

13-6010  
8изд. Т. 2

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

В. Ф. Травень

# ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

II

21-03831



Лаборатория  
ЗНАНИЙ

**УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ**

**В. Ф. Травень**

# **ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

**в трех томах**

**II**

**8-е издание**

**Допущено  
Учебно-методическим объединением  
по классическому образованию в качестве учебного  
пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности 020201 –  
фундаментальная и прикладная химия**



**Москва  
Лаборатория знаний**

УДК 547(075.8)  
ББК 24.2я73  
Т65

*Серия основана в 2009 г.*

**Травень В. Ф.**

**Т65** Органическая химия : учебное пособие для вузов : в 3 т. Т. II / В. Ф. Травень. — 8-е изд. — М. : Лаборатория знаний, 2021. — 517 с. : ил. — (Учебник для высшей школы).

ISBN 978-5-00101-316-7 (Т. II)

ISBN 978-5-00101-314-3

Первое издание учебника «Органическая химия», изданного в 2004 году, получило заслуженное признание среди студентов и преподавателей. Вместе с тем переход на двухуровневую систему высшего образования предъявляет новые требования к содержанию учебников, что явилось причиной существенной переработки книги. В настоящем переработанном издании учебный материал систематизирован с учетом степени глубины изучения предмета: для начального освоения дисциплины в основных разделах излагаются фундаментальные сведения, а специализирующимся в области органической химии и продолжающим обучение после получения степени бакалавра адресованы разделы «Для углубленного изучения». Издание учебника подготовлено в комплекте с задачником (В. Ф. Травень, А. Ю. Сухоруков, Н. А. Пожарская «Задачи по органической химии») и практикумом (В. Ф. Травень, А. Е. Щекотихин «Практикум по органической химии»). Данный набор учебных изданий обеспечивает двухуровневое изложение учебного материала и не имеет аналогов.

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

УДК 547(075.8)  
ББК 24.2я73

---

*Учебное издание*

Серия: «Учебник для высшей школы»

**Травень Валерий Федорович**

**ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

**Учебное пособие для вузов**

**В трех томах**

**Том II**

Ведущий редактор канд. хим. наук *Д. К. Новикова*  
Технический редактор *Е. В. Денюкова*. Корректор *Е. Н. Клитина*  
Компьютерная верстка: *Т. Э. Внукова*

Подписано в печать 01.10.20. Формат 70×100/16.  
Усл. печ. л. 42,25. Заказ 8038.

Издательство «Лаборатория знаний»  
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3  
Телефон: (499) 157-5272  
e-mail: info@pilotLZ.ru, http://www.pilotLZ.ru

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография»  
Филиал «Чеховский Печатный Двор»  
142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1  
Сайт: www.chpd.ru, E-mail: sales@chpd.ru, тел. 8(499)270-73-59

---

ISBN 978-5-00101-316-7 (Т. II)  
ISBN 978-5-00101-314-3

© Лаборатория знаний, 2021

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## ТОМ I

### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

<i>Глава 1. ПРИРОДА КОВАЛЕНТНОЙ СВЯЗИ. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЭФФЕКТЫ. КИСЛОТЫ И ОСНОВАНИЯ</i>	
<i>Глава 2. АЛКАНЫ</i>	
<i>Глава 3. СТЕРЕОИЗОМЕРИЯ</i>	
<i>Глава 4. ЦИКЛОАЛКАНЫ</i>	
<i>Глава 5. АЛКЕНЫ</i>	
<i>Глава 6. АЛКИНЫ</i>	
<i>Глава 7. ДИЕНЫ</i>	

## ТОМ II

<b>Сокращения и обозначения</b> .....	11
<i>Глава 8. АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ. КРИТЕРИИ АРОМАТИЧНОСТИ</i> .....	13
8.1. Бензол .....	13
8.1.1. Структурная формула .....	13
8.1.2. Энергия сопряжения .....	16
8.1.3. Электронное строение .....	18
8.2. Ароматичность аннуленов и их ионов .....	20
8.2.1. Аннулены .....	20
8.2.2. ЯМР-критерии ароматичности .....	23
8.2.3. Ароматические ионы .....	23
8.2.4. Квантово-химическое определение ароматичности .....	27
8.2.5. Графический метод определения ароматичности .....	30

