

И.В. Мельситова Е.Г. Рагойжа

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов
учреждений высшего образования
по группам специальностей «Биология и биохимия»,
«Науки об окружающей среде», специальности
«Природоведческое образование»



Минск
«Адукацыя і выхаванне»
2024

УДК 543(075.8)
ББК 24.4я73
М48

Рецензенты: кафедра химии и методики преподавания химии учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка» (заведующий кафедрой кандидат химических наук, доцент *А.Л. Козлова-Козыревская*); доцент кафедры биоорганической химии учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет» кандидат химических наук, доцент *Ф.Ф. Лахвич*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

ISBN 978-985-599-801-4

© Мельситова И.В., Рагойжа Е.Г., 2024
© Оформление. Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Адукацыя і выхаванне”», 2024

ВВЕДЕНИЕ

Аналитическая химия – наука об определении состава и структуры веществ. Аналитическая химия разрабатывает теоретические основы и методы химического анализа. Главной практической задачей аналитической химии является определение состава веществ и их смесей.

Изучение аналитической химии занимает особое место в системе подготовки студентов-биологов – будущих технологов, экологов, учителей, исследователей. Знание теории и практики химического анализа необходимо им как для последующего изучения ряда общих дисциплин (физической химии, физико-химических методов анализа, коллоидной химии), так и для будущей профессиональной деятельности.

Данное издание разработано в помощь студентам биологических факультетов учреждений высшего образования при изучении дисциплины «Аналитическая химия». В первой части пособия рассматриваются теория химического равновесия в гомогенных и гетерогенных системах, основы классических химических методов анализа – гравиметрического и титриметрического, основы математической обработки результатов химического анализа, приводятся примеры решения некоторых типов задач, а также задачи для самостоятельного решения с ответами. В пособие включены главы, посвященные некоторым физико-химическим методам анализа как наиболее перспективным. Во второй части издания рассматриваются химические методы обнаружения и определения неорганических веществ, важнейшие качественные реакции. Пособие также содержит непосредственное описание хода лабораторных работ по бумажной хроматографии, гравиметрическому, титриметрическому и некоторым физико-химическим методам анализа.

Вместе с тем пособие построено таким образом, чтобы стимулировать студентов к самостоятельному и осознанному изучению предмета. Читателям предстоит выполнить определенные задания самостоятельно, например, предложить схему определения ионов, вывести формулы для расчета, а также решить задачи по основным разделам аналитической химии и ответить на контрольные вопросы.

В издание включены справочные таблицы, которые будут полезны при решении расчетных экспериментальных задач.

Учебное пособие составлено на основе Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальности 1-31-01 «Биологические науки» и соответствует программе по аналитической химии химических и биологических факультетов университетов.

ЧАСТЬ I

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ
АНАЛИТИЧЕСКОЙ
ХИМИИ**



Глава 1. Предмет, задачи, методы, основные понятия и значение аналитической химии

1.1. Предмет аналитической химии

Аналитическая химия — наука об определении состава и строения веществ. Согласно определению, принятому в 1993 г. Федерацией европейских химических обществ, *аналитическая химия — это научная дисциплина, которая развивает и применяет методы, приборы и общие подходы для получения информации о составе и природе вещества в пространстве и во времени.*

Понятие «анализ» связано с разложением вещества на составные части, поэтому наука, занимающаяся определением состава веществ, называется аналитической химией. Предмет аналитической химии — разработка методов анализа и практическое их выполнение, а также исследование теоретических основ аналитических методов.

Аналитическая химия является одной из важнейших химических наук, имеет самостоятельные задачи и решает их разнообразными методами исследования (химическими, физическими, математическими). *Задача аналитической химии* состоит в разработке и совершенствовании ее методов, определении границ их применимости, оценке метрологических и других характеристик, разработке методик анализа конкретных объектов. Фундаментом аналитической химии служат основные законы естествознания (законы сохранения массы и постоянства состава вещества, закон действующих масс, периодический закон Д.И. Менделеева и др.). Следует иметь в виду, что сам факт установления основных законов химии был бы невозможен без точного определения состава веществ. В своем развитии аналитическая химия использует достижения таких наук, как математика, физика, биология, а также общая, неорганическая, органическая, физическая и коллоидная химия.

