

121

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ.
ХИМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ВЕЩЕСТВА**

*Методические указания
к внеаудиторной самостоятельной работе и подготовке
к интернет-тестированию по химии
для студентов 1-го курса всех специальностей*

Воронеж 2011

Библиотека
Воронежский ГАСУ

УДК 543
ББК 24.4

Составители О. В. Слепцова, О. Б. Кукина, О. Б. Рудаков

Аналитическая химия. Химическая идентификация и анализ веществ: метод. указания к внеаудиторной самостоятельной работе и подготовке к интернет-тестированию для студ. 1-го курса всех спец. / Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т; сост.: О.В. Слепцова, О.Б. Кукина, О.Б. Рудаков. – Воронеж, 2011. – 38 с.

Методические указания содержат краткие теоретические сведения по темам: «Теоретические основы аналитической химии», «Качественный и количественный химический анализ», «Физические и физико-химические методы анализа», примеры решения типовых задач интернет-тестирования, задания для самостоятельного решения.

Предназначены для студентов 1-го курса всех специальностей, обучающихся по программам бакалавриата и специалитета.

Ил. 4. Табл. 8. Библиогр.: 7 назв.

УДК 543
ББК 24.4

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного архитектурно-строительного
университета

Рецензент – кафедра физики и химии Военного авиационного
инженерного университета (г. Воронеж)

ВВЕДЕНИЕ

В практической деятельности специалистов строительного профиля часто возникает необходимость идентификации (обнаружения) того или иного вещества, а также количественной оценки (измерения) его содержания. Химический анализ позволяет: 1) оценить качество сырья; 2) контролировать процесс производства; 3) определить качество выпускаемой продукции; 4) проанализировать отходы производства с целью их утилизации; 5) спланировать мероприятия по охране окружающей среды.

Научной основой химического анализа веществ является *аналитическая химия*. Методы аналитической химии основаны на получении и измерении *аналитического сигнала*. Аналитический сигнал – это любое проявление химических или физических свойств вещества, которые можно использовать для установления его *качественного* или *количественного состава*. При помощи *качественного анализа* определяют из каких химических элементов, ионов, групп атомов и молекул состоит вещество. *Количественный анализ* позволяет по зависимости аналитического сигнала от концентрации веществ рассчитать содержание компонентов в объекте. Обычно качественный анализ предшествует количественному.

Анализ веществ проводят с помощью химических, физических или физико-химических методов, реже используют биологические методы. *Химические методы* основаны на химических реакциях. Для анализа обычно используют химические реакции с характерным внешним эффектом (выделение газа, появление осадка или окраски и т.д.). Эти внешние эффекты являются в данном случае аналитическими сигналами. Происходящие химические изменения называют *аналитическими реакциями*, а вещества, вызывающие эти реакции, *химическими реагентами*.

При анализе *физическими методами* не прибегают к химическим реакциям, для исследования используют приборы. К физическим методам относят атомно-адсорбционный, люминесцентный и другие виды спектрального анализа, рентгеноструктурный анализ и электронную микроскопию, и т.д.

С помощью *физико-химических методов* изучают физические явления, которые происходят при химических реакциях. Например, в фотоколориметрическом методе измеряют интенсивность окраски в зависимости от концентрации вещества, в кондуктометрическом методе измеряют изменение электрической проводимости и т.д. В хроматографическом анализе определяют не только интенсивность аналитического сигнала, но и время удерживания аналита в хроматографической системе.

Физико-химические и физические методы анализа объединяют под общим названием *инструментальные методы анализа*.

Тема 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

1.1. Вопросы для подготовки

Теория электролитической диссоциации Аррениуса, диссоциация сильных и слабых электролитов, степень и константа электролитической диссоциации, равновесия в растворах электролитов, диссоциация воды, водородный показатель.

1.2. Вычисление концентрации водородных и гидроксидных ионов и pH в растворах сильных электролитов

Большинство аналитических реакций протекает в растворе. Это реакции нейтрализации, кислотно-основного взаимодействия, осаждения малорастворимых соединений, выделения и поглощения газов и т.д. Поэтому изучение процессов в растворах электролитов является одной из теоретических основ аналитической химии.

При растворении в воде молекулы электролитов диссоциируют на положительно и отрицательно заряженные ионы. Количественной мерой процесса диссоциации служит *степень диссоциации* α , которую принято выражать в процентах или долях от единицы. *Степень электролитической диссоциации* α равна отношению числа молекул электролита $N_{\text{дисс}}$, распавшегося на ионы в данном растворе, к общему числу его растворенных молекул $N_{\text{раств}}$:

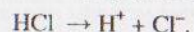
$$\alpha = \frac{N_{\text{дисс}}}{N_{\text{раств}}} \cdot 100, \%$$

Если перейти к концентрациям вещества, введенного в раствор $c_{\text{раств}}$ и продиссоциировавшего $c_{\text{дисс}}$, то выражение для степени электролитической диссоциации α выглядит следующим образом:

$$\alpha = \frac{c_{\text{дисс}}}{c_{\text{раств}}} \cdot 100, \%$$

Сильные электролиты в достаточно разбавленных водных растворах диссоциированы практически полностью, поэтому говорят о 100 %-й диссоциации. К сильным электролитам относят почти все соли, гидроксиды щелочных и щелочно-земельных металлов (NaOH, KOH, RbOH, CsOH и Ba(OH)₂), некоторые неорганические кислоты (HCl, HBr, HI, HNO₃, H₂SO₄, HClO₄ и др.).

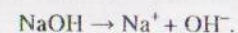
Сильные одноосновные кислоты диссоциируют полностью ($\alpha = 100\%$) в одну ступень с образованием ионов водорода H⁺, например:



При этом концентрация распавшихся на ионы молекул кислоты $c_{\text{дисс}}$ численно будет равна концентрации растворенной кислоты $c_{\text{кисл}} = c_{\text{раств}}$ и концентрации образовавшихся ионов водорода c_{H^+} :

$$c_{\text{кисл}} = c_{\text{H}^+}$$

Сильные однокислотные основания диссоциируют полностью ($\alpha = 100\%$) в одну ступень с образованием гидроксид-ионов OH⁻, например:



При этом концентрация распавшихся на ионы молекул основания $c_{\text{дисс}}$ численно будет равна концентрации растворенного основания $c_{\text{осн}} = c_{\text{раств}}$ и концентрации образовавшихся гидроксид-ионов c_{OH^-} :

$$c_{\text{осн}} = c_{\text{OH}^-}$$

Наиболее приемлемым растворителем в аналитической практике является вода. Вода – очень слабый электролит, ее диссоциация является обратимым процессом:



В чистой воде, а также в любом водном растворе произведение концентраций H⁺ и OH⁻ есть величина постоянная, называемая *ионным произведением воды* K_w :

$$K_w = c_{\text{H}^+} \cdot c_{\text{OH}^-}$$

При температуре 25 °C $K_w = 10^{-14}$.

В чистой воде $c_{\text{H}^+} = c_{\text{OH}^-} = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$ моль/л. Такие растворы называют *нейтральными*. Если в растворе $c_{\text{H}^+} > 10^{-7}$ моль/л, то *реакция среды кислая*. Когда $c_{\text{H}^+} < 10^{-7}$ моль/л, *реакция среды является щелочной*.

При оценке кислотности или щелочности среды удобнее пользоваться не концентрацией водородных ионов, а взятым с обратным знаком значением ее десятичного логарифма, который называется *водородным показателем pH*:

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

Соотношение между реакцией среды и значениями водородного показателя выражается следующим образом: нейтральная среда pH = 7, кислая среда pH < 7, щелочная среда pH > 7.

Протекание многих аналитических реакций существенно зависит от реакции среды в растворе. Качественно реакцию среды можно определить с помощью кислотно-основных *индикаторов* – веществ, окраска которых зависит от pH (табл.1). Эти вещества, например, лакмус, фенолфталеин или метиловый

оранжевый представляют собой слабые органические кислоты (или основания), частично диссоциирующие в растворе:



где HInd – недиссоциированная молекула индикатора, Ind⁻ – анион индикатора. Окраска молекулярной формы HInd и ионной формы Ind⁻ не совпадают.

Таблица 1

Характеристика некоторых индикаторов

Индикатор	Цвет индикатора в различных средах		
	кислая	нейтральная	щелочная
лакмус	красный	фиолетовый	синий
фенолфталеин	бесцветный	бесцветный	малиновый
метиловый оранжевый	розовый	бледно- оранжевый	желтый

Кислотность раствора может меняться в результате химической реакции, поэтому поддержание определенного значения pH часто является одним из решающих условий ее протекания. Заданное значение pH поддерживается постоянным с помощью *буферных растворов*. Буферным называют такой раствор электролитов, в котором pH относительно мало меняется при разбавлении или концентрировании раствора, при добавлении к нему кислоты или щелочи. Буферными свойствами обладают смеси растворов слабых кислот или слабых оснований с их солями (CH₃COOH + CH₃COONa, NH₄OH + NH₄Cl), а также смеси растворов солей многоосновных кислот (Na₂HPO₄ и NaH₂PO₄).