8.3. Конденсированные бензоидные углеводороды .....	31
8.4. Небензоидные ароматические соединения .....	33
8.5. Гетероциклические ароматические соединения .....	35
<i>Для углубленного изучения</i> .....	37
Структурные изомеры бензола .....	37
Металла- и элементарбензолы .....	40
<i>Дополнения</i> .....	42
Фуллерены и нанотрубки .....	42
<b>Глава 9. ЭЛЕКТРОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В АРОМАТИЧЕСКОМ РЯДУ</b> .....	46
9.1. Механизм реакций .....	48
9.2. Наиболее важные реакции .....	51
9.2.1. Галогенирование бензола .....	51
9.2.2. Сульфирование бензола .....	54
9.2.3. Нитрование бензола .....	56
9.2.4. Алкилирование по Фриделю—Крафтсу .....	59
9.2.5. Ацилирование по Фриделю—Крафтсу .....	64
9.3. Правила ориентации .....	68
9.3.1. <i>орто</i> -, <i>пара</i> -Ориентанты (заместители первого рода) .....	71
9.3.2. <i>мета</i> -Ориентанты (заместители второго рода) .....	74
9.4. Правила ориентации и реакционная способность замещенных бензолов с позиции теории молекулярных орбиталей .....	77
9.5. Факторы парциальных скоростей .....	80
9.6. Электрофильное замещение в полизамещенных бензолах. Согласованная и несогласованная ориентация .....	81
<i>Для углубленного изучения</i> .....	86
Реакции аренов с другими электрофилами .....	86
Реакции <i>ипсо</i> -замещения .....	91
<i>Дополнения</i> .....	94
Метаболизм. Фармакологические свойства и токсичность органических соединений .....	94
<b>Глава 10. АЛКИЛ- И АЛКЕНИЛБЕНЗОЛЫ</b> .....	97
10.1. Номенклатура производных бензола .....	97
10.2. Алкилбензолы .....	99
10.2.1. Способы получения .....	99
10.2.2. Физические свойства .....	102
10.2.3. Реакции .....	102
10.3. Алкенилбензолы .....	110
10.3.1. Способы получения стирола и его производных .....	110
10.3.2. Реакции .....	111

<i>Для углубленного изучения</i> .....	113
Восстановление бензола и его производных по Берчу .....	113
Гидрогенолиз бензильных производных .....	113
Бензильная защита функциональных групп .....	115
<i>Дополнения</i> .....	117
Лекарства – производные бензола. Антагонисты и агонисты .....	117
<b>Глава 11. ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ</b> .....	121
11.1. Полициклические арены с изолированными кольцами .....	121
11.1.1. Способы получения производных бифенила .....	122
11.1.2. Строение производных бифенила .....	123
11.1.3. Реакции производных бифенила .....	123
11.1.4. Флуорен .....	124
11.2. Конденсированные бензоидные углеводороды .....	125
11.2.1. Способы получения .....	126
11.2.2. Реакции .....	129
<i>Для углубленного изучения</i> .....	137
Правило Хюккеля и ароматичность конденсированных бензоидных углеводородов .....	137
Ориентация реакций электрофильного замещения в полициклических ароматических углеводородах .....	139
<i>Дополнения</i> .....	140
Мутагенные вещества. Почему опасно курить .....	140
<b>Глава 12. ВВЕДЕНИЕ В ОРГАНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ. СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ</b> .....	144
12.1. Ретросинтетический анализ .....	144
12.2. Спектральные методы идентификации органических соединений .....	148
12.3. Электронная спектроскопия поглощения .....	149
12.3.1. Типы электронных переходов и области поглощения органических соединений в спектрах ЭСП .....	150
12.3.2. Применение метода ЭСП для целей идентификации .....	156
12.4. Инфракрасная спектроскопия .....	159
12.4.1. Характеристические частоты поглощения органических соединений в ИК-области .....	166
12.4.2. Применение метода ИК-спектроскопии для целей идентификации .....	166
12.5. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса .....	173
12.5.1. Спектроскопия протонного магнитного резонанса .....	175

