

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Под редакцией
д-ра хим. наук проф. О. М. Петрухина,
канд. хим. наук доц. Л. Б. Кузнецовой

2-е издание, электронное

Рекомендовано
Государственным образовательным
учреждением высшего профессионального образования
«Казанский государственный технологический университет»
(национальный исследовательский университет) в качестве
учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по химико-технологическим
направлениям подготовки и специальностям



Москва
Лаборатория знаний
2021

УДК 543
ББК 24.5я73
А64

Серия основана в 2009 г.

Авторский коллектив:

Е. Г. Власова, А. Ф. Жуков, И. Ф. Колосова, К. А. Комарова,
В. В. Кузнецов, Л. Б. Кузнецова, Е. А. Кучкарев,
Л. Н. Медведева, С. Л. Рогатинская, Н. Д. Румянцева,
О. Л. Саморукова, Л. Б. Оганесян, М. Б. Огарева,
О. М. Петрухин, А. Р. Тимербаев

Аналитическая химия: химические методы анализа /
А64 Е. Г. Власова [и др.] ; под ред. О. М. Петрухина, Л. Б. Кузнецовой. — 2-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2021. — 467 с. — (Учебник для высшей школы). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-93208-502-8

В настоящем издании для химико-технологических и других вузов, в которых курс аналитической химии является частью общехимической подготовки специалистов, рассмотрены теоретические основы аналитической химии, методы количественного и качественного химического анализа. Отдельная глава посвящена метрологической характеристике методов аналитической химии и результатов анализа. Даны описания практических работ по анализу неорганических и органических объектов. Включены вопросы и задачи для самостоятельной работы студентов с примерами их решения. Таким образом, в одной книге собраны учебник, практикум и задачник.

Для студентов, аспирантов и преподавателей химических факультетов университетов и химико-технологических вузов.

УДК 543

ББК 24.5я73

Деривативное издание на основе печатного аналога: Аналитическая химия: химические методы анализа / Е. Г. Власова [и др.] ; под ред. О. М. Петрухина, Л. Б. Кузнецовой. — М. : Лаборатория знаний, 2017. — 464 с. : ил. — (Учебник для высшей школы). — ISBN 978-5-906828-19-4.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

ISBN 978-5-93208-502-8

© Лаборатория знаний, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	9
Часть I. Общие теоретические основы аналитической химии	13
Глава 1. Введение в аналитическую химию.....	14
1.1. Классификация методов анализа. Основные термины аналитической химии.....	14
1.2. Значение аналитической химии.....	17
1.3. Роль химических методов анализа в подготовке химика-технолога.....	19
Литература	20
Глава 2. Химические равновесия.....	22
2.1. Константы равновесия.....	22
2.2. Протолитические равновесия.....	25
2.2.1. Водные растворы сильных и слабых протолитов	26
2.2.2. Буферные растворы	30
2.2.3. Неводные растворители	34
2.3. Реакции комплексообразования	40
2.3.1. Основные понятия	41
2.3.2. Равновесия в растворах комплексов	43
2.3.3. Устойчивость комплексов	44
2.3.4. Примеры использования комплексов в аналитической химии.....	48
2.4. Окислительно-восстановительные равновесия.....	51
2.5. Гетерогенные равновесия	55
Литература	57
Глава 3. Органические аналитические реагенты	59
3.1. Функционально-аналитические группировки и аналитико-активные группы	59
3.2. Реакции осаждения.....	63
3.3. Реакции образования окрашенных комплексов.....	64
3.4. Другие типы реакций.....	65
3.5. Индикаторы	67
Литература	69

Глава 4. Отбор и подготовка пробы к анализу	71
4.1. Отбор пробы.....	71
4.2. Подготовка пробы.....	73
4.2.1. Разложение пробы	73
4.2.2. Методы разделения и концентрирования	75
Литература	91
Глава 5. Погрешности аналитических определений и их оценка	93
5.1. Виды погрешностей	93
5.2. Оценка случайных отклонений.....	96
5.3. Статистическое распределение погрешностей. Предел обнаружения	99
5.4. Исключение промахов из выборки. Результаты статистической обработки	107
5.5. Сравнение двух выборок. Обнаружение систематических погрешностей	109
5.6. Классификация систематических погрешностей. Коэффициент корреляции	113
5.7. Сложение случайных и систематических погрешностей. Представление результатов анализа	115
5.8. Погрешности некоторых методов анализа	117
5.8.1. Гравиметрический метод	117
5.8.2. Прямой титриметрический метод.....	118
Литература	123
Часть II. Качественный анализ	125
Глава 6. Аналитическая химическая реакция.....	126
6.1. Типы аналитических реакций	127
6.2. Условия проведения аналитических реакций	129
Глава 7. Систематический и дробный качественный анализ.....	131
Глава 8. Техника эксперимента.....	138
Глава 9. Идентификация индивидуальных ионов.	
Анализ смеси катионов	146
9.1. Аналитические реакции катионов	146
9.2. Аналитические реакции анионов	168
9.3. Анализ смеси катионов.....	170
Глава 10. Анализ неизвестного вещества	174
Вопросы и задачи	178
Литература	179
Часть III. Количественный анализ	181
Глава 11. Гравиметрический метод анализа	182
11.1. Теоретические основы метода осаждения	183
11.1.1. Механизм процесса осаждения.....	183

11.1.2. Растворимость осадков	186
11.1.3. Загрязнение осадков	191
11.1.4. Выбор осадителя	193
11.2. Органические аналитические реагенты-осадители	194
11.3. Применение реакций внешнесферного комплексообразования	197
11.4. Получение осаждаемой формы	198
11.5. Фильтрация и промывание осадка	199
11.6. Получение гравиметрической формы	200
11.7. Расчеты в гравиметрическом анализе	202
11.8. Применение гравиметрического метода анализа	203
11.9. Техника эксперимента	205
11.9.1. Оборудование	205
11.9.2. Техника проведения гравиметрического анализа	208
Практические работы	212
Работа 1. Определение сульфатов	212
Работа 2. Определение железа(III)	214
Работа 3. Определение никеля(II)	215
Работа 4. Определение кобальта(II)	216
Работа 5. Определение перхлоратов	217
Работа 6. Определение салициловой кислоты	218
Работа 7. Определение витамина В ₁	218
Вопросы и задачи	219
Литература	221
Глава 12. Титриметрические методы анализа	223
12.1. Принципы титриметрических методов анализа	223
12.2. Теоретические кривые титрования	225
12.3. Установление точки эквивалентности	228
12.4. Погрешности в титриметрических методах анализа	228
12.5. Расчеты в титриметрическом методе анализа	230
12.6. Способы титрования	233
12.6.1. Прямое титрование	233
12.6.2. Обратное титрование	233
12.6.3. Титрование заместителя	234
12.7. Первичные и вторичные стандартные растворы	235
12.8. Техника эксперимента	236
12.8.1. Измерение объемов растворов, мерная посуда	236
12.8.2. Приготовление стандартных растворов	242
12.8.3. Установка титра растворов титрантов	245
12.8.4. Общие указания по выполнению титриметрических определений	247
Литература	248
Глава 13. Методы кислотно-основного титрования	249
13.1. Теоретические основы методов	249
13.1.1. Теории кислот и оснований	249
13.1.2. Протонная теория Брёнстеда–Лоури	251

13.1.3. Кислотно-основное взаимодействие и количественная оценка кислотности и основности	254
13.2. Кислотно-основное титрование	255
13.2.1. Кривые титрования сильных одноосновных протолитов.....	257
13.2.2. Кривые титрования слабых одноосновных протолитов.....	261
13.2.3. Кривые титрования смесей кислот (оснований)	265
13.2.4. Кривые титрования многоосновных кислот и многокислотных оснований	269
13.2.5. Влияние различных факторов на кривые титрования	273
13.2.6. Определение точки эквивалентности. Кислотно-основные индикаторы	275
13.3. Стандартные растворы.....	283
13.3.1. Приготовление 0,1М-го раствора кислоты.....	284
13.3.2. Приготовление 0,1М-го раствора щелочи	287
13.4. Вещества, определяемые методом кислотно-основного титрования	288
Практические работы.....	291
Работа 1. Определение Na_2CO_3	291
Работа 2. Анализ смесей $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ и $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$	293
Работа 3. Определение солей аммония.....	294
Работа 4. Определение азота в органических соединениях по Кьельдалю.....	297
Работа 5. Определение некоторых оксидов и карбонатов.....	297
Работа 6. Определение солей щелочноземельных металлов	298
Работа 7. Определение кислот	299
Работа 8. Определение солей с использованием ионного обмена.....	302
Работа 9. Определение спиртов	303
Работа 10. Определение фенолов в неводных растворах.....	304
Работа 11. Определение кислотного числа и числа омыления в полимерах.....	305
Вопросы и задачи	306
Литература	314

Глава 14. Методы окислительно-восстановительного титрования	316
14.1. Теоретические основы методов	316
14.1.1. Окислительно-восстановительные системы.....	316
14.1.2. Уравнение Нернста.....	320
14.1.3. Факторы, влияющие на потенциал.....	321
14.1.4. Термодинамика окислительно-восстановительных реакций.....	327
14.1.5. Окислительно-восстановительные равновесия и способы их смещения.....	328
14.1.6. Расчет констант равновесий окислительно-восстановительных реакций при стандартных условиях.....	329

14.1.7. Механизмы окислительно-восстановительных реакций.....	331
14.1.8. Кинетика окислительно-восстановительных реакций	333
14.1.9. Окислительно-восстановительные реакции в неводных средах	337
14.2. Кривые титрования.....	339
14.2.1. Расчет теоретических кривых	339
14.2.2. Влияние условий титрования на ход кривых	342
14.2.3. Титрование многокомпонентных систем.....	344
14.2.4. Определение точки эквивалентности.....	346
14.2.5. Окислительно-восстановительные индикаторы	346
14.2.6. Классификация методов окислительно-восстановительного титрования	350
14.3. Перманганатометрия.....	354
14.3.1. Особенности и возможности метода.....	355
14.3.2. Приготовление и стандартизация раствора перманганата калия (вторичного стандарта)	360
Практические работы	362
Работа 1. Определение железа(II).....	362
Работа 2. Определение железа(III)	363
Работа 3. Анализ растворов, содержащих железо(II) и железо(III)	364
Работа 4. Определение кальция	364
Работа 5. Определение дихромата калия.....	366
Работа 6. Определение пероксида водорода	367
Работа 7. Определение нитритов.....	367
Работа 8. Определение муравьиной кислоты в присутствии уксусной кислоты	368
14.4. Иодометрия.....	369
14.4.1. Особенности и возможности метода.....	369
14.4.2. Приготовление и стандартизация раствора тиосульфата натрия (вторичный стандарт)	374
Практические работы	376
Работа 1. Определение меди(II).....	376
Работа 2. Определение сильных кислот	376
Работа 3. Определение сульфитов.....	377
Работа 4. Определение формальдегида.....	378
14.5. Иодиметрия.....	379
14.5.1. Особенности и возможности метода.....	379
14.5.2. Приготовление и стандартизация раствора иода (вторичный стандарт)	381
Практические работы	382
Работа 1. Определение аскорбиновой кислоты	382
Работа 2. Определение β-нафтола	383
Вопросы и задачи	384
Литература	389

Глава 15. Методы комплексонометрического титрования.....	390
15.1. Реакции комплексообразования в титриметрическом анализе.....	390
15.2. Скорость и механизм реакций комплексообразования.....	393
15.3. Комплексоны класса аминополикарбоновых кислот.....	396
15.3.1. Протолитические свойства ЭДТА.....	400
15.3.2. Хелатообразование ЭДТА с ионами металлов.....	401
15.3.3. Равновесия реакций комплексообразования.....	404
15.3.4. Условные константы устойчивости.....	408
15.3.5. Выбор условий титрования.....	411
15.4. Кривые комплексонометрического титрования.....	416
15.4.1. Скачок на кривой титрования.....	418
15.4.2. Определение точки эквивалентности.....	419
15.5. Комплексонометрические индикаторы (металлоиндикаторы).....	419
15.5.1. Типы металлоиндикаторов.....	421
15.5.2. Условия применения металлоиндикаторов.....	424
15.6. Приемы улучшения избирательности титрования.....	426
15.6.1. Влияние кислотности среды.....	427
15.6.2. Использование маскирующих реагентов.....	427
15.7. Прямые и косвенные способы комплексонометрического титрования.....	430
15.8. Определение анионов.....	431
Практические работы.....	433
Работа 1. Приготовление и стандартизация раствора ЭДТА.....	433
Работа 2. Определение кальция.....	435
Работа 3. Определение магния.....	436
Работа 4. Определение железа(III).....	437
Работа 5. Определение алюминия.....	438
Работа 6. Определение марганца(II).....	440
Работа 7. Определение меди(II).....	441
Работа 8. Определение свинца(II).....	443
Работа 9. Определение никеля(II).....	444
Работа 10. Определение жесткости воды.....	445
Вопросы и задачи.....	446
Литература.....	448
Приложения.....	449
Приложение 1. Произведения растворимости некоторых малорастворимых веществ.....	449
Приложение 2. Константы ионизации некоторых кислот и оснований.....	450
Приложение 3. Стандарные окислительно-восстановительные потенциалы.....	458
Приложение 4. Логарифмы ступенчатых (K_n) и общих констант устойчивости (β_n) некоторых комплексов ионов металлов с различными лигандами.....	460