1.2. Принцип, метод и методика анализа

Анализ представляет собой совокупность действий, направленных на получение информации о химическом составе объекта. Явление, используемое для

получения аналитической информации, называется *принципом анализа*. Краткое изложение принципов, лежащих в основе анализа вещества (вне зависимости от определяемого компонента и анализируемого объекта), носит название *метод анализа*. *Методика анализа* – это подробное описание хода выполнения анализа данного объекта с использованием выбранного метода, обеспечивающего регламентированные характеристики правильности и воспроизводимости.

Качественный и количественный состав объекта (*образца*) определяют путем анализа специально отобранной его части, именуемой *пробой*. Определяемые компоненты, входящие в состав пробы, называют *аналитами*. Среда, в которой находится аналит, носит название *матрицы*. Вещества, входящие в состав матрицы, могут оказывать влияние на результаты анализа («*матричный эффект*»). Методика анализа может включать в себя следующие основные этапы:

- 1) отбор пробы;
- 2) подготовка пробы (разложение пробы, разделение и концентрирование компонентов);
- 3) получение и измерение аналитического сигнала;
- 4) обработка и интерпретация результатов анализа.

Конкретная методика анализа не обязательно должна включать в себя каждый из перечисленных выше этапов. Набор выполняемых операций зависит от сложности состава анализируемого образца, концентрации определяемого вещества, целей выполняемого анализа, допустимой погрешности результата анализа, а также от того, какой метод анализа будет использоваться.

1.3. Структура и методы аналитической химии

В зависимости от *цели* анализа условно различают качественный, количественный и структурный анализ. *Качественный анализ* предполагает обнаружение и идентификацию компонентов анализируемого образца. *Количественный анализ* направлен на определение концентраций или масс компонентов. Цель *структурного анализа* – установление химического и пространственного строения исследуемого соединения. Деление это в известной мере условно, поскольку само понятие идентификации, или обнаружения, связано с количественными критериями. В зависимости от того, какие компоненты нужно определить, различают элементный, структурно-групповой или функциональный (определяют функциональные группы), фазовый (определяют отдельные фазы в неоднородном объекте), изотопный, вещественный (определяют определенные формы, в которых интересующий компонент присутствует в анализируемом объекте), молекулярный (определяют индивидуальные химические соединения, характеризующиеся определенной молекулярной массой) анализ.

По *природе* различают анализ органических и неорганических веществ.

Классификация методов в зависимости от *массы или объема анализируемой пробы* представлена в табл. 1.

Классификация методов анализа в зависимости от массы или объема анализируемой пробы

Вид анализа	Масса пробы, г	Объем пробы, мл
Макроанализ	>0,1	$10 - 10^3$ (реакции в пробирках, колбах, стаканах)
Полумикроанализ	0,01 – 0,1	$10^{-1} - 10$
Микроанализ	<0,01	$10^{-2} - 1$ (микрорекристаллоскопические и капельные реакции)
Субмикроанализ	$10^{-4} - 10^{-3}$	$<10^{-2}$
Ультрамикроанализ	$<10^{-4}$	$<10^{-3}$ (под микроскопом)
Субмикрометоды	$\sim 10^{-9}$	–

Субмикрометоды применимы для проб с высокой радиоактивностью, токсичностью или в силу особенностей анализа. Техника анализа может варьироваться.

В зависимости от *характера измеряемого свойства* (природы процесса, лежащего в основе метода) или способа регистрации аналитического сигнала различают химические, физические и биологические методы анализа.

Химические методы анализа, называемые также классическими, основаны на использовании химических реакций. К таким методам относят гравиметрию и титриметрию. Большинство гравиметрических определений основано на измерении массы малорастворимого или газообразного продукта реакции. В рамках титриметрических методов определяют количество вещества-реагента, взаимодействующего с определяемым веществом.