Пример 1. Концентрация гидроксид-ионов в растворе с pH = 4 составляет _____ моль/л:
1) 10⁻¹⁰ 2) 10⁻¹² 3) 10⁻⁴ 4) 10⁻⁷

Решение

- Выразим концентрацию ионов водорода c_{H^+} из формулы для расчета водородного показателя pH

$$\text{pH} = -\lg c_{\text{H}^+},$$

$$c_{\text{H}^+} = 10^{-\text{pH}}$$

- Определим концентрацию ионов водорода c_{H^+} в растворе с pH = 4:

$$c_{\text{H}^+} = 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

- Воспользовавшись выражением для ионного произведения воды

$$K_w = c_{\text{H}^+} \cdot c_{\text{OH}^-}$$

определим концентрацию гидроксид-ионов c_{OH^-} :

$$c_{\text{OH}^-} = \frac{K_w}{c_{\text{H}^+}},$$

$$c_{\text{OH}^-} = \frac{10^{-14}}{10^{-4}} = 10^{-10} \text{ моль/л.}$$

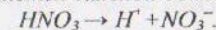
Ответ: 1) 10⁻¹⁰ моль/л.

Пример 2. Раствор азотной кислоты имеет pH = 2. Концентрация кислоты в растворе при 100 %-й диссоциации равна _____ моль/л:

1) 0,001 2) 0,1 3) 0,01 4) 0,05

Решение

- Азотная кислота является сильной одноосновной кислотой:



Концентрация ионов водорода c_{H^+} при 100 %-й диссоциации равна общей концентрации кислоты $c_{\text{кисл}}$:

$$c_{\text{H}^+} = c_{\text{кисл}}$$

Следовательно, водородный показатель можно рассчитать по формуле

$$\text{pH} = -\lg c_{\text{H}^+} = -\lg c_{\text{кисл}}$$

- Отсюда концентрация кислоты

$$c_{\text{кисл}} = 10^{-\text{pH}},$$

$$c_{\text{кисл}} = 10^{-2} = 0,01 \text{ моль/л.}$$

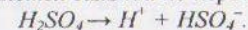
Ответ: 3) 0,01 моль/л.

Пример 3. Раствор серной кислоты имеет pH = 1. Концентрация кислоты в растворе при 100 %-й диссоциации равна _____ моль/л.

1) 0,001 2) 0,01 3) 0,5 4) 0,05

Решение

- Серная кислота является сильной по первой ступени диссоциации:



Но для аналитических концентраций можно считать, что она полностью диссоциирует по уравнению



то есть концентрация ионов водорода c_{H^+} в 2 раза превышает общую концентрацию кислоты

$$c_{\text{H}^+} = 2 \cdot c_{\text{кисл}}$$

$$c_{\text{кисл}} = \frac{c_{\text{H}^+}}{2}$$

- Рассчитаем концентрацию ионов водорода в растворе с pH = 1, учитывая, что $c_{\text{H}^+} = 10^{-\text{pH}}$:

$$c_{\text{H}^+} = 10^{-1} \text{ моль/л.}$$

- Рассчитаем концентрацию кислоты:

$$c_{\text{кисл}} = \frac{10^{-1}}{2} = 0,05 \text{ моль/л.}$$

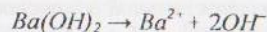
Ответ: 4) 0,05 моль/л.

Пример 4. Раствор гидроксида бария имеет pH = 12. Концентрация основания при 100 %-й диссоциации равна _____ моль/л:

- 1) 0,1 2) 0,005 3) 0,01 4) 0,007

Решение

- Основание $\text{Ba}(\text{OH})_2$ является двухкислотным основанием. При 100 %-й диссоциации



концентрация OH^- -ионов в растворах $\text{Ba}(\text{OH})_2$ будет в 2 раза выше, чем общая концентрация основания $c_{\text{осн}}$:

$$c_{\text{OH}^-} = 2 \cdot c_{\text{осн}},$$

$$c_{\text{осн}} = \frac{c_{\text{OH}^-}}{2}.$$

- Рассчитаем концентрацию ионов водорода в растворе с pH = 12, учитывая, что $c_{\text{H}^+} = 10^{-\text{pH}}$:

$$c_{\text{H}^+} = 10^{-12} \text{ моль/л.}$$

- Рассчитаем концентрацию гидроксид-ионов, воспользовавшись выражением для ионного произведения воды:

$$K_w = c_{\text{H}^+} \cdot c_{\text{OH}^-},$$

$$c_{\text{OH}^-} = \frac{K_w}{c_{\text{H}^+}},$$

$$c_{\text{OH}^-} = \frac{10^{-14}}{10^{-12}} = 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

- Рассчитаем концентрацию основания:

$$c_{\text{осн}} = \frac{c_{\text{OH}^-}}{2}, \quad c_{\text{осн}} = \frac{10^{-2}}{2} = \frac{0,01}{2} = 0,005 \text{ моль/л.}$$

Ответ: 2) 0,005 моль/л.

1.3. Задания для самостоятельного решения

- Концентрация ионов водорода в чистой воде при 25 °C равна _____ моль/л:
1) $1 \cdot 10^{-4}$ 2) 1 3) 0 4) $1 \cdot 10^{-7}$
- Размерность концентрации в уравнении $\text{pH} = -\lg c_{\text{H}^+}$ _____:

- 1) г/мл 2) г/л 3) % 4) моль/л

- Раствор серной кислоты имеет pH = 2. Концентрация кислоты в растворе при 100% диссоциации равна _____ моль/л:
1) 0,001 2) 0,01 3) 0,05 4) 0,005
- При разбавлении 0,2 М раствора соляной кислоты в 2 раза, pH равен _____:
1) 13 2) 14 3) 1 4) 4
- Раствор гидроксида бария имеет pH = 13. Концентрация основания при его 100 %-й диссоциации равна _____ моль/л:
1) 0,005 2) 0,1 3) 0,01 4) 0,05
- В 1 л раствора гидроксида калия, имеющего pH = 13, содержится _____ моль КОН:
1) 0,1 2) 0,5 3) 1 4) 0,2
- Раствор гидроксида натрия имеет pH = 12. Концентрация основания в растворе при 100%-й диссоциации равна _____ моль/л:
1) 0,005 2) 0,01 3) 0,1 4) 0,001

Тема 2. КАЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

2.1. Вопросы для подготовки к занятию

Качественный химический анализ: алгоритм идентификации; качественный анализ анионов и катионов и его применение для идентификации строительных материалов.

2.2. Идентификация катионов и анионов неорганических веществ

Методы химического качественного анализа базируются на ионных реакциях, которые позволяют идентифицировать элементы в форме тех или иных ионов. В ходе реакций образуются труднорастворимые соединения, окрашенные комплексные соединения, происходит окисление или восстановление с изменением цвета раствора. Такие аналитические реакции называются *качественными*. Вещества, которые используют для проведения аналитических реакций, называются *реактивами* или *реагентами*.

Реакции, при которых реактив реагирует с несколькими ионами, называют *общими*. Например, общей реакцией для ионов кальция Ca^{2+} , бария Ba^{2+} и стронция Sr^{2+} является их взаимодействие с сульфат-ионами SO_4^{2-} , с которыми они образуют белые кристаллические осадки. *Частными* или *характерными реакциями* называют такие, при которых различные реактивы образуют харак-

терные соединения с одним ионом. Например, характерной реакцией иона Ca^{2+} является реакция с оксалатом аммония.

Реактивы, дающие общие реакции, могут быть *групповыми* и служить для отделения одной группы ионов от другой. *Селективными* (избирательными) являются такие реактивы, которые взаимодействуют с небольшим числом ионов. *Специфические* реактивы реагируют только с одним ионом. Такие реактивы позволяют обнаружить искомый ион в присутствии других ионов. Примером может служить щелочь, применяемая для обнаружения ионов аммония, а также крахмал, позволяющий открывать йод.

Качественные реакции на некоторые катионы приведены в табл. 2, на анионы – в табл. 3.

