) 72,7 %, 10,0 %; 5) 88,0 %, 9 %; **59.** 1. 3,5 г/100мл; 2. 4,5 г/100мл; III. 2,9 г/100мл; 4. 2,55 г/100мл; **60.** 1) 21 %, 30 %; № 2) 23,5 %, 34,5 %; **61.** 1) 64,4 %, 35,6 %; 2) 67,3 %, 32,7 %; 3) 72,5 %, 27,5 %; **62.** 1) 3,48 г/200мл, 94 г/200мл; 2) 2,28 г/200мл, 83 г/200 мл; 3) 1,52 г/200мл, 69 г/200 мл; 4) 1,36 г/200мл, 53 г/200 мл; 5) 3,74 г/200мл, 77 г/200мл; **63.** 1) 33,87 %; 2) 23,13 %; 3) 30,0 %; 4) 5,0 %; **64.** 1) 16 %; 2) – 27 %; 3) – 35,5 %

Глава 8

1. 51,48 мкг/л; 2. $1,81 \cdot 10^{-4}$ мг/мл; 3. 0,90 %; 4. 1) 16,5 мг/л; 2) 64 мг/л; 3) 300 мг/л; 5. 1) $8,7 \cdot 10^{-3}$ %; 2) $3,29 \cdot 10^{-3}$ %; 3) $5,95 \cdot 10^{-4}$ %; 6. 1) 2,08 г/л; 2) 3,46 г/л; 3) 6,23 г/л; 7. 1) 0,0072 %; 2) 0,0046 %; 3) 0,0035 %; 8. 1) 433 мг/л; 2) 388 мг/л; 3) 280 мг/л; 9. 1) 0,0082 %; 2) 0,0115 %; 3) 0,0295 %; 10. 1) $4,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 2) $4,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 3) $5,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 11. 54,47 %; 12. 0,14 %; 13. 25,42 %.

Глава 9

1. 0,22 моль/л; 2. 0,76 моль экв/л; 3. 0,13 г/мл; 4. 0,0168 г/мл; 5. $1,67 \cdot 10^{-5}$; 6. ~1; 7. NaOH 84,48 мг, Na₂CO₃ 104,43 мг (I); NaOH 42,24 мг, Na₂CO₃ 53,17 мг (II); 8. 0,06 моль/л; 9. 19,42 г/л; 10. 0,00098 моль/л (I); 0,01036 моль/л (II); 0,0575 моль/л (III); 0,0850 моль/л (IV); 0,1420 моль/л (V); 11. NaOH 0,0280 г/л, NH₄OH - 0,0281 г/л (I); NaOH - 0,0230 г/л, NH₄OH - 0,0347 г/л (II); NaOH 0,0408 г/л, NH₄OH 0,0180 г/л (III); 12. HCl 140,20 мг, CH₃COOH - 287,40 мг; 13. HCl 153,70 мг, CH₃COOH 220,70 мг; 14. 72,90 мг (I); 155,35 мг (II); 15. HCl 1,17 г/л, CH₃COOH 2,27 г/л; 16. KOH 0,1512 г/л, NH₃ - 0,0765 г/л; 17. 0,1040 моль экв/л; 18. Fe 42,3 мг, Co - 16,74 мг; 19. 64,66 мг; 20. KOH 6 мл (0,003 моль экв/л); NH₃ - 6,4 мл (0,0042 моль экв/л).

Глава 10

1. 34,80 % (I); 27,47 % (II); 19,55 % (III); 6,94 % (IV); 2. $8,90 \cdot 10^{-2}$ моль/л (I); $1,00 \cdot 10^{-2}$ моль/л (II); $2,55 \cdot 10^{-3}$ моль/л (III); $1,58 \cdot 10^{-4}$ моль/л (IV); 3. $8,76 \cdot 10^{-3}$ г (I); $5,72 \cdot 10^{-3}$ г (II); 4. 15,97 %; 5. 7,70 %; 6. 0,1000 моль/л; 7. 0,2000 моль/л; 8. 2,41 г/л; 9. 5,84 г/л; 10. 93,08%; 11. 29,75 %; 12. 10,02 %; 13. 5,09 %; 14. HCl 16,4 мг и H₃BO₃ 24,8 мг; 15. Cl⁻ 1,45 мг, I⁻ 9,8 мг (I); Cl⁻ 2,62 мг, I⁻ 8,12 мг (II); 16. 12,54 % (I); 9,30 % (II); 10,11 % (III); 17. 86,75 мг (I); 43,91 мг (II); 74,96 мг (III); 18. фенилаланин - 54,60 %; аланин - 45,40 %; 19. 97,4 %; 20. 1) 0,1030 моль экв/л; 2) 0,09028 моль экв/л; 3) 0,1048 моль экв/л; 21. 6,12 %; 22. 97,98 %;

Глава 11

1. $9,6 \cdot 10^{-3} \%$; 2. $8,3 \cdot 10^{-4} \%$; 3. 0,15 %; 4. 1,55 %; 5. 55 % (I), 0,0850 г (II), 0,1202 г (III); 6. 0,30 % (I), 1,3727 г (II); 7. $1,4 \cdot 10^{-3} \%$ (I), 5,8333 г (II), $2,8 \cdot 10^{-3} \%$ (III), 50 мл (IV); 8. 1088 мг/л(I), 832 мг/л (II), 736 мг/л (III); 9. 203 мг/л; 10. $1,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; 11. 3,74 мг; 12. 6,54 мг; 13. 84,65 %; 14. 0,01606 г/мл; 15. 32,6 мг/л; 16. 0,0247 моль/л; 17. $7,1 \cdot 10^{-2} \%$; 18. 1,22 %; 19. $E_{1/2} = -0,585$ В; $n = 2$; 20. $E_{1/2} = -0,597$ В; $n = 3$.

Глава 12

1. 1,37 %; 2. 0,1433 г; 3. 0,05793 г (35 % от взятого); 4. 1 ч. 26 мин.; 5. 37,5 мин.; 6. 30,4 мин., 42,5 % Cu; 7. 2 мин. 10 с.; 8. 0,1877 г катод, 10,23 % Cu, анод – 0,7064 г, 33,35 % Pb; 9. 23,9 %; примесей; 10. Cu 0,3293 г, Zn 0,3388 г; 11. 0,2666 г; 12. 0,512 А; 13. 7,31 мг; 14. 0,015 %; 15. 6,44 мг; 16. 0,226 мг; 17. 0,09326 моль/л; 18. 0,63 мг; 19. 0,11 %; 20. $4,0 \cdot 10^{-3} \%$;

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть 1	КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ	3
Глава 1	ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	3
	Решение типовых задач	3
	ЗАДАЧИ	4
Глава 2	КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ ТИТРОВАНИЕ	7
	Решение типовых задач	7
	2.1. Молярная масса эквивалента при кислотном титровании.	7
	2.2. Приготовление рабочих растворов. Расчет концентрации стандартных растворов	8
	2.3. Расчет результатов титрования.	9
2	2.3.1. Прямое титрование.	9
3	2.3.2. Обратное титрование	12
4	2.3.3. Титрование по замещению.	13
5	ЗАДАЧИ	15
Глава 3	ТИТРОВАНИЕ ПО МЕТОДУ ОСАЖДЕНИЯ	22
	Решение типовых задач	22
	ЗАДАЧИ	23
Глава 4	КОМПЛЕКСОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ	25
	Решение типовых задач	25
	ЗАДАЧИ	26
Глава 5	ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ ТИТРОВАНИЕ.	29
	5.1. Молярная масса эквивалента при окислительно-восстановительном титровании.	29
	5.2. Расчет концентраций стандартных растворов	30
	5.3. Расчет результатов титрования	33
	5.3.1 Прямое титрование	33
	5.3.2. Обратное титрование	34
	5.3.3. Титрование по замещению	35
	ЗАДАЧИ	36
Часть 2	ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА	41
Глава 6	ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ	41
	Решение типовых задач	41

	ЗАДАЧИ	44
	Качественный спектральный анализ	44
	Количественный анализ	47
	Метод одного эталона	52
	Метод постоянного графика	53
	Фотометрия пламени	54
Глава 7	ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА	56
	Решение типовых задач	56
	ЗАДАЧИ	60
	Метод добавок	64
	Метод дифференциальной фотометрии	66
	Определение смеси двух окрашенных веществ	68
	Фотометрическое титрование	71
	Количественный анализ по ИК-спектрам	73
Глава 8	НЕФЕЛОМЕТРИЯ И ТУРБИДИМЕТРИЯ	79
	ЗАДАЧИ	79
Глава 9	КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ. ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ ТИТРОВАНИЕ	85
	Решение типовых задач	85
	ЗАДАЧИ	86
Глава 10	ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	92
	Решение типовых задач	92
	ЗАДАЧИ	94
Глава 11	ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЯ. АМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТ- РОВАНИЕ	101
	Решение типовых задач	101
	ЗАДАЧИ	103
Глава 12	ЭЛЕКТРОЛИЗ. КУЛОНОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	109
	Решение типовых задач	109
	ЗАДАЧИ	110
	ОТВЕТЫ	113
	ОГЛАВЛЕНИЕ	118

Кочергина Людмила Александровна
Орлова Татьяна Дмитриевна
Дмитриева Нина Григорьевна
Морозова Регина Павловна

**Сборник задач
по аналитической химии**

Под редакцией М.И.Базанова

Редактор В.Л.Родичева

Подписано в печать 25.10.2006. Формат 60x84/16 . Бумага писчая.
Усл.печ.л.6,98. Уч-изд. 7,74. Тираж 500 экз. Заказ

ГОУ ВПО Ивановский государственный
химико-технологический университет

Отпечатано на полиграфическом оборудовании
кафедры экономики и финансов ГОУ ВПО «ИГХТУ»

153000, г.Иваново, пр. Ф. Энгельса, 7