Физические методы анализа основаны на измерении с помощью специальных приборов физических свойств определяемых веществ: эти свойства изменяются при изменении содержания вещества в анализируемом объекте (т.е. свойства зависят от состава). Химические реакции в данных методах либо не используются вовсе, либо играют вспомогательную роль. К физическим методам относят спектроскопические, электрометрические (электрохимические), термометрические, радиометрические и др.

Существуют также методы анализа, называемые *физико-химическими*. Они сочетают в себе черты химических и физических методов. При использовании таких методов с помощью специальных приборов измеряют физические свойства веществ, изменяющиеся в процессе протекания химической реакции. Например, молекулярная абсорбционная спектроскопия – метод, основанный на измерении

оптической плотности раствора вещества, является физическим методом. Если же измеряемая оптическая плотность изменяется в процессе химической реакции (фотометрическое титрование), то метод анализа становится физико-химическим. Граница между физическими и физико-химическими методами часто оказывается условной, поэтому наиболее удобным является разделение всех методов анализа на химические, к которым относят гравиметрию и титрование, и инструментальные.

Биологические методы анализа – методы качественного и количественного определения неорганических и органических веществ, основанные на применении живых организмов в качестве аналитических индикаторов. Живые организмы живут в строго определенной среде и чутко реагируют на ее изменение, подавая сигнал. В качестве индикаторов применяют микроорганизмы, бактерии, дрожжи, плесневые грибы, водоросли, высшие растения, беспозвоночных и позвоночных животных, а также ткани и органы теплокровных.

Фиксируемым сигналом может быть изменение характера поведения, скорости роста, состава крови, а также нарушение функций организма, гибель. Время эксперимента может достигать до 40–50 сут. Биологические методы анализа характеризуются высокой чувствительностью и избирательностью по отношению к биологически активным веществам.

Биологические методы анализа используют для определения различных ядов (в том числе пестицидов), витаминов, аминокислот, большого числа продуктов органического и неорганического синтеза. Они особенно актуальны при контроле окружающей среды, при оценке эффективности работы очистных сооружений.

При росте и развитии микроорганизмы извлекают и накапливают некоторые элементы, что может быть использовано для их концентрирования. Так, тяжелые металлы накапливаются водорослями, моллюсками.

Примерами биологических методов могут служить микробиологическое определение активности антибиотиков, выявление активности сердечных гликозидов на лягушках, кошках или голубях и др.

Выбор метода анализа зависит от химических свойств аналита и матрицы, а также от содержания определяемого компонента и целей проведения анализа. Так, инструментальные методы обладают по сравнению с химическими более высокой избирательностью и более низкой границей определяемых концентраций. В то же время химические методы характеризуются лучшей воспроизводимостью результатов анализа. Поэтому если содержание определяемого вещества в анализируемом объекте достаточно высокое и результат должен быть получен с высоким уровнем точности, как правило, анализ проводят химическими методами. Если же концентрация аналита в образце мала и решающим фактором является область определяемых содержаний методики, а не ее воспроизводимость, предпочтительнее использовать инструментальные методы анализа.

1.4. Аналитические реакции: чувствительность, специфичность, селективность, способы выполнения

Остановимся более подробно на термине *определение*, или *обнаружение*. Определение, или обнаружение, химическим методом любого вещества может быть осуществлено путем его взаимодействия с каким-либо реагентом. В результате появляются доступные для регистрации изменения: выпадение осадка, образование окраски, выделение газа, изменение температуры и т.д. Изменения могут быть зарегистрированы визуально, т.е. с помощью органов чувств, или с использованием приборов. Реакция, с помощью которой производится определение, называется *аналитической реакцией*, а наблюдаемые изменения — *аналитическим эффектом* (образование и растворение осадка, образование характерных кристаллов, появление и изменение окраски, выделение газов). Вещества, вызывающие протекание аналитической реакции, называют *аналитическими реагентами*.

Аналитические реакции, применяемые для обнаружения веществ, характеризуются рядом параметров. Прежде всего, это *чувствительность* реакций, количественно описываемая *открываемым минимумом m* (мкг), т.е. минимальным количеством вещества, дающим отличный от нуля аналитический эффект в данных условиях, и *предельным разбавлением G* (весовое количество растворителя, приходящееся на 1 весовую часть обнаруживаемого вещества или иона). Они связаны соотношением

$$m = \frac{V \cdot 10^6}{G}, \quad (1.1)$$

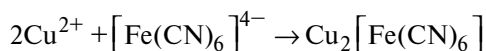
где V — объем раствора, который берут для выполнения реакции, мл. Обычно $V = 0,05$ мл (1–2 капли).

Величины m и G для различных реакций могут изменяться в очень широких пределах. В частности, для реакции



величина m составляет 1 мкг, а G — 1:50 000.

Для реакции



величина m составляет 0,02 мкг, а G — 1:2 500 000, при условии, что исходный объем раствора равен 0,05 мл.

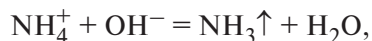
В последнее время понятие открываемого минимума заменяется понятием предела обнаружения. *Предел обнаружения* — наименьшее содержание анализируемого вещества (масса, концентрация), которое по данной методике с заданной

доверительной вероятностью (обычно $P = 0,99$) можно отличить от сигнала контрольного опыта.

На чувствительность аналитических реакций влияет ряд условий: концентрация реагентов, кислотность раствора, температура, добавки органических растворителей.

Еще один параметр, характеризующий аналитическую реакцию, — **специфичность**. Специфической реакцией на данный ион называется такая реакция, которая позволяет обнаруживать его в условиях опыта в смеси с другими ионами.

Есть ряд специфических реакций, например



в результате которой выделяется аммиак, легко узнаваемый по запаху и другим свойствам. Однако эта реакция имеет очень высокий открываемый минимум и низкое предельное разбавление, кроме того, обоняние у людей разное, поэтому устанавливать эти характеристики трудно. Мерой специфичности реакции по отношению к какому-то постороннему иону может служить предельное отношение концентраций мешающего иона и определяемого, при котором наблюдается аналитический эффект. Так, реакции $\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \rightarrow \text{PbI}_2$ мешают ионы Cu^{2+} , и это соотношение составляет не более 25:1. В ряде случаев для устранения мешающего влияния можно применить маскирование.

Маскирование — использование химической реакции, приводящее к уменьшению концентрации мешающего иона и протекающее в той же фазе, что и основная реакция.

Однако в подавляющем большинстве случаев аналитические реакции неспецифичны. В аналитической химии чаще приходится иметь дело с реакциями, которые дают одинаковый или сходный эффект с несколькими, а иногда и со многими ионами. Так, малорастворимые сульфаты образуют ограниченное число катионов, карбонаты — почти половина металлов периодической системы. Кроме того, при образовании окрашенных соединений происходит «наложение» различных окрасок. Так, сульфиды большинства металлов черного цвета, который закрывает цвета сульфидов таких катионов, как Zn^{2+} , Mn^{2+} , Sb(III) , Cd^{2+} , — белый, розовый, оранжевый и желтый соответственно.

Реакции, дающие сходный эффект лишь с ограниченным числом ионов, называют избирательными или **селективными**. Степень селективности реакции тем больше, чем меньше число ионов, с которыми реакция дает положительный эффект. Чем сложнее состав объекта, тем труднее проводить анализ.

Применяя специфические реакции, можно обнаруживать соответствующие ионы так называемым **дробным** методом, т.е. непосредственно в отдельных

порциях раствора, не считаясь с тем, какие другие ионы содержатся в нем; при этом порядок обнаружения отдельных ионов не имеет значения.