Таблица 2

Качественные реакции на катионы

Катион	Воздействие или реактив	Наблюдаемая реакция
H^+ (кислая среда)	лакмус	красное окрашивание
	метиловый оранжевый	розовое окрашивание
Li^+	пламя	карминово-красное окрашивание
Na^+	пламя	желтое окрашивание
K^+	пламя	фиолетовое окрашивание
NH_4^+	щелочь, нагрев	появляется запах аммиака: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$
Ag^+	Cl^-	выпадает белый осадок: $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$
Mg^{2+}	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	образуется белый аморфный осадок: $2\text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{MgOH})_2\text{CO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow$
	гидрофосфат натрия Na_2HPO_4 в присутствии NH_4OH и NH_4Cl	образуется белый кристаллический осадок: $\text{Mg}^{2+} + \text{HPO}_4^{2-} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \downarrow$
	NaOH	образуется белый аморфный осадок: $\text{Mg}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$
Ca^{2+}	пламя	кирпично-красное окрашивание
	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	образуется белый осадок: $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow$
	оксалат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	образуется белый осадок: $\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow$

Окончание табл.2

Катион	Воздействие или реактив	Наблюдаемая реакция
Sr^{2+}	пламя	карминово-красное окрашивание
	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	образуется белый осадок: $\text{Sr}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{SrCO}_3 \downarrow$
	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	образуется белый осадок: $\text{Sr}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{SrSO}_4 \downarrow$
Ba^{2+}	пламя	желто-зеленое окрашивание
	SO_4^{2-}	выпадает белый осадок: $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow$
Cu^{2+}	вода	гидратированные ионы Cu^{2+} имеют голубую окраску
	избыток аммиака NH_3	образуется темно-синий раствор аммиаката меди
	гексацианоферрат (II) калия (желтая кровяная соль) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	образуется красно-коричневый осадок: $2\text{Cu}^{2+} + [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow \text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6] \downarrow$
Fe^{2+}	гексацианоферрат (III) калия (красная кровяная соль) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	выпадает темно-синий осадок (турнбулева синь): $3\text{Fe}^{2+} + 2[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightarrow \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$
Zn^{2+}	H_2S	образуется белый осадок: $\text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{ZnS} \downarrow + 2\text{H}^+$
Pb^{2+}	I^- (KI)	выпадает золотисто-желтый осадок: $\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{PbI}_2 \downarrow$
	SO_4^{2-}	выпадает белый осадок: $\text{Pb}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{PbSO}_4 \downarrow$
Al^{3+}	избыток щелочи NaOH	выпадает осадок гидроксида алюминия: $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$, который при дальнейшем приливании щелочи растворяется
Fe^{3+}	гексацианоферрат (II) калия (желтая кровяная соль) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	выпадает темно-синий осадок (берлинская лазурь): $4\text{Fe}^{3+} + 3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \downarrow$
	SCN^- (роданид калия KCNS или роданид аммония NH_4CNS)	появляется ярко-красное окрашивание: $\text{Fe}^{3+} + 3\text{CNS}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{CNS})_3$

Таблица 3

Качественные реакции на анионы

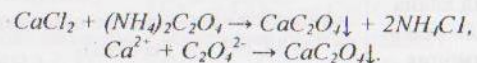
Анион	Реактив	Наблюдаемая реакция
ОН ⁻ (щелочная среда)	лакмус	синее окрашивание
	фенолфталеин	малиновое окрашивание
F ⁻	Ca ²⁺	выпадает белый творожистый осадок: $\text{Ca}^{2+} + 2\text{F}^{-} \rightarrow \text{CaF}_2$
Cl ⁻	Ag ⁺	выпадает белый творожистый осадок: $\text{Ag}^{+} + \text{Cl}^{-} \rightarrow \text{AgCl} \downarrow$
Br ⁻	Ag ⁺	выпадает светло-желтый творожистый осадок: $\text{Ag}^{+} + \text{Br}^{-} \rightarrow \text{AgBr} \downarrow$
I ⁻	Ag ⁺	выпадает желтый творожистый осадок: $\text{Ag}^{+} + \text{I}^{-} \rightarrow \text{AgI} \downarrow$
NO ₃ ⁻	дифениламин (C ₆ H ₅) ₂ NH	образуется вещество интенсивного синего цвета
S ²⁻	ацетат свинца Pb(CH ₃ COOH) ₂	образуется черный осадок PbS↓: $\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{PbS} \downarrow$
SO ₄ ²⁻	Ba ²⁺ (BaCl ₂)	выпадает белый мелкокристаллический осадок: $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow$
CO ₃ ²⁻	H ⁺ (HCl)	выделяется углекислый газ: $2\text{H}^{+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$
SiO ₃ ²⁻	H ⁺	появляется гель кремниевой кислоты: $2\text{H}^{+} + \text{SiO}_3^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3 \downarrow$
PO ₄ ³⁻	Ag ⁺	выпадает светло-желтый осадок: $3\text{Ag}^{+} + \text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{Ag}_3\text{PO}_4 \downarrow$
	магнезиальная смесь MgCl ₂ +NH ₄ Cl+ NH ₄ OH	образуется белый кристаллический осадок: $\text{PO}_4^{3-} + \text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^{+} \rightarrow \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \downarrow$

Пример 1. Для обнаружения в растворе катионов кальция применяют:

- 1) нитрат аммония
2) оксалат аммония
3) сульфид аммония
4) хлорид аммония

Решение

Для обнаружения в растворе катионов кальция используют оксалат аммония:



Образуется белый мелкокристаллический осадок оксалата кальция CaC_2O_4 .

Ответ: 2) оксалат аммония.

Пример 2. Признаком протекания качественной реакции между йодом и крахмалом является _____ :

- 1) выпадение бурого осадка
2) выделение бурого газа
3) образование синей окраски
4) образование бурой окраски

Решение

Раствор йода окрашивает крахмальный клейстер в синий цвет.

Ответ: 3) образование синей окраски.

2.3. Задания для самостоятельного решения

1. Роданид калия KCNS с ионом Fe^{3+} образует _____ раствор:
 - 1) бледно-зеленый
 - 2) желтый
 - 3) кроваво-красный
 - 4) синий
2. При взаимодействии ионов Fe^{3+} с роданидом калия наблюдается образование _____:
 - 1) кроваво-красного раствора
 - 2) темно-синего раствора
 - 3) темно-синего осадка
 - 4) бурого осадка
3. Реагентом на ионы Fe^{3+} является вещество, формула которого _____:
 - 1) NH_4CNS
 - 2) NH_4Cl
 - 3) KOH
 - 4) K_2SO_4
4. Качественная реакция на ионы Fe^{3+} описывается уравнением _____:
 - 1) $\text{FeCl}_3 + 3\text{KSCN} \rightarrow \text{Fe}(\text{SCN})_3 + 3\text{KCl}$
 - 2) $2\text{FeCl}_3 + 3\text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3 + 6\text{KCl}$
 - 3) $2\text{FeCl}_3 + 3\text{Cu}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{CuCl}_2$
 - 4) $\text{FeCl}_3 + 3\text{KF} \rightarrow \text{FeF}_3 + 3\text{KCl}$
5. Для селективного обнаружения ионов железа (III) в растворе используется раствор _____:
 - 1) медного купороса
 - 2) соли Мора
 - 3) магниезальной смеси
 - 4) желтой кровавой соли
6. Для селективного обнаружения ионов железа (II) в растворе используется раствор _____:
 - 1) соли Мора
 - 2) красной кровавой соли
 - 3) кислоты Каро
 - 4) реактива Несслера
7. Для обнаружения ионов Cu^{2+} в растворе можно использовать раствор _____:

- 1) нитрата аммония
2) бромид аммония
- 3) хлорида аммония
4) аммиака
8. Признаком протекания качественной реакции ионов меди (II) с раствором аммиака является образование ____:
- 1) черного осадка
2) темно-синего осадка
- 3) темно-зеленого раствора
4) ярко-синего раствора
9. При взаимодействии ионов меди (II) с раствором $K_4[Fe(CN)_6]$ образуется ____:
- 1) красно-коричневый осадок
2) темно-синий раствор
- 3) черный осадок
4) раствор желтого цвета
10. Ионы натрия окрашивают пламя в ____ цвет:
- 1) зеленый
2) красный
- 3) фиолетовый
4) желтый
11. Ионы калия окрашивают пламя в ____ цвет:
- 1) зеленый
2) красный
- 3) фиолетовый
4) желтый
12. Ионы Ba^{2+} в растворе можно обнаружить с помощью реагента, формула которого ____:
- 1) CH_3COOH
2) HNO_3
- 3) H_2S
4) H_2SO_4
13. Групповым реагентом на ионы кальция, стронция и бария является раствор ____:
- 1) сероводорода
2) азотной кислоты
- 3) гидроксида натрия
4) серной кислоты
14. При взаимодействии ионов свинца (II) с йодидом калия образуется ____:
- 1) осадок черного цвета
2) белый осадок
- 3) бурый осадок
4) осадок желтого цвета
15. Реагентом для обнаружения ионов цинка в растворе является ____:
- 1) H_2SO_4
2) H_2S
- 3) HCl
4) H_3PO_4
16. Черный осадок с сульфид-ионом (S^{2-}) образует ион ____:
- 1) Ba^{2+}
2) Zn^{2+}
- 3) Na^+
4) Pb^{2+}

17. Силикат-ион (SiO_3^{2-}) обнаруживается в растворе действием ____:
- 1) HCl
2) $NaOH$
- 3) $NaCl$
4) $NH_3 \cdot H_2O$
18. Наиболее селективным реагентом для обнаружения катионов аммония является ____:
- 1) раствор щелочи
2) раствор $CuSO_4$
- 3) раствор кислоты
4) раствор $KMnO_4$
19. Доказать присутствие карбонат-иона можно с помощью раствора ____:
- 1) сильной кислоты
2) сероводорода
- 3) перманганата калия
4) щелочи
20. Для качественного обнаружения карбонат-иона используется раствор ____:
- 1) сильного основания
2) органического индикатора
- 3) сильной кислоты
4) средней соли
21. При обнаружении сульфат-ионов раствором соли бария наблюдается образование ____:
- 1) белого осадка
2) бурого осадка
- 3) белого раствора
4) бурого раствора
22. Присутствие нитрат-ионов в растворе можно доказать, используя в качестве реактива ____:
- 1) магниальную смесь
2) раствор щелочи
- 3) дифениламин
4) раствор йода
23. Качественным реагентом на фосфат-ионы является ____:
- 1) красная кровяная соль
2) дифениламин
- 3) реактив Несслера
4) магниальная смесь

ТЕМА 3. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

3.1. Вопросы для подготовки

Количественный химический анализ: гравиметрический и титриметрический методы исследования и их использование для изучения свойств конструкционных материалов, используемых в строительстве.

