

УДК 543
ББК 24.4я73
Х46

Серия основана в 2009 г.

Авторский коллектив:

А. Ф. Жуков, В. В. Кузнецов, О. Л. Саморукова, А. Р. Тимербаев

Химические методы анализа : учебное пособие для химико-технологических вузов / А. Ф. Жуков [и др.] ; под ред. О. М. Петрухина, Л. Б. Кузнецовой. — Электрон. изд. — М. : Лаборатория знаний, 2023. — 481 с. — (Учебник для высшей школы). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-93208-601-8

В настоящем издании для химико-технологических и других вузов, в которых курс аналитической химии является частью общехимической подготовки специалистов, рассмотрены химические методы анализа. Приведена классификация методов количественного и качественного химического анализа: химических и инструментальных. 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, а также химиков-аналитиков и всех, кто связан с аналитической химией и химическим анализом.

УДК 543
ББК 24.4я73

Деривативное издание на основе печатного аналога: Химические методы анализа : учебное пособие для химико-технологических вузов / А. Ф. Жуков [и др.] ; под ред. О. М. Петрухина, Л. Б. Кузнецовой. — М. : Лаборатория знаний, 2023. — 478 с. : ил. — (Учебник для высшей школы).

ISBN 978-5-93208-320-8

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 978-5-93208-601-8

© Лаборатория знаний, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	9
Часть I. Общие теоретические основы аналитической химии	13
Глава 1. Введение в аналитическую химию.....	14
1.1. Классификация методов анализа	14
1.1.1. Химические методы анализа.....	15
1.1.2. Инструментальные методы анализа	18
1.2. Значение аналитической химии	31
1.3. Роль химических методов анализа в подготовке химика-технолога.....	33
Литература	34
Глава 2. Химические равновесия.....	36
2.1. Константы равновесия	36
2.2. Протолитические равновесия.....	39
2.2.1. Водные растворы сильных и слабых протолитов	40
2.2.2. Буферные растворы	44
2.2.3. Неводные растворители	48
2.3. Реакции комплексообразования	54
2.3.1. Основные понятия	55
2.3.2. Равновесия в растворах комплексов	57
2.3.3. Устойчивость комплексов	58
2.3.4. Примеры использования комплексов в аналитической химии.....	62
2.4. Окислительно-восстановительные равновесия.....	65
2.5. Гетерогенные равновесия	69
Литература	71
Глава 3. Органические аналитические реагенты	73
3.1. Функционально-аналитические группировки и аналитико-активные группы	73
3.2. Реакции осаждения.....	77
3.3. Реакции образования окрашенных комплексов.....	78
3.4. Другие типы реакций.....	79
3.5. Индикаторы	81
Литература	83

Глава 4. Отбор и подготовка пробы к анализу	85
4.1. Отбор пробы.....	85
4.2. Подготовка пробы.....	87
4.2.1. Разложение пробы	87
4.2.2. Методы разделения и концентрирования	89
Литература	105
Глава 5. Погрешности аналитических определений и их оценка	107
5.1. Виды погрешностей	107
5.2. Оценка случайных отклонений.....	110
5.3. Статистическое распределение погрешностей. Предел обнаружения	113
5.4. Исключение промахов из выборки. Результаты статистической обработки	121
5.5. Сравнение двух выборок. Обнаружение систематических погрешностей	123
5.6. Классификация систематических погрешностей. Коэффициент корреляции.....	127
5.7. Сложение случайных и систематических погрешностей. Представление результатов анализа	129
5.8. Погрешности некоторых методов анализа	131
5.8.1. Гравиметрический метод	131
5.8.2. Прямой титриметрический метод.....	132
Литература	137
Часть II. Качественный анализ	139
Глава 6. Аналитическая химическая реакция.....	140
6.1. Типы аналитических реакций	141
6.2. Условия проведения аналитических реакций	143
Глава 7. Систематический и дробный качественный анализ.....	145
Глава 8. Техника эксперимента.....	152
Глава 9. Идентификация индивидуальных ионов. Анализ смеси катионов	160
9.1. Аналитические реакции катионов	160
9.2. Аналитические реакции анионов	182
9.3. Анализ смеси катионов.....	184
Глава 10. Анализ неизвестного вещества	188
Вопросы и задачи	192
Литература	193
Часть III. Количественный анализ	195
Глава 11. Гравиметрический метод анализа	196
11.1. Теоретические основы метода осаждения	197
11.1.1. Механизм процесса осаждения.....	197

11.1.2. Растворимость осадков	200
11.1.3. Загрязнение осадков	205
11.1.4. Выбор осадителя	207
11.2. Органические аналитические реагенты-осадители	208
11.3. Применение реакций внешнесферного комплексообразования	211
11.4. Получение осаждаемой формы	212
11.5. Фильтрование и промывание осадка	213
11.6. Получение гравиметрической формы	214
11.7. Расчеты в гравиметрическом анализе	216
11.8. Применение гравиметрического метода анализа	217
11.9. Техника эксперимента	219
11.9.1. Оборудование	219
11.9.2. Техника проведения гравиметрического анализа	222
Практические работы	226
Работа 1. Определение сульфатов	226
Работа 2. Определение железа(III)	228
Работа 3. Определение никеля(II)	229
Работа 4. Определение кобальта(II)	230
Работа 5. Определение перхлоратов	231
Работа 6. Определение салициловой кислоты	232
Работа 7. Определение витамина В ₁	232
Вопросы и задачи	233
Литература	235
Глава 12. Титриметрические методы анализа	237
12.1. Принципы титриметрических методов анализа	237
12.2. Теоретические кривые титрования	239
12.3. Установление точки эквивалентности	242
12.4. Погрешности в титриметрических методах анализа	242
12.5. Расчеты в титриметрическом методе анализа	244
12.6. Способы титрования	247
12.6.1. Прямое титрование	247
12.6.2. Обратное титрование	247
12.6.3. Титрование заместителя	248
12.7. Первичные и вторичные стандартные растворы	249
12.8. Техника эксперимента	250
12.8.1. Измерение объемов растворов, мерная посуда	250
12.8.2. Приготовление стандартных растворов	256
12.8.3. Установка титра растворов титрантов	259
12.8.4. Общие указания по выполнению титриметрических определений	261
Литература	262
Глава 13. Методы кислотно-основного титрования	263
13.1. Теоретические основы методов	263
13.1.1. Теории кислот и оснований	263
13.1.2. Протонная теория Брёнстеда–Лоури	265

13.1.3. Кислотно-основное взаимодействие и количественная оценка кислотности и основности	268
13.2. Кислотно-основное титрование	269
13.2.1. Кривые титрования сильных одноосновных протолитов.....	271
13.2.2. Кривые титрования слабых одноосновных протолитов.....	275
13.2.3. Кривые титрования смесей кислот (оснований)	279
13.2.4. Кривые титрования многоосновных кислот и многокислотных оснований.....	283
13.2.5. Влияние различных факторов на кривые титрования	287
13.2.6. Определение точки эквивалентности. Кислотно-основные индикаторы	289
13.3. Стандартные растворы.....	297
13.3.1. Приготовление 0,1М-го раствора кислоты.....	298
13.3.2. Приготовление 0,1М-го раствора щелочи	301
13.4. Вещества, определяемые методом кислотно-основного титрования	302
Практические работы	305
Работа 1. Определение Na_2CO_3	305
Работа 2. Анализ смесей $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ и $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$	307
Работа 3. Определение солей аммония.....	308
Работа 4. Определение азота в органических соединениях по Кьельдалю.....	311
Работа 5. Определение некоторых оксидов и карбонатов.....	311
Работа 6. Определение солей щелочноземельных металлов	312
Работа 7. Определение кислот	313
Работа 8. Определение солей с использованием ионного обмена.....	316
Работа 9. Определение спиртов	317
Работа 10. Определение фенолов в неводных растворах.....	318
Работа 11. Определение кислотного числа и числа омыления в полимерах.....	319
Вопросы и задачи	320
Литература	328
Глава 14. Методы окислительно-восстановительного титрования	330
14.1. Теоретические основы методов	330
14.1.1. Окислительно-восстановительные системы.....	330
14.1.2. Уравнение Нернста.....	334
14.1.3. Факторы, влияющие на потенциал.....	335
14.1.4. Термодинамика окислительно-восстановительных реакций.....	341
14.1.5. Окислительно-восстановительные равновесия и способы их смещения.....	342
14.1.6. Расчет констант равновесий окислительно-восстановительных реакций при стандартных условиях.....	343

14.1.7. Механизмы окислительно-восстановительных реакций.....	345
14.1.8. Кинетика окислительно-восстановительных реакций	347
14.1.9. Окислительно-восстановительные реакции в неводных средах	351
14.2. Кривые титрования.....	353
14.2.1. Расчет теоретических кривых	353
14.2.2. Влияние условий титрования на ход кривых	356
14.2.3. Титрование многокомпонентных систем	358
14.2.4. Определение точки эквивалентности.....	360
14.2.5. Окислительно-восстановительные индикаторы	360
14.2.6. Классификация методов окислительно-восстановительного титрования	364
14.3. Перманганатометрия.....	368
14.3.1. Особенности и возможности метода.....	369
14.3.2. Приготовление и стандартизация раствора перманганата калия (вторичного стандарта)	374
Практические работы	376
Работа 1. Определение железа(II).....	376
Работа 2. Определение железа(III)	377
Работа 3. Анализ растворов, содержащих железо(II) и железо(III)	378
Работа 4. Определение кальция	378
Работа 5. Определение дихромата калия.....	380
Работа 6. Определение пероксида водорода	381
Работа 7. Определение нитритов.....	381
Работа 8. Определение муравьиной кислоты в присутствии уксусной кислоты	382
14.4. Иодометрия.....	383
14.4.1. Особенности и возможности метода.....	383
14.4.2. Приготовление и стандартизация раствора тиосульфата натрия (вторичный стандарт)	388
Практические работы	390
Работа 1. Определение меди(II).....	390
Работа 2. Определение сильных кислот	390
Работа 3. Определение сульфитов.....	391
Работа 4. Определение формальдегида.....	392
14.5. Иодиметрия.....	393
14.5.1. Особенности и возможности метода.....	393
14.5.2. Приготовление и стандартизация раствора иода (вторичный стандарт)	395
Практические работы	396
Работа 1. Определение аскорбиновой кислоты	396
Работа 2. Определение β -нафтола	397
Вопросы и задачи	398
Литература	403

Глава 15. Методы комплексонометрического титрования.....	404
15.1. Реакции комплексообразования в титриметрическом анализе.....	404
15.2. Скорость и механизм реакций комплексообразования.....	407
15.3. Комплексоны класса аминополикарбоновых кислот.....	410
15.3.1. Протолитические свойства ЭДТА.....	414
15.3.2. Хелатообразование ЭДТА с ионами металлов.....	415
15.3.3. Равновесия реакций комплексообразования.....	418
15.3.4. Условные константы устойчивости.....	422
15.3.5. Выбор условий титрования.....	425
15.4. Кривые комплексонометрического титрования.....	430
15.4.1. Скачок на кривой титрования.....	432
15.4.2. Определение точки эквивалентности.....	433
15.5. Комплексонометрические индикаторы (металлоиндикаторы).....	433
15.5.1. Типы металлоиндикаторов.....	435
15.5.2. Условия применения металлоиндикаторов.....	438
15.6. Приемы улучшения избирательности титрования.....	440
15.6.1. Влияние кислотности среды.....	441
15.6.2. Использование маскирующих реагентов.....	441
15.7. Прямые и косвенные способы комплексонометрического титрования.....	444
15.8. Определение анионов.....	445
Практические работы.....	447
Работа 1. Приготовление и стандартизация раствора ЭДТА.....	447
Работа 2. Определение кальция.....	449
Работа 3. Определение магния.....	450
Работа 4. Определение железа(III).....	451
Работа 5. Определение алюминия.....	452
Работа 6. Определение марганца(II).....	454
Работа 7. Определение меди(II).....	455
Работа 8. Определение свинца(II).....	457
Работа 9. Определение никеля(II).....	458
Работа 10. Определение жесткости воды.....	459
Вопросы и задачи.....	460
Литература.....	462
Приложения.....	463
Приложение 1. Произведения растворимости некоторых малорастворимых веществ.....	463
Приложение 2. Константы ионизации некоторых кислот и оснований.....	464
Приложение 3. Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы.....	472
Приложение 4. Логарифмы ступенчатых (K_n) и общих констант устойчивости (β_n) некоторых комплексов ионов металлов с различными лигандами.....	474