Когда достаточно специфические реакции отсутствуют и нельзя повысить их специфичность каким-либо способом, обнаружение соответствующих ионов дробным методом невозможно. Для таких случаев приходится разрабатывать определенную последовательность реакций обнаружения отдельных ионов, представляющую *систематический ход анализа*. Он состоит в том, что к обнаружению каждого иона приступают лишь после того, как все другие ионы, мешающие его обнаружению (т.е. также реагирующие с применяемым реагентом), будут предварительно обнаружены и удалены из раствора, т.е. систематические методы анализа предусматривают процедуру *разделения*. При этом лишь достаточная эффективность разделения делает возможным успешное определение компонентов. Поэтому аналитическая химия занимается также изучением методов разделения веществ. Различают физические и химические (осаждение, связывание) методы разделения. Не останавливаясь подробно на этом вопросе, отметим, что наиболее приемлемым методом разделения при использовании реакций в растворах является метод осаждения. Однако при систематическом ходе анализа ионы выделяют из сложной смеси не по одному, а целыми группами, пользуясь их одинаковым отношением к действию некоторых реагентов, называемых *групповыми реагентами*. Групповые реагенты позволяют выделять группы родственных по свойствам ионов из раствора с последующим разделением на подгруппы и с дальнейшим разделением подгрупп на компоненты.

Групповым реагентом может служить реагент, удовлетворяющий определенным требованиям:

- он должен осаждать ионы практически количественно (концентрация иона в растворе после осаждения не должна превышать 10^{-6} моль/л);
- полученный осадок должен легко растворяться (например, в кислотах), чтобы можно было провести дальнейший анализ;
- избыток добавленного реагента не должен мешать обнаружению тех ионов, которые остались в растворе.

Способы выполнения аналитических реакций. Аналитические реакции могут выполняться «сухим» и «мокрым» способом. В первом случае исследуемое вещество и реагенты берут в твердом состоянии и осуществляют реакцию, нагревая их до высокой температуры: окрашивание пламени солями некоторых металлов (натрий – желтый, калий – фиолетовый, стронций – карминово-красный, барий – зеленый и т.д.); образование окрашенных перлов (стекло) при сплавлении тетрабората натрия или гидрофосфата натрия-аммония с солями некоторых металлов; сплавление исследуемого твердого вещества с теми или иными «плавнями», например со смесями твердых Na_2CO_3 и K_2CO_3 . Перечисленные методы называются пирохимическими и используются при определении минералов и горных пород. Иногда применяется метод растирания исследуемого твердого вещества

с каким-либо твердым реагентом (метод Флавицкого). Например, для обнаружения кобальта несколько кристалликов CoSO_4 растирают на фарфоровой пластинке с равным количеством NH_4SCN .

В случае «мокрых» реакций наблюдают взаимодействие исследуемого вещества и соответствующих реагентов в растворе. Чаще в анализе применяют реакции, происходящие между веществами в растворе. При выполнении реакций необходимо обращать внимание на условия их проведения: pH, температура раствора, концентрация растворов. *При несоблюдении условий протекания реакции не стоит ожидать аналитического эффекта!*

Реакции между растворами можно проводить в пробирках, на стекле и на фильтровальной бумаге.

Микрористаллоскопические реакции проводят на предметном стекле и о присутствии обнаруживаемого иона судят по форме образующихся кристаллов, рассматриваемых под микроскопом. При выполнении микрористаллоскопических реакций следует использовать чистые предметные стекла и учитывать влияние на форму кристаллов таких факторов, как скорость роста кристаллов, концентрация растворов и чистота веществ.

1.5. Значение аналитической химии

Аналитическая химия имеет важное научное и практическое значение. Следует напомнить, что основные законы химии были открыты с помощью методов аналитической химии. Открытие целого ряда элементов оказалось возможным благодаря применению точных методов анализа. Германий был открыт Винклером благодаря тому, что сумма масс компонентов минерала аргиродита была «заниженной» и были предприняты поиски недостающей части. Похожим образом Релей открыл аргон в воздухе.

Практически в любой области химической науки, от органической и неорганической химии до физической, нельзя обойтись без «услуг» аналитической химии. Это относится к определению как чистоты синтезированных веществ, так и их равновесных концентраций в различных физико-химических процессах. Вместе с тем аналитическая химия вовсе не «служанка» различных областей химических наук, поскольку ее достижения позволяют получать новые знания об окружающем мире. Чем точнее анализ, тем глубже знания. Без аналитической химии невозможно развитие современной промышленности. Потребности развития индустрии выдвигают все новые задачи перед аналитической химией. Решая их, аналитическая химия способствует развитию промышленности. Таким образом, между аналитической химией и практикой существует тесная обратная связь.

Одна из важнейших функций аналитической химии — контроль химической продукции и мониторинг окружающей среды, например получение и контроль материалов с заданными свойствами. Контроль продукции составляет до 50 %

затрат на производство (например, контроль чистоты урана, циркония, полупроводников, которые должны содержать не более 10^{-11} % примесей, т.е. примерно 1 часть примесей на 10–100 млрд частей основного вещества).

Без аналитической химии невозможно существование службы мониторинга окружающей среды. В настоящее время в окружающую среду попадает очень много техногенных примесей, как органических, так и неорганических, которые невозможно идентифицировать и количественно определить без современных аналитических методов.

Владение теорией и методами аналитической химии необходимо в криминалистике, в медицине, в том числе и судебной. Анализ в медицине представляет собой контроль всевозможных веществ в биологических объектах. Для решения этой задачи применяют реакции с использованием как классических химических реагентов, так и биологически активных веществ, таких как ферменты.

Глава 2. Равновесия в гомогенных системах

Важнейшие характеристики той или иной методики анализа – воспроизводимость и правильность, чувствительность, предел обнаружения и селективность – зависят от того, насколько верно выбраны условия проведения аналитической реакции, такие как pH, температура или концентрация реагентов. Разработка любой новой методики обычно начинается с экспериментального определения оптимальных условий проведения анализа. Для того чтобы выбор этих условий был осознанным и рациональным, химик-аналитик должен уметь осуществлять предварительное теоретическое прогнозирование. Поэтому перед изучением основных методов химического анализа необходимо научиться проводить расчеты для процессов, лежащих в основе аналитических реакций.

Многие расчеты в аналитической химии связаны с химическими равновесиями. В настоящем пособии будет дана общая характеристика химического равновесия, а также рассмотрены основные виды констант равновесия.

2.1. Закон действующих масс

Закон действующих масс был открыт в 1884 г. норвежскими учеными К.Гульдбергом и П.Вааге. Это фундаментальный закон химии. В аналитической химии закон действующих масс является теоретической основой многих методов анализа. Он устанавливает количественные соотношения между веществами, участвующими в обратимой химической реакции, после достижения состояния равновесия. *Обратимыми* называют такие химические реакции, которые идут не только в прямом, но и в обратном направлении. С точки зрения химической кинетики равновесие – это такое состояние системы, при котором скорости прямой и обратной реакций равны.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Часть I. ОСНОВЫ ТЕОРИИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ	4
Глава 1. Предмет, задачи, методы, основные понятия и значение аналитической химии	5
1.1. Предмет аналитической химии	5
1.2. Принцип, метод и методика анализа	5
1.3. Структура и методы аналитической химии	6
1.4. Аналитические реакции: чувствительность, специфичность, селективность, способы выполнения	9
1.5. Значение аналитической химии	12
Глава 2. Равновесия в гомогенных системах	13
2.1. Закон действующих масс	13
2.2. Активность и коэффициенты активности	15
2.3. Виды констант химического равновесия, используемых в аналитической химии	19
2.3.1. Термодинамическая константа	20
2.3.2. Реальная константа	20
2.3.3. Условная константа	21
2.4. Примеры расчета коэффициентов активности и реальной константы равновесия	22
Глава 3. Кисотно-основные взаимодействия в растворах	28
3.1. Теории кислот и оснований	28
3.1.1. Ионная теория кислот и оснований (теория Аррениуса)	28
3.1.2. Теория Льюиса	29
3.1.3. Теория Усановича	29
3.1.4. Теория Бренстеда–Лоури	30
3.2. Влияние растворителя на кислотно-основные свойства. Автопротолиз растворителя	32
3.3. Классификация кислот и оснований по силе	35