3.2. Сущность гравиметрического и титриметрического методов анализа

Количественный анализ – определение содержания (массы, концентрации и т.п.) или количественных соотношений компонентов в анализируемом образце.

Различают следующие методы количественного химического анализа (табл. 4).

Таблица 4
Классификация химических методов количественного анализа

Метод	Принцип метода
Гравиметрический	Измерение массы определяемого вещества или его составных частей, выделяемых в виде соответствующих соединений
Титриметрический	Измерение объема израсходованного на реакцию раствора реактива точно известной концентрации

Гравиметрический метод (гравиметрия) – метод количественного анализа в аналитической химии, который основан на измерении массы определяемого компонента, выделенном в чистом виде либо в виде соединения определённого состава. Методы гравиметрического анализа делятся на несколько типов (табл. 5).

Таблица 5
Методы гравиметрического анализа

Метод	Принцип метода
Выделения	определяемую составную часть выделяют в свободном состоянии и взвешивают
Осаждения	определяемую составную часть осаждают в виде малорастворимого соединения определенного состава, осадок промывают, прокалывают и взвешивают
Отгонки	определяемую составную часть превращают в летучее соединение и отгоняют при нагревании

Соединение, в виде которого осаждается определяемый элемент, называется *осаждаемой формой*, а соединение, в виде которого взвешивается определяемое вещество, – *гравиметрической (весовой) формой*.

Сущность **титриметрического анализа (титриметрии)** состоит в определении концентрации веществ, проводимом титрованием.

Титрование осуществляется путём прибавления к точно измеренному объёму исследуемого раствора одного вещества по каплям из бюретки стандартного раствора другого вещества (рис. 1). Раствор, концентрация которого определяется, называется исследуемым, а второй, концентрация которого точно известна, – *рабочим* или *титрантом*. Титрование ведется до *точки эквива-*

лентности. В точке эквивалентности количества эквивалентов реагирующих веществ равны.

Эквивалентом элемента называется такое его количество, которое соединяется с 1 моль атомов водорода или замещает то же количество атомов водорода в химических реакциях. Например, в соединениях HBr, H₂O, PH₃ эквивалент брома, кислорода, фосфора равен соответственно 1 моль, 1/2 моль, 1/3 моль.

Масса 1 эквивалента элемента называется **молярной массой эквивалента** $M_{\text{э}}$. В приведенных выше соединениях эквивалентные массы Br, O, P соответственно равны 80; 16/2=8 и 31/3=10,3 г/моль.

Эквивалентом сложного вещества называется такое его количество, которое взаимодействует без остатка с 1 эквивалентом водорода или с 1 эквивалентом любого другого вещества.

Молярная масса эквивалента кислоты равна её молярной массе, деленной на основность кислоты (число атомов водорода):

$$M_{\text{э}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{98}{2} = 49 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса эквивалента основания равна его молярной массе, деленной на кислотность основания (число гидроксидных групп):

$$M_{\text{э}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{171}{2} = 85,5 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса эквивалента соли равна ее молярной массе, деленной на произведение числа атомов металла в молекуле на его валентность:

$$M_{\text{э}}(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{342}{2 \cdot 3} = 57 \text{ г/моль.}$$

Молярная концентрация эквивалента $c_{\text{э}}$ выражает число эквивалентов растворённого вещества в единице объёма раствора V , следовательно, $c_{\text{э}} \cdot V$ соответствует числу эквивалентов вещества.

Для однокислотных оснований (NaOH, KOH), одноосновных кислот (HCl, HNO₃) и полученных из них солей (NaCl, KNO₃) молярная концентрация эквивалента равна молярной концентрации $c_{\text{э}} = c_{\text{м}}$.

Для двухосновных кислот (H₂SO₄) и двухкислотных оснований (Ba(OH)₂) $c_{\text{э}} = 2 c_{\text{м}}$.

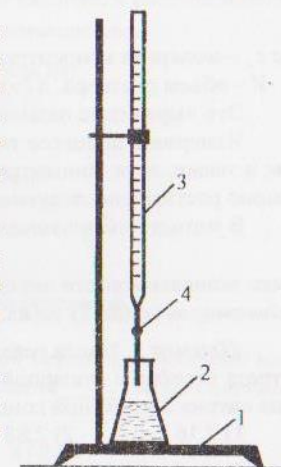


Рис. 1. Схема установки для титрования

1 – штатив;
2 – колба с раствором;
3 – бюретка с кислотой,
4 – "слезка"

Если индексом «1» обозначить раствор исследуемого вещества, а индексом «2» – рабочий раствор, то в точке эквивалентности:

$$c_{\text{э}(1)} \cdot V_{(1)} = c_{\text{э}(2)} \cdot V_{(2)},$$

где $c_{\text{э}}$ – молярная концентрация эквивалента, моль/л;
 V – объем раствора, л (мл).

Это выражение называется **законом эквивалентов**.

Измерив в процессе титрования объёмы исследуемого и рабочего растворов, а также, зная концентрацию рабочего раствора, можно вычислить концентрацию раствора исследуемого вещества.

В методе *нейтрализации*, сущность которого состоит во взаимодействии



точка эквивалентности определяется по изменению окраски *кислотно-основных индикаторов* (табл. 1) таких, как метилоранж, фенолфталеин и др.

Пример 1. Масса осадка, образующегося при смешивании 50 мл раствора нитрата серебра с молярной концентрацией 0,2 моль/л и 100 мл раствора хлорида натрия с молярной концентрацией 0,1 моль/л равна _____ грамма:

- 1) 2,16 2) 2,88 3) 1,44 4) 0,72

Решение

- Напишем уравнение химической реакции взаимодействия нитрата серебра с хлоридом натрия:



- Из уравнения реакции видно, что для взаимодействия требуется 1 моль AgNO_3 и 1 моль NaCl .

- Рассчитаем, сколько моль составят 50 мл раствора нитрата серебра с молярной концентрацией 0,2 моль/л и 100 мл раствора хлорида натрия с молярной концентрацией 0,1 моль/л. Из формулы расчета молярной концентрации растворов, где v – число моль:

$$v(\text{AgNO}_3) = c_m \cdot V = 0,2 \text{ моль/л} \cdot 0,05 \text{ л} = 0,01 \text{ моль},$$

$$v(\text{NaCl}) = c_m \cdot V = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,1 \text{ л} = 0,01 \text{ моль}.$$

- Исходя из того, что согласно уравнению реакции количество осадка AgCl составляет также 0,01 моль, рассчитаем массу осадка по формуле $m = M \cdot v$, где M – молярная масса:

$$m(\text{AgCl}) = (108 + 35,5) \text{ г/моль} \cdot 0,01 \text{ моль} = 1,435 \text{ г} \approx 1,44 \text{ г}.$$

Ответ: 3) 1,44 г.

Пример 2. Объем раствора соляной кислоты с молярной концентрацией 0,5 моль/л, необходимый для нейтрализации 50 мл раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией 0,2 моль/л равен _____ миллилитрам:

- 1) 10 2) 40 3) 30 4) 20

Решение

- HCl и NaOH – соответственно одноосновная кислота и одноосновное основание, поэтому $c_{\text{э}} = c_m$. Тогда, согласно закону эквивалентов

$$c_m(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) = c_m(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}),$$

$$0,5 \text{ моль/л} \cdot V(\text{HCl}) = 0,2 \text{ моль/л} \cdot 50 \text{ мл}.$$

Следовательно

$$V(\text{HCl}) = \frac{0,2 \cdot 50}{0,5} = 20 \text{ (мл)}.$$

Ответ: 4) 20 мл.

3.3. Задания для самостоятельного решения

1. Для нейтрализации 40 мл раствора уксусной кислоты с молярной концентрацией 0,5 моль/л требуется раствор, содержащий _____ моль гидроксида натрия:

- 1) 0,01 2) 0,02 3) 0,04 4) 0,05

2. Объем раствора серной кислоты с молярной концентрацией эквивалента 0,2 моль/л, необходимый для нейтрализации 40 мл раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией эквивалента 0,15 моль/л, равен _____ миллилитрам:

- 1) 30 2) 45 3) 60 4) 53

3. Объем раствора хлорида кальция с молярной концентрацией 0,1 моль/л, необходимый для осаждения карбонат-ионов из 200 мл раствора карбоната калия с молярной концентрацией 0,15 моль/л, равен _____ миллилитрам:

- 1) 200 2) 100 3) 150 4) 300

4. Масса осадка, образующегося при смешивании 200 мл раствора карбоната натрия с молярной концентрацией 0,1 моль/л и 100 мл раствора хлорида кальция с молярной концентрацией 0,15 моль/л, равна _____ грамма:

- 1) 4,5 2) 1,5 3) 2,0 4) 4,0

5. Для осаждения хлорид-ионов из 100 мл раствора соляной кислоты с молярной концентрацией 0,1 моль/л требуется раствор, содержащий _____ грамма нитрата серебра:

- 1) 6,8 2) 5,1 3) 1,7 4) 10,2

6. Объем раствора соляной кислоты с молярной концентрацией эквивалента 0,2 моль/л, необходимый для нейтрализации 20 мл раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией эквивалента 0,25 моль/л, равен _____ миллилитрам:

- 1) 30 2) 50 3) 25 4) 20

7. Для осаждения хлорид-ионов из 200 мл раствора соляной кислоты с молярной концентрацией 0,01 моль/л требуется раствор, содержащий _____ грамма нитрата серебра:

- 1) 6,0 2) 0,5 3) 0,34 4) 0,2

8. Для нейтрализации 150 мл раствора гидроксида калия с молярной концентрацией 0,2 моль/л требуется раствор, содержащий _____ грамма(ов) уксусной кислоты:

- 1) 6,0 2) 5,0 3) 3,6 4) 1,8

9. Для нейтрализации 100 мл раствора гидроксида калия с молярной концентрацией 0,1 моль/л требуется раствор, содержащий _____ грамма(ов) уксусной кислоты:

- 1) 3,6 2) 6,0 3) 5,0 4) 1,8

10. Метод анализа, основанный на точном измерении массы определяемого вещества или его составных частей, выделяемых в виде соединений постоянного состава называется _____:

- 1) физическим 3) гравиметрическим
2) титриметрическим 4) колориметрическим

Тема 4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

4.1. Вопросы для подготовки

Физико-химические методы анализа: оптические, электрохимические, хроматографические методы.

4.2. Основные физико-химические методы анализа

Физико-химические методы основаны на использовании зависимости физико-химического свойства вещества, называемого *аналитическим сигналом*, от природы вещества и его содержания в анализируемой пробе.

Почти во всех физико-химических методах применяются два основных методических приема: *метод прямых измерений* и *метод титрования* (метод косвенных измерений).

В прямых методах используется зависимость аналитического сигнала от природы анализируемого вещества и его концентрации. При качественном анализе наблюдают сигнал, а при количественном измеряют интенсивность сигнала. Методом прямого количественного определения с помощью физико-химических измерений является, например, *метод градуировочного графика*. В этом методе измеряется интенсивность аналитического сигнала I у нескольких стандартных образцов и строится градуировочный график, обычно в координатах $I = f(c)$, где c – концентрация определяемого компонента в стандартном образце или стандартном растворе. Затем в тех же условиях измеряется интенсивность сигнала у анализируемой пробы, и по градуировочному графику находится концентрация анализируемого вещества.

В *методах титрования* измеряется интенсивность аналитического сигнала I и строится кривая титрования в координатах $I = f(V)$, где V – объем добавленного титранта. По кривой титрования находится точка эквивалентности.

Наибольшее практическое значение среди физических и физико-химических методов имеют следующие:

- 1) спектральные и другие оптические методы;
- 2) электрохимические методы;
- 3) хроматографические методы.

4.2.1. Спектральные методы анализа

Спектральные и другие оптические методы анализа основаны на взаимодействии электромагнитного излучения с веществом. Это взаимодействие сопровождается испусканием (*эмиссия*), поглощением (*абсорбция*) или рассеянием излучения, нетепловым свечением вещества, происходящим после поглощения им энергии возбуждения (*люминесценция*).

Поскольку свет имеет двойственную природу (волновую и корпускулярную), для его описания используют два вида характеристик – *волновые* и *квантовые*. К волновым характеристикам относятся частота колебаний, длина волны и волновое число, к квантовым – энергия квантов.

Частота колебаний ν показывает число колебаний в 1 с, измеряется в герцах (Гц).

Длина волны λ показывает наименьшее расстояние между точками, колеблющимися в одинаковых фазах. Это линейная единица, измеряется в метрах (м) и его долях – например, нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$).

В зависимости от длины волны в электромагнитном спектре обычно выделяют следующие участки (табл.6).

Таблица 6

Электромагнитный спектр

Интервал длин волн	Участок спектра
$10^{-4} - 0,1$ нм	γ - излучение
$10^{-2} - 10$ нм	рентгеновское излучение
$10 - 400$ нм	ультрафиолетовое (УФ) излучение
$400 - 760$ нм	видимый свет
$760 - 10^6$ нм	инфракрасное (ИК) излучение
10^{-3} м – 1 м	микроволны
$\lambda > 1$ м	радиоволны

Длина волны и частота колебаний связаны между собой соотношением

$$\nu = c / \lambda,$$

где c — скорость света.

Величину, обратную длине волны, называют *волновым числом* ν' и выражают обычно в обратных сантиметрах (см^{-1}).

Энергия электромагнитного излучения E определяется соотношением

$$E = h\nu,$$

где h — постоянная Планка, равная $6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

Атомы каждого химического элемента имеют строго определённые резонансные частоты, в результате чего именно на этих частотах они излучают или поглощают свет. Это приводит к тому, что на спектрах видны линии в определённых местах, характерных для каждого вещества.

Частота ν (или длина волны λ) излучения или поглощения определяется качественным составом вещества. Интенсивность аналитического сигнала пропорциональна концентрации определяемого вещества.

Основные методы спектрального анализа приведены в табл. 7.

Таблица 7

Спектральные методы анализа

Метод анализа	Аналитический сигнал	Качественный анализ	Количественный анализ
Атомно-эмиссионная спектроскопия	спектр излучения	длина волны λ линий спектра излучения	интенсивность линий спектра излучения
Атомно-абсорбционная спектроскопия	спектр поглощения	частота ν (длина волны λ) линий спектра поглощения	интенсивность поглощенного излучения, оптическая плотность A

Окончание табл. 7.

Фото- и спектрофотометрия	спектр поглощения (световой поток)	Длина волны λ максимального светопоглощения	изменение интенсивности светового потока I , оптическая плотность A
ИК-спектрометрия	колебательный спектр поглощения	волновое число ν' полос пропускания или поглощения	интенсивность максимумов полос в спектре поглощения, пропускание T
Люминесценция	спектр люминесценции	возникновение люминесценции, частота ν линий спектра	интенсивность люминесценции

Атомно-спектроскопические методы анализа

Атомная спектроскопия основана на энергетических переходах в атомах.

В *атомно-эмиссионной спектроскопии* исследуется излучение атомами после их возбуждения. В качестве источников возбуждения (атомизации) применяют пламя, электрическую дугу, электрическую искру и т.д.

Наличие в спектре характерных линий, присущих атомам данного элемента, свидетельствует о присутствии этого элемента в анализируемом объекте (качественный анализ). Интенсивность линий спектров позволяет рассчитать концентрации вещества в пробе (количественный анализ).

Атомно-эмиссионная фотометрия пламени — разновидность эмиссионного спектрального анализа, в котором источником возбуждения является пламя. Вследствие невысокой температуры в пламени излучают в основном щелочные и щелочно-земельные металлы.

Атомно-абсорбционная спектроскопия основана на поглощении излучения невозбужденными атомами (атомизация пламенная или электротермическая). При пламенной атомизации раствор исследуемого вещества распыляют в пламя газовой горелки. Через образовавшийся атомный пар пропускают линейчатое излучение, соответствующее атомному спектру определяемого элемента. Световой поток после прохождения через поглощающий слой регистрируют с помощью фотоэлемента. Аналитическим сигналом является уменьшение интенсивности излучения в результате его поглощения. Поглощающая способность вещества в соответствии с *законом поглощения Бугера–Ламберта–Бера* служит мерой концентрации определяемого элемента.

Молекулярно-спектроскопические методы анализа

Абсорбционная молекулярная спектроскопия основана на поглощении излучения молекулами анализируемого вещества в ультрафиолетовой, видимой

и инфракрасной областях спектра (*спектрофотометрия, фотоколориметрия, ИК-спектрометрия*).

Спектрофотометрию и фотоколориметрию объединяют в группу фотометрических методов анализа, отличающихся типом спектральных приборов, используемых для регистрации сигналов. Спектрофотометры регистрируют монохроматическое излучение, т.е. излучение строго определенной длины волны, в видимой, УФ- или ИК-областях спектра. Фотоэлектроколориметры благодаря использованию светофильтров регистрируют световой поток в узкой области видимого света.

Фотометрические методы основаны на измерении интенсивности светового потока, прошедшего через окрашенный раствор. Основной закон светопоглощения – *закон Бугера–Ламберта–Бера* связывает уменьшение интенсивности света, прошедшего через слой светопоглощающего вещества с концентрацией вещества и толщиной слоя:

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon l c},$$

где I_0 – интенсивность падающего светового потока; I – интенсивность прошедшего светового потока; ε – молярный коэффициент светопоглощения при данной длине волны; l – толщина поглощающего слоя; c – молярная концентрация поглощающего вещества.

Отношение интенсивностей световых потоков, прошедших и падающих в исследуемый раствор называется *пропусканием* T (%):

$$T = I / I_0.$$

Взятый с обратным знаком логарифм T называется *оптической плотностью (поглощением или светопоглощением)* A :

$$A = -\lg T = \lg \frac{I_0}{I},$$
$$A = \varepsilon l c.$$

Оптическая плотность раствора A прямо пропорциональна концентрации окрашенного раствора c и толщине слоя раствора l . Графическая зависимость оптической плотности раствора от концентрации $A=f(c)$ называется *градуировочным графиком*. По изменению интенсивности светового потока с помощью градуировочного графика можно определить концентрацию вещества в исследуемом растворе.

Качественной характеристикой вещества в данных методах является длина волны.

ИК-спектрометрия (абсорбционная молекулярная спектрометрия) основана на поглощении ИК-излучения. ИК-спектры возникают в результате колебательного движения молекул. Колебательные спектры обладают высокой специфичностью и широко используются для идентификации веществ (качественный анализ). Различные молекулы, содержащие одну и ту же связь или одну и ту же атомную группировку, дают в ИК-спектре полосы поглощения одной и

той же частоты. Количественный анализ по ИК-спектрам проводится также на основании закона поглощения Бугера–Ламберта–Бера.

Люминесцентный анализ

Люминесценция – свечение атомов, молекул и других частиц, возникающее при возвращении из возбужденного состояния в основное. Люминесцирующая частица является самостоятельным источником света, преобразующим поглощенную энергию возбуждения в собственное излучение. Перевод частиц вещества в возбужденное состояние может осуществляться различными способами, например, при помощи излучения УФ и видимого спектрального диапазона (*фотолюминесценция* или *флуоресценция*), энергии химических реакций (*хемолюминесценция*) и т.д.

В люминесцентном анализе чаще всего используется свечение молекул – молекулярная фотолюминесценция. Интенсивность люминесценции линейно зависит от концентрации вещества.

4.2.2. Электрохимические методы анализа

Электрохимические методы анализа основаны на изучении и использовании процессов, протекающих на поверхности электрода или в приэлектродном пространстве. Аналитическим сигналом, связанным с составом и концентрацией раствора, служит измеряемый электрический параметр, например, потенциал (E , В), сила тока (I , мкА или мА), электрическая проводимость (L , См) или количество электричества (Q , Кл).

Для любых электрохимических измерений необходима *электрохимическая цепь* или *электрохимическая ячейка*, составной частью которой является анализируемый раствор. Один из электродов электрохимической ячейки называют *индикаторным*. Он обратимо реагирует на изменение состава анализируемого раствора таким образом, чтобы по наличию или отсутствию аналитического сигнала и его интенсивности можно было бы судить, есть ли определяемый компонент в растворе и сколько его. Индикаторный электрод не должен реагировать с компонентами раствора, поэтому его изготавливают из инертных токопроводящих материалов (платина, ртуть, золото, графит). Другой электрод электрохимической ячейки является *электродом сравнения*. Он характеризуется постоянным и не зависящим от состава раствора потенциалом. Универсальным электродом сравнения является стандартный водородный электрод. На практике обычно используют хлоридсеребряный и каломельный электроды. Хлоридсеребряный электрод состоит из серебряной проволоочки, покрытой слоем труднорастворимого хлорида серебра и погруженной в раствор хлорида калия (рис.2). При применении насыщенного раствора хлорида калия потенциал хлоридсеребряного электрода при 25 °C равен 0,22 В.

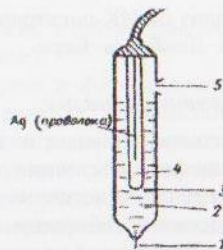


Рис. 2. Схема хлоридсеребряного электрода сравнения

- 1 – асбестовое волокно, обеспечивающее контакт с анализируемым раствором;
2 – насыщенный раствор KCl; 3 – отверстие для контакта;
4 – труднорастворимый AgCl; 5 – отверстие для ввода KCl

Классификация электрохимических методов анализа приведена в табл. 8.

Таблица 8

Электрохимические методы анализа

Метод анализа	Измеряемый параметр (аналитический сигнал)	Условия измерения
Потенциометрия	потенциал E , В	$I=0$
Вольтамперометрия	ток I , мкА	$I=f(E_{налож})$
Кулонометрия	количество электричества Q , Кл	I или $E=const$
Кондуктометрия	электропроводность L , См	$I_{перем}$

Потенциометрия

Основу *потенциометрического метода* анализа (*потенциометрии*) составляет зависимость потенциала электрода от концентрации (активности) определяемого иона, описываемая *уравнением Нернста*:

$$E = E^0 + \frac{0,059}{n} \lg \frac{c_{ox}}{c_{red}},$$

где E – потенциал электрода; E^0 – стандартный электродный потенциал; n – число электронов, принимающих участие в электродной реакции; c_{ox} , c_{red} – концентрации соответственно окисленной и восстановленной форм, т.е. концентрации ионов в высшей и низшей степени окисления.

Различают прямую потенциометрию (*ионометрию*) – непосредственное измерение равновесного потенциала и нахождение активности ионов в растворе, и косвенную – *потенциометрическое титрование* – регистрация изменения

потенциала в процессе химической реакции между определяемым веществом и титрантом.

Для потенциометрических измерений (измерения электродного потенциала) собирают электрохимическую цепь, состоящую из индикаторного электрода и электрода сравнения. Индикаторный электрод выбирают в зависимости от природы определяемых ионов. Электрохимическую цепь подсоединяют к потенциометру и измеряют величину ЭДС.

В потенциометрии используют металлические и мембранные (ионоселективные) индикаторные электроды. Наибольшее практическое применение нашел *стеклянный электрод*, относимый к мембранным ионоселективным электродам, и используемый для определения pH. Главной частью стеклянного электрода является тонкая стеклянная pH-чувствительная мембрана, приготовленная из особого стекла. Стеклянный электрод представляет собой тонкостенную колбочку, выполненную из этого стекла, с впаянной в неё серебряной проволокой. Электрод заполнен насыщенным раствором хлорида серебра в 0,1 М соляной кислоте (рис.3).



Рис. 3. Схема стеклянного электрода для измерения pH

- 1 – стеклянная pH-чувствительная мембрана; 2 – 0,1 М раствор HCl, насыщенный AgCl;
3 – серебряная проволока; 4 – стеклянная трубка

Для измерения pH водных растворов электрохимическую цепь составляют из стеклянного индикаторного электрода и хлоридсеребряного электрода сравнения. Измерительный прибор – pH-метр или иономер. Для настройки прибора или построения калибровочного графика используют буферные растворы с известными значениями pH.

Вольтамперометрия

Вольтамперометрические методы анализа основаны на изучении зависимости силы тока от налагаемого на электролитическую ячейку внешнего напряжения. В вольтамперометрии используют два электрода: рабочий поляризуемый электрод с малой поверхностью (индикаторный) и неполяризуемый электрод сравнения, например, хлоридсеребряный. Если в качестве рабочего электрода выбран электрод с постоянно обновляющейся поверхностью, например, ртутный капаящий электрод, то метод анализа называют *полярографическим* или *полярографией*.

Прибор, который позволяет равномерно увеличивать подаваемое напряжение и регистрировать силу проходящего тока, называется полярографом, а получаемый график зависимости силы тока от напряжения – вольтамперограммой или полярограммой.

Полярограмма содержит ценную аналитическую информацию: потенциал полуволны $E_{1/2}$ является качественной характеристикой вещества, а предельный диффузионный ток $I_{пр}$ связан с его концентрацией в растворе.

Кулонометрия

Кулонометрический метод анализа (кулонометрия) основан на измерении количества электричества, израсходованного на электролиз определенного количества вещества. Электричество расходуется на электрохимические реакции, приводящие к восстановлению или окислению определяемого вещества или же к получению промежуточного реагента, который количественно взаимодействует с определяемым веществом. Основу количественного определения веществ в кулонометрии составляют **законы электролиза Фарадея**, устанавливающие связь между массой превращенного вещества m и количеством израсходованного при этом электричества Q :

$$m = \frac{MQ}{nF},$$

где m – масса электрохимически превращенного вещества, г; M – молярная масса вещества, г/моль; Q – количество электричества, Кл; n – число электронов, участвующих в электрохимической реакции, F – постоянная Фарадея, равная ≈ 96500 Кл/моль.

Таким образом, масса электропревращенного вещества зависит только от количества электричества.

Если электролиз проводят при постоянном токе, то количество электричества Q за время электролиза t при постоянной силе тока I равно

$$Q = It.$$

Единицами количества электричества служат кулон (Кл) и фарадей (F). Кулон – это количество электричества, переносимое за 1 с при постоянном токе в 1 А, то есть 1 Кл = 1 А·с. Фарадей – это количество электричества, вызывающее электрохимическое превращение 1 моль эквивалентов вещества, он равен заряду, который несет на себе 1 моль ($6,02 \cdot 10^{23}$) электронов: 1 F = 96487 Кл $\approx$ 96500 Кл.

Непременное условие получения правильных результатов в кулонометрии – 100%-й выход по току в процессе электролиза.

Кондуктометрия

Кондуктометрический метод анализа (кондуктометрия) основан на измерении электрической проводимости растворов электролитов, которая обусловлена движением ионов.

Электрической проводимостью L называют способность вещества проводить электрический ток под действием внешнего электрического поля:

$$L = \frac{1}{R},$$

где R – сопротивление.

Измеряется электрическая проводимость в сименсах (См): 1 См = Ом⁻¹.

Ячейка для измерения электропроводности состоит из двух жестко закрепленных электродов, впаянных в стеклянный сосуд, в который помещают исследуемый раствор. Подключают ячейку к источнику переменного тока высокой частоты. Прибор для измерения электропроводности называется кондуктометром.

Удельная проводимость κ – это электрическая проводимость раствора, помещенного между двумя электродами площадью 1 см², находящимися на расстоянии 1 см. Если l – расстояние между электродами, а s – площадь электрода, то

$$\kappa = L \frac{l}{s}.$$

Отношение l/s называется **постоянной ячейки** K :

$$\kappa = L \cdot K.$$

Методы **прямой кондуктометрии** основаны на том, что в области разбавленных и умеренно концентрированных растворов электрическая проводимость растет с увеличением концентрации. Обычно используют заранее построенную градуировочную кривую зависимости электрической проводимости раствора от концентрации тех или иных ионов. В методах **кондуктометрического титрования** измеряют электрическую проводимость раствора после добавления небольших определенных порций титранта и находят точку эквивалентности. В этом методе используют такие химические реакции, в ходе которых происходит резкое изменение электрической проводимости после точки эквивалентности.

4.2.3. Хроматографические методы анализа

Хроматография – метод разделения и определения веществ в динамических условиях, основанный на различной **сорбционной способности** определяемых веществ.

Сорбцией называют процесс поглощения твердым телом или жидкостью (сорбентом) газообразного или растворенного вещества (сорбата), обратный процесс называют **десорбцией**.

Хроматография – процесс, основанный на многократном повторении сорбции и десорбции вещества при перемещении его в потоке подвижной фазы вдоль неподвижной фазы – сорбента. Вещество подвижной фазы непрерывно вступает в контакт с новыми участками сорбента и частично сорбируется, а сорбированное вещество контактирует со свежими порциями подвижной фазы и частично десорбируется.

Неподвижной фазой служит твердое пористое вещество или пленка жидкости, нанесенная на твердое вещество. Подвижная фаза представляет собой жидкость или газ, протекающий через неподвижную фазу, иногда под давлением. Подвижную фазу, вводимую в слой неподвижной фазы, называют *элюентом*, а подвижную фазу, выходящую из колонки и содержащую разделенные компоненты, – *элюатом*.

В элюате тем или иным способом определяют содержание компонентов. Устройство для регистрации концентрации компонентов смеси на выходе из колонки называется *детектором*, а графический результат регистрирования зависимости концентрации компонентов на выходе из колонки от времени – *хроматограммой*.

Хроматографическая колонка – трубка, наполненная сорбентом или полая трубка с нанесенным на внутреннюю поверхность сорбентом (или неподвижной фазой), в объеме которого осуществляется хроматографическое разделение смеси веществ.

Основными параметрами хроматограммы является *время удерживания* сорбата в хроматографической колонке и площадь хроматографического пика сорбата, который прямо пропорционален концентрации хроматографируемого вещества.

Различают 2 разновидности хроматографического анализа – *газовая хроматография* и *жидкостная хроматография*. В первом случае подвижной фазой является *газ-носитель* (обычно аргон или азот), во втором случае – *жидкость* (индивидуальный или смешанный растворитель, раствор). В настоящее время с помощью хроматографических методов определяется или контролируется качество примерно 80 % всех промышленно выпускаемых веществ и материалов. На рис. 4 дана принципиальная схема газового хроматографа с типовым пламенно-ионизационным детектором.

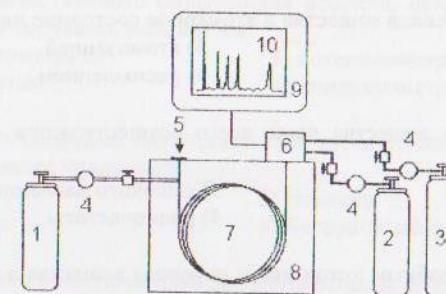


Рис. 4. Схема газового хроматографа с пламенно-ионизационным детектором
1 – баллон с газом-носителем; 2 – баллон с водородом (или генератор водорода);
3 – баллон с воздухом (или компрессор); 4 – регулятор давления;
5 – устройство для дозирования пробы (инжектор), связанное с испарителем пробы;
6 – пламенно-ионизационный детектор; 7 – капиллярная колонка; 8 – термостат;
9 – компьютеризованная система обработки сигнала детектора; 10 – хроматограмма

Наиболее информативным современным хроматографическим методом является *хромато-масс-спектрометрия*. В этом методе хроматографическая система совмещена с масс-спектрометром.

4.3. Задания для самостоятельного решения

Спектральные методы анализа

Атомно-спектроскопические методы анализа

1. Метод анализа, основанный на изучении спектров испускания, называется _____:

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1) атомно-абсорбционным | 3) люминесцентным |
| 2) эмиссионным | 4) электронно-графическим |

2. Метод, основанный на испускании (эмиссии) квантов электромагнитного излучения возбужденными атомами, называется _____:

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1) атомно-эмиссионным | 3) атомно-флуоресцентным |
| 2) атомно-спектральным | 4) атомно-резонансным |

3. Атомно-эмиссионные методы анализа основаны на способности возбужденных атомов вещества _____ электромагнитное излучение:

- | | |
|--------------|---------------|
| 1) отклонять | 3) преломлять |
| 2) испускать | 4) поглощать |

4. Процесс перевода вещества в атомарное состояние называется _____:

- | | |
|---------------|----------------|
| 1) эмиссией | 3) атомизацией |
| 2) ионизацией | 4) распылением |

5. Атомизация вещества чаще всего осуществляется с использованием _____:

- | | |
|----------------|----------------------|
| 1) ультразвука | 3) высокого давления |
| 2) пламени | 4) радиочастоты |

6. Наиболее удобным источником перевода вещества в атомарное состояние, является _____:

- | | |
|-----------------|-----------------------------|
| 1) радиочастота | 3) механическое воздействие |
| 2) ультразвук | 4) пламя |

7. Интенсивность излучения при прохождении через образец в методе атомно-адсорбционной спектроскопии _____:

- | | |
|------------------|----------------------------|
| 1) не изменяется | 3) увеличивается |
| 2) уменьшается | 4) изменяется неоднозначно |

8. Метод, основанный на поглощении (абсорбции) электромагнитного излучения атомами вещества в свободном состоянии, называется _____:

- | | |
|-------------------|---------------------------|
| 1) эмиссионным | 3) спектрофотометрическим |
| 2) люминесцентным | 4) атомно-абсорбционным |

Молекулярно-спектроскопические методы анализа

1. В спектральных методах анализа величиной, пропорциональной количеству определяемого вещества, является _____:

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1) электродный потенциал | 3) сила тока |
| 2) напряжение поля | 4) оптическая плотность |

2. Зависимость количества поглощенного образцом излучения от концентрации и толщины поглощающего слоя описывается законом _____:

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| 1) Эйнштейна | 3) Ван-Дер-Ваальса |
| 2) Бугера - Ламберта- Бера | 4) Вант-Гоффа |

3. Методы анализа, основанные на способности вещества поглощать свет определенной длины волны, называются _____:

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1) спектрофотометрическими | 3) потенциометрическими |
| 2) фотоэмиссионными | 4) радиометрическими |

4. Метод количественного определения веществ, основанный на поглощении излучения молекулами, называется _____:

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| 1) спектрофотометрией | 3) потенциометрией |
| 2) кулонометрией | 4) кондуктометрией |

5. Зависимость величины оптической плотности от концентрации вещества в растворе называется уравнением _____:

- | | |
|--------------|--------------------------|
| 1) Фарадея | 3) Нернста |
| 2) Ильковича | 4) Бугера-Ламберта- Бера |

6. В методе спектрофотометрии экспериментальной величиной, значение которой пропорционально концентрации вещества, является _____:

- | | |
|-------------------------|----------------|
| 1) оптическая плотность | 3) длина волны |
| 2) пропускательность | 4) сила тока |

7. Величина, которая является качественной характеристикой вещества и зависит от его природы в методе спектрофотометрии, называется _____:

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 1) длиной волны | 3) амплитудой сигнала |
| 2) интенсивностью поглощения | 4) световым потоком |

8. Величина, которая является количественной характеристикой вещества и зависит от его природы в методе спектрофотометрии, называется _____:

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1) амплитудой сигнала | 3) разностью потенциалов |
| 2) световым потоком | 4) длиной волны |

9. Величина, зависящая от концентрации анализируемого вещества в методе спектрофотометрии, называется _____:

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1) интенсивность излучения | 3) длина волны |
| 2) интенсивность окраски | 4) оптическая плотность |

Люминесцентный анализ

1. Физический метод анализа, в основе которого используется способность электромагнитного излучения вызывать свечение исследуемого объекта, называется _____:

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1) атомно-абсорбционным | 3) спектрофотометрическим |
| 2) люминесцентным | 4) эмиссионным |

2. Метод люминесценции, основанный на возбуждении молекул электромагнитным излучением в виде света видимой и ультрафиолетовой области, называется _____:

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1) хемотрюминесценцией | 3) электролюминесценцией |
| 2) биоломинесценцией | 4) фотолюминесценцией |

3. Свечение атомов, молекул или других частиц, возникающее при электронных переходах из возбужденного состояния в основное, называется _____:

- | | |
|----------------|-------------------|
| 1) эмиссией | 3) фотометрией |
| 2) релаксацией | 4) люминесценцией |

Электрохимические методы анализа

Потенциометрия

1. Метод анализа, основанный на зависимости потенциала электрода от концентрации ионов, называется _____:

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1) потенциометрия | 3) кондуктометрия |
| 2) кулонометрия | 4) полярография |

2. В потенциометрическом методе анализа изменение концентрации потенциалопределяющего иона влияет на величину _____:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1) электропроводности раствора | 3) электродного потенциала |
| 2) количества электричества | 4) внешнего напряжения |

3. В методе потенциометрии экспериментально измеряемой величиной, является _____:

- | | |
|--------------|-----------------------------|
| 1) сила тока | 3) количество электричества |
| 2) ЭДС | 4) напряжение |

4. При определении концентрации ионов водорода методом потенциометрии наибольшее применение получил _____ электрод:

- | | |
|------------------|---------------------|
| 1) металлический | 3) кислородный |
| 2) стеклянный | 4) хлоридсеребряный |

5. Для потенциометрического определения pH растворов в качестве индикаторного наиболее часто используется _____ электрод:

- | | |
|------------------|---------------------|
| 1) металлический | 3) газовый |
| 2) стеклянный | 4) хлоридсеребряный |

Вольтамперометрия

1. Метод вольтамперометрии основан на прямо пропорциональной зависимости между концентрацией вещества и _____:

- | | |
|-------------------|---------------|
| 1) проницаемостью | 3) частотой |
| 2) ЭДС | 4) силой тока |

2. Метод анализа, основанный на зависимости силы тока, протекающего через электролитическую ячейку от внешнего напряжения, называется _____:

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1) кондуктометрия | 3) вольтамперометрия |
| 2) фотометрия | 4) кулонометрия |

Кулонометрия

1. Основой кулонометрического метода анализа является уравнение _____:

- | | |
|-------------------------|------------|
| 1) Гесса | 3) Нернста |
| 2) Бугера-Ламберта-Бера | 4) Фарадея |

2. Метод кулонометрии основан на использовании закона _____:

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1) Эйнштейна | 3) Фарадея |
| 2) Клайперона-Клаузиуса | 4) Бугера-Ламберта-Бера |

3. Метод анализа, основанный на зависимости массы преобразованного вещества от количества электричества, называется _____:

- | | |
|-------------------|-------------------|
| 1) кондуктометрия | 3) потенциометрия |
| 2) полярография | 4) кулонометрия |

4. Метод кулонометрии основан на зависимости количества выделившегося на электродах вещества от _____:

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1) потенциала электрода | 3) количества электричества |
| 2) ЭДС | 4) длины волны |

Кондуктометрия

1. Метод, основанный на измерении электропроводности растворов или расплавов электролитов, называется _____:

- | | |
|-----------------------|--------------------|
| 1) спектрометрией | 3) кондуктометрией |
| 2) вольтамперометрией | 4) кулонометрией |

2. Методами кондуктометрии можно анализировать только вещества, являющиеся _____:

- | | |
|------------------|------------------------|
| 1) коллоидами | 3) высокомолекулярными |
| 2) электролитами | 4) диэлектролитами |

3. При кондуктометрическом методе анализа измеряют величину _____:

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| 1) оптической плотности | 3) потенциала |
| 2) электропроводности | 4) интенсивности излучения |

4. Метод анализа, основанный на зависимости электропроводности от концентрации электролита, называется _____:

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1) полярографией | 3) рефрактометрией |
| 2) кондуктометрией | 4) кулонометрией |

Хроматографические методы анализа

1. Метод определения веществ, основанный на их различной способности адсорбироваться, называется _____:

- | | |
|------------------|------------------|
| 1) полярография | 3) спектрография |
| 2) хроматография | 4) топография |

2. Устройство для непрерывной регистрации концентрации компонентов, выходящих из колонки, называется _____:

- | | |
|---------------|---------------|
| 1) титратором | 3) детектором |
| 2) фотометром | 4) пирометром |

3. Хроматографические методы анализа основаны на различной _____ способности определяемых веществ:

- | | |
|----------------------|-----------------------------------|
| 1) сорбционной | 3) фотохимической |
| 2) электрохимической | 4) окислительно-восстановительной |

4. Вещество, на поверхности которого происходит разделение и концентрирование анализируемых веществ в методе хроматографии, называется _____:

- | | |
|------------|------------|
| 1) элюент | 3) сорбент |
| 2) сорбтив | 4) сорбат |

5. В жидкостной хроматографии в качестве подвижной фазы применяют жидкости в виде:

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 1) растворов сорбата | 3) смесей растворителей или растворов |
| 2) смеси элюента и элюата | 4) экстрагента сорбата |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев, В. П. Аналитическая химия в 2 кн. Кн. 1: Титриметрический и гравиметрический методы анализа / В.П. Васильев. – М.: Дрофа, 2005. – 366 с.
2. Васильев, В. П. Аналитическая химия в 2 кн. Кн. 2: Физико-химические методы анализа / В.П. Васильев. – М.: Дрофа, 2005. – 383 с.
3. Золотов Ю.А. Основы аналитической химии в 2 кн. Кн. 1. Учеб. для вузов/Ю. А. Золотов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2004. — 361 с.
4. Золотов, Ю. А. История и методология аналитической химии / Ю.А. Золотов, В. И. Вершинин. – М.: Академия, 2008. – 461 с.
5. Кельнер Р., Аналитическая химия в 2 кн. Кн. 1/Р. Кельнер. - М.: Мир-Аст, 2004. - 607 с.
6. Кельнер Р. Аналитическая химия в 2 кн. Кн. 2/Р. Кельнер - М.: Мир-Аст, 2004. - 726 с.
7. Рудаков О.Б. Артамонова О.В., Барсукова Л.И. и др. Вопросы прикладной химии в строительном материаловедении. Учеб. пособие. Воронеж, ВГАСУ, 2007. - 168 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Тема 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ	4
Тема 2. КАЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.....	9
Тема 3. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.....	15
Тема 4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА.....	20
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	36

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ. ХИМИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ВЕЩЕСТВА

Методические указания
к внеаудиторной самостоятельной работе и подготовке
к интернет-тестированию по химии
для студентов 1-го курса всех специальностей

Составители: Слепцова Ольга Валентиновна
Кукина Ольга Борисовна
Рудаков Олег Борисович

Редактор Черкасова Т.О.

Подписано в печать 7.02.2011. Формат 60х84 1/16. Уч.-изд. л. 2,3.
Усл.-печ. л. 2,4. Бумага писчая. Тираж 500 экз. Заказ № 64.

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства
учебной литературы и учебно-методических пособий
Воронежского государственного
архитектурно-строительного университета
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84