12.5.2. Применение метода ПМР-спектроскопии для целей идентификации .....	187
12.5.3. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса на ядрах $^{13}\text{C}$ .....	191
12.6. Масс-спектрометрия .....	195
12.6.1. Определение молекулярной массы и молекулярной формулы .....	197
12.6.2. Основные типы фрагментации органических соединений .....	201
12.6.3. Применение метода масс-спектрометрии для целей идентификации .....	203
<i>Дополнения</i> .....	208
Молекулярная электроника .....	208
<b>Глава 13. ГАЛОГЕНПРОИЗВОДНЫЕ АЛКАНОВ</b> .....	211
13.1. Классификация и номенклатура .....	211
13.2. Способы получения .....	211
13.3. Физические свойства и строение .....	213
13.3.1. Физические свойства .....	213
13.3.2. Электронное строение .....	214
13.4. Реакции .....	215
13.4.1. Бимолекулярное нуклеофильное замещение .....	217
13.4.2. Мономолекулярное нуклеофильное замещение .....	229
13.4.3. Элиминирование .....	235
13.5. Спектральный анализ галогенпроизводных .....	248
<i>Для углубленного изучения</i> .....	250
Амбидентные нуклеофилы .....	250
Участие соседних групп. Сохранение конфигурации в реакциях $S_N$ .....	252
<i>Дополнения</i> .....	256
Иммунная система живого организма.	
Антигены и антитела .....	256
<b>Глава 14. ГАЛОГЕНАЛКЕНЫ И ГАЛОГЕНАРЕНЫ</b> .....	259
14.1. Классификация и номенклатура .....	259
14.2. Способы получения .....	260
14.3. Физические свойства и строение .....	262
14.3.1. Физические свойства .....	262
14.3.2. Электронное строение .....	263
14.4. Реакции .....	265
14.4.1. Реакции винилгалогенидов .....	265
14.4.2. Нуклеофильное замещение галогена в галогенаренах .....	265

<i>Для углубленного изучения</i> .....	275
Реакции замещения галогена, катализируемые соединениями меди .....	275
<i>Дополнения</i> .....	278
Галогенуглеводороды в окружающей среде .....	278
<b>Глава 15. ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ</b> .....	282
15.1. Металлоорганические соединения .....	283
15.1.1. Номенклатура .....	283
15.1.2. Способы получения .....	284
15.1.3. Физические свойства и строение .....	289
15.1.4. Реакции .....	292
15.2. Комплексы переходных металлов .....	303
15.2.1. Строение .....	303
15.2.2. Реакции .....	307
15.3. Борорганические соединения. Бораны .....	310
15.3.1. Номенклатура .....	310
15.3.2. Способы получения .....	311
15.3.3. Физические свойства и строение .....	312
15.3.4. Реакции .....	314
15.4. Кремнийорганические соединения .....	315
15.4.1. Силаны .....	316
15.4.2. Силоксаны .....	317
15.5. Фосфорорганические соединения .....	317
15.5.1. Фосфины .....	318
15.5.2. Фосфораны .....	319
<i>Для углубленного изучения</i> .....	320
Реакции кросс-сочетания, катализируемые соединениями переходных металлов .....	320
<i>Дополнения</i> .....	324
Фемтосекундная спектроскопия. Механизмы реакций в реальном времени .....	324
<b>Глава 16. СПИРТЫ</b> .....	327
16.1. Классификация и номенклатура .....	327
16.2. Способы получения .....	329
16.3. Физические свойства и строение .....	331
16.3.1. Физические свойства .....	331
16.3.2. Пространственное и электронное строение .....	333