3.4. Расчет рН водных растворов различных протолитов	36
3.4.1. Растворы сильных кислот и оснований	37
3.4.2. Растворы слабых кислот и оснований.	39
3.4.3. Растворы гидролизующихся солей	45
3.5. Буферные растворы	46
Глава 4. Гетерогенные равновесия (равновесия в системах «осадок – раствор»)	51
4.1. Произведение растворимости	51
4.2. Растворимость и влияющие на нее факторы	54
4.3. Расчет условий начала и полноты осаждения	60
Глава 5. Равновесия в растворах комплексных соединений	62
5.1. Понятие комплексного соединения	62
5.2. Равновесия в растворах комплексных соединений	64
5.3. Области применения комплексных соединений и реакций комплексообразования в аналитической химии.	68
Глава 6. Окислительно-восстановительные реакции	69
6.1. Понятие окислительно-восстановительных реакций	69
6.2. Электродный потенциал	70
6.3. Уравнение Нернста.	74
6.4. Применение окислительно-восстановительных реакций в аналитической химии	75
Глава 7. Гравиметрический метод анализа	76
Глава 8. Титриметрические методы анализа	86
8.1. Понятие о титриметрических методах. Требования, предъявляемые к реакциям, классификация титриметрических методов	86
8.2. Расчет результатов	91
8.3. Кривые титрования и общая характеристика титриметрического метода	92
8.4. Кислотно-основное титрование (метод нейтрализации)	93
8.4.1. Кислотно-основные индикаторы	93
8.4.2. Кривые титрования	99
8.5. Окислительно-восстановительное титрование.	105
8.5.1. Способы фиксирования конечной точки титрования. Окислительно-восстановительные индикаторы	106

8.5.2. Перманганатометрическое титрование	109
8.5.3. Бихроматометрическое титрование.	110
8.5.4. Иодометрическое титрование	111
8.5.5. Кривые титрования	113
8.6. Методы комплексообразования в титриметрии	115
Глава 9. Погрешности и обработка результатов анализа	121
9.1. Аналитический сигнал. Методы расчета концентрации вещества по величине аналитического сигнала	121
9.2. Погрешности измерений.	124
9.3. Статистическая обработка результатов.	126
9.4. Приближенные вычисления и значащие цифры	133
Глава 10. Физико-химические методы анализа	135
10.1. Электрохимические методы анализа. Потенциометрия	135
10.2. Спектроскопические (оптические) методы анализа	141
10.2.1. Молекулярно-абсорбционная спектрометрия	143
10.2.2. Пламенный эмиссионный анализ	150
Глава 11. Гибридные методы анализа	153
11.1. Хроматографические методы анализа.	153
11.2. Экстракция и экстракционно-фотометрический метод анализа.	162
Часть II. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	169
1. Организация рабочего места и техника безопасности	170
1.1. Организация рабочего места.	170
1.2. Техника безопасности в аналитической лаборатории	170
1.3. Меры оказания первой медицинской помощи	171
2. Оборудование и посуда. Правила выполнения основных операций	172
2.1. Лабораторные весы и техника взвешивания	172
2.2. Правила работы с центрифугой	173
2.3. Правила работы с химической посудой	173

3. Качественный химический анализ	174
3.1. Техника выполнения химических реакций качественного анализа	175
3.2. Аналитические классификации катионов	177
Лабораторная работа № 1. Изучение свойств катионов I и II аналитических групп	181
Лабораторная работа № 2. Систематический анализ смеси катионов I и II аналитических групп	186
Лабораторная работа № 3. Изучение свойств катионов III аналитической группы	188
Лабораторная работа № 4. Систематический анализ смеси катионов III аналитической группы	197
Лабораторная работа № 5. Изучение свойств катионов IV и V аналитических групп	200
Лабораторная работа № 6. Изучение свойств анионов I–III аналитических групп	210
Лабораторная работа № 7. Систематический анализ смеси анионов I–III аналитических групп	220
Лабораторная работа № 8. Анализ смеси катионов методом бумажной хроматографии	227
4. Количественный химический анализ	228
4.1. Гравиметрический метод анализа	228
Лабораторная работа № 9. Определение бария	234
Лабораторная работа № 10. Определение кристаллизационной воды в медном купоросе	236
4.2. Титриметрические методы анализа	237
4.2.1. Кислотно-основное титрование	241
Лабораторная работа № 11. Стандартизация раствора хлороводородной кислоты . . .	241
Лабораторная работа № 12. Определение массы гидроксида натрия	242
Лабораторная работа № 13. Определение временной жесткости воды	243
Лабораторная работа № 14. Определение карбонат-ионов и щелочи при совместном присутствии	244
Лабораторная работа № 15. Определение хлороводородной и борной кислот при совместном присутствии	245
Лабораторная работа № 16. Определение аммиака в солях аммония	246
4.2.2. Окислительно-восстановительное титрование	248
Лабораторная работа № 17. Стандартизация раствора перманганата калия	249
Лабораторная работа № 18. Перманганатометрическое определение железа в соли Мора	250

Лабораторная работа № 19. Бихроматометрическое определение железа в соли Мора	252
Лабораторная работа № 20. Стандартизация раствора тиосульфата натрия	254
Лабораторная работа № 21. Определение меди	255
Лабораторная работа № 22. Определение сульфитов	256
Лабораторная работа № 23. Определение хлороводородной кислоты	257
4.2.3. Комплексометрическое титрование	258
Лабораторная работа № 24. Стандартизация раствора ЭДТА	260
Лабораторная работа № 25. Определение кальция и магния при совместном присутствии	261
Лабораторная работа № 26. Определение общей жесткости воды	262
5. Физико-химические методы анализа	263
Лабораторная работа № 27. Потенциометрическое определение кислот	263
Лабораторная работа № 28. Фотометрическое определение железа в виде роданидных комплексов	267
Лабораторная работа № 29. Определение содержания калия и натрия в растворе методом пламенной фотометрии	270
Приложения	274
Список использованной литературы	329

Мельситова, И. В.

М48 Аналитическая химия : учебное пособие / И. В. Мельситова, Е. Г. Рагойжа. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2024. – 335 с. : ил.
ISBN 978-985-599-801-4.

В пособии рассматриваются основные понятия аналитической химии, теория химического равновесия в гомогенных и гетерогенных системах, примеры решения некоторых типов задач. Включены главы по количественному анализу, в которых изложены основы гравиметрического и титриметрического методов, а также рассматриваются некоторые физико-химические методы анализа. Пособие содержит информацию о химических методах обнаружения и определения неорганических веществ, важнейших качественных реакциях катионов и анионов, а также непосредственное описание хода лабораторных работ по бумажной хроматографии, гравиметрическому, титриметрическому и некоторым физико-химическим методам анализа.

Для студентов учреждений высшего образования по группам специальностей «Биология и биохимия», «Науки об окружающей среде», специальности «Природоведческое образование».

УДК 543(075.8)
ББК 24.4я73

Учебное издание

Мельситова Инна Владимировна
Рагойжа Екатерина Георгиевна

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Учебное пособие

Редактор *Л.Н. Макейчик*
Художественный редактор *С.Д. Чирков*
Компьютерная верстка *Н.В. Шабуня*
Корректор *Л.Н. Макейчик*

Подписано в печать 17.04.2024. Формат 70×90/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 24,57. Уч.-изд. л. 21,0. Тираж 300 экз. Заказ 1468.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство «Адукацыя і выхаванне»».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/19 от 02.08.2013.
Ул. Будённого, 21, 220070, г. Минск.

Открытое акционерное общество «Типография «Победа»».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/38 от 29.01.2014.
Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно.