

УДК 543/545

ББК 20.1

Я 798

**Рецензент:** Г.З. Казиев, доктор химических наук, профессор

**Я 798 Н. Г. Ярышев, Ю. Н. Медведев, М. И. Токарев, А. В. Бурихина, Н. Н. Камкин. Физические методы исследования и их практическое применение в химическом анализе. Издание второе, переработанное и дополненное: Учебное пособие. — М.: Прометей, 2015 — 196 с.**

Учебное пособие предназначено для использования при изучении дисциплин: «Физические методы исследования», «Стандартизация и сертификация пищевых продуктов», «Химия окружающей среды», «Гигиена и токсикология» и т.д. В пособии приведена основная информация о физико-химических методах анализа, их современном аппаратном оформлении. В пособии расширен раздел, посвященный масс-спектрометрии как одного из наиболее интенсивно развивающегося физического метода анализа, добавлены главы, посвященные ЯМР-спектроскопии, биографии ученых, внесших весомый вклад в развитие физических методов анализа, примеры заданий для самостоятельной работы обучающихся, ссылки на современную специализированную литературу.

*Пособие предназначено для студентов, бакалавров, магистров, аспирантов и может быть рекомендовано в качестве дополнительной литературы в курсах аналитической химии и смежных дисциплин.*

В авторской редакции.

ISBN 978-5-9906134-6-1

© Коллектив авторов, 2015

© Издательство «Прометей», 2015

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>7</b>
<b>Глава 1. Хроматография</b> .....	<b>9</b>
1.1. Классификация хроматографических методов .....	11
1.2. Газовая хроматография .....	21
1.2.1. Принципиальная схема и узлы газового хроматографа .....	22
1.2.2. Техника и аппаратура, используемые в газовой хроматографии .....	26
1.3. Жидкостная хроматография .....	28
1.3.1. Тонкослойная хроматография .....	28
1.3.2. Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) и ультра высокоэффективная жидкостная хроматография (УВЭЖХ) .....	30
<b>Глава 2. Масс-спектрометрия</b> .....	<b>37</b>
2.1. Устройство масс-спектрометра .....	39
2.1.1. Способы ионизации .....	40
2.1.2. Масс-анализаторы .....	46
2.1.3. Детекторы .....	57
2.1.4. Система ввода пробы .....	57
2.2. Характеристики масс-спектрометров .....	59
2.2.1. Скорость сканирования .....	59
2.2.2. Разрешение .....	60
2.2.3. Динамический диапазон .....	62
2.2.4. Чувствительность .....	62
2.3. Аналитический эксперимент .....	65
2.3.1. Качественный анализ .....	65
2.3.2. Количественный анализ .....	69

<b>Глава 3. Оптическая спектроскопия</b>	<b>75</b>
3.1. Виды электромагнитного излучения	76
3.1.1. Радиоволны	76
3.1.2. Микроволновое излучение	77
3.1.3. Инфракрасное излучение	78
3.1.4. Видимая область	78
3.1.5. Ультрафиолетовое излучение	79
3.1.6. Рентгеновское излучение	79
3.1.7. Гамма-излучение	80
3.2. Основные закономерности поглощения электромагнитного излучения в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра	80
3.2.1. Аппаратура метода	82
3.2.2. Закон Бугера-Ламберта-Бера	85
3.3. Спектрфотометрия в ультрафиолетовой и видимой областях спектра	87
3.3.1. Качественный анализ с помощью спектров в УФ- и видимом диапазоне	88
3.3.2. Влияние растворителя	91
3.3.3. Количественный анализ с помощью абсорбционной спектроскопии в УФ и видимой области спектра	93
3.4. Спектрофотометрия в инфракрасной области	95
<b>Глава 4. Атомно-абсорбционная спектрометрия</b>	<b>102</b>
4.1. Основы метода ААС	103
4.2. Устройство прибора ААС	103
4.2.1. Источники первичного излучения	106
4.2.2. Источники свободных атомов	107
<b>Глава 5. Методы термического анализа</b>	<b>113</b>
5.1. Классификация методов термического анализа	114
5.2. Термогравиметрический анализ	115
5.2.1. Устройство термогравиметрических анализаторов	116
5.2.2. Факторы, влияющие на характер ТГ-кривых	121
5.3. Методы дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) и дифференциального термического анализа (ДТА)	123
5.4. Комбинация метода дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и дифференциального термического анализа (ДТА)	125

5.5. Комбинация метода дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГА) . . . . .	126
<b>Глава 6. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса . .</b>	<b>129</b>
6.1. Основы метода . . . . .	129
6.1.1. Магнитные ядра . . . . .	131
6.1.2. Магнитные взаимодействия в веществе . . . . .	132
6.2. Устройство ЯМР-спектрометра . . . . .	133
6.2.1. Магниты для ЯМР-спектрометров. . . . .	134
6.2.2. ЯМР-спектрометры с Фурье преобразованием . .	136
6.2.3. Чувствительность ЯМР-спектрометра . . . . .	136
6.2.4. Томография . . . . .	137
6.3. Интерпретация ЯМР-спектров . . . . .	138
6.3.1. Химический сдвиг. . . . .	139
6.3.2. Спин-спиновое взаимодействие. . . . .	139
6.3.3. Пример интерпретации спектра . . . . .	143
<b>Глава 7. Комбинированные методы и автоматизация анализа . . . . .</b>	<b>145</b>
7.1. Хромато-масс-спектрометрия. . . . .	146
7.1.1. Газовая хроматография – масс-спектрометрия . .	147
7.1.2. Жидкостная хроматография – масс-спектрометрия . . . . .	148
7.2. Совместное использование метода термического анализа и масс-спектрометрии . . . . .	149
7.3. Поиск в библиотеках спектров . . . . .	152
<b>Приложение 1. Задачи для самостоятельного решения . .</b>	<b>154</b>
<b>Приложение 2. Краткие биографии ученых. . . . .</b>	<b>167</b>
<b>Приложение 3. Справочные данные . . . . .</b>	<b>179</b>
<b>Рекомендуемая литература . . . . .</b>	<b>194</b>