16.4. Реакции .....	334
16.4.1. Кислотность и основность .....	334
16.4.2. Спирты и алкоксид-ионы как нуклеофильные реагенты .....	336
16.4.3. Нуклеофильное замещение гидроксигруппы .....	340
16.4.4. Окисление .....	356
16.4.5. Замещение гидроксигруппы на водород .....	362
16.5. Многоатомные спирты .....	363
16.6. Спектральный анализ спиртов .....	363
<i>Для углубленного изучения</i> .....	368
Кислотность алифатических спиртов в различных фазах .....	368
Превращения спиртов в «суперкислотах» .....	369
Механизм окисления спиртов осединениями хрома .....	369
Защита гидроксильной группы в спиртах .....	371
<i>Дополнения</i> .....	373
Роль этанола в организме человека .....	373
<b>Глава 17. ФЕНОЛЫ</b> .....	375
17.1. Классификация и номенклатура .....	375
17.2. Способы получения .....	376
17.3. Физические свойства и строение .....	379
17.3.1. Физические свойства .....	379
17.3.2. Пространственное и электронное строение .....	380
17.4. Реакции .....	381
17.4.1. Кислотность .....	381
17.4.2. Нуклеофильные свойства фенолов и феноксид-ионов .....	383
17.4.3. Замещение гидроксигруппы в нитрофенолах .....	390
17.4.4. Электрофильное ароматическое замещение в фенолах .....	391
17.4.5. Окисление .....	399
17.4.6. Восстановление .....	400
<i>Для углубленного изучения</i> .....	402
Методы прямого введения гидроксигруппы в ароматическое кольцо .....	402
<i>Дополнения</i> .....	405
Природные фенолы – эффективные антиоксиданты .....	405
<b>Глава 18. ПРОСТЫЕ ЭФИРЫ. ЦИКЛИЧЕСКИЕ ЭФИРЫ</b> .....	409
18.1. Простые эфиры .....	409
18.1.1. Классификация и номенклатура .....	409
18.1.2. Способы получения .....	410

18.1.3. Физические свойства и строение	411
18.1.4. Реакции	413
18.2. Циклические эфиры	417
18.2.1. Классификация и номенклатура	417
18.2.2. Оксираны	418
18.2.3. Краун-эфиры	425
18.3. Спектральный анализ эфиров	426
Для углубленного изучения	428
Новые методы расщепления простых эфиров	428
Дополнения	429
Макролиды. Транспорт ионов через клеточные мембраны	429
<b>Глава 19. АЛЬДЕГИДЫ И КЕТОНЫ</b>	<b>431</b>
19.1. Насыщенные и ароматические альдегиды и кетоны	431
19.1.1. Номенклатура	431
19.1.2. Способы получения	433
19.1.3. Физические свойства и строение	437
19.1.4. Реакции по карбонильной группе	440
19.1.5. Реакции енольных форм альдегидов и кетонов	470
19.2. Ненасыщенные альдегиды и кетоны	481
19.2.1. Классификация	481
19.2.2. Способы получения	483
19.2.3. Электронное строение	484
19.2.4. Реакции	485
19.3. Кетены	492
19.3.1. Способы получения	493
19.3.2. Физические свойства и строение	493
19.3.3. Реакции	494
19.4. Хиноны	495
19.4.1. Способы получения	495
19.4.2. Физические свойства и строение 1,4-бензохинона	496
19.4.3. Реакции	497
19.5. Спектральный анализ альдегидов и кетонов	500
Для углубленного изучения	503
Термодинамический и кинетический контроль.	
Регио- и стереоселективность енолизации	503
Направленные перекрестные альдольные конденсации	505
Стереоселективные альдольные конденсации	507
Внутримолекулярные альдольные конденсации	510
Дополнения	512
Природные хиноны и процессы переноса электронов в живых системах	512
<b>Литература</b>	<b>514</b>

**ТОМ III**  
КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

*Глава 20. КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ*

*Глава 21. СУЛЬФОНОВЫЕ КИСЛОТЫ*

*Глава 22. НИТРОСОЕДИНЕНИЯ*

*Глава 23. АМИНЫ*

*Глава 24. ДИАЗОСОЕДИНЕНИЯ*

*Глава 25. ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ*

*Глава 26. УГЛЕВОДЫ*

*Глава 27. АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ И БЕЛКИ*

*Глава 28. НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ*

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

**ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ**