

В. И. Слесарев

ХИМИЯ

ОСНОВЫ ХИМИИ ЖИВОГО

Издание восьмое, стереотипное

*Рекомендовано Министерством образования
Российской Федерации в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по естественнонаучным направлениям и специальностям*

Учебник – лауреат конкурса
Министерства общего и профессионального
образования Российской Федерации
по созданию учебников нового поколения
по естественнонаучным дисциплинам
для студентов высших учебных заведений

Третье издание учебника удостоено диплома
конкурса 2004 года Ассоциации книгоиздателей
"Лучшие книги года"



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
ХИМИЗДАТ • 2018

КОНТРОЛЬНЫЙ ЭКЗЕМПЛЯР

ББК 54
С 474
УДК 541.1:546:547(075.8)

Благодарю всех, кто оказал финансовую поддержку при издании учебника.

Автор

Рецензенты:

1. Профессор химического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, доктор химических наук *Н. В. Зык*
2. Зав. кафедрой общей и биорганической химии Московского государственного университета профессор *А. С. Берлянд*

Слесарев В. И.

С 474 Химия: Основы химии живого: Учебник для вузов. – 8-е изд., стереотип. – СПб.: Химиздат, 2018. – 784 с.: ил. ISBN 978-5-93808-321-9

Автор – лауреат конкурса Министерства общего и профессионального образования РФ по созданию учебников нового поколения по естественнонаучным дисциплинам для студентов вузов.

Первое издание вышло в 2000 г., последующие – в 2001, 2005, 2007, 2009, 2015 и 2017 гг.

В учебнике изложен полный курс химии, причем в разделах общей, бионеорганической, биофизической и коллоидной химии акцент сделан на рассмотрение процессов, протекающих в живых системах. Основная цель учебника – сформировать целостное восприятие химии и раскрыть химические основы жизнедеятельности.

Предназначен для студентов вузов, учащихся медучилищ, старшеклассников и всех читателей, стремящихся постигнуть тайны живой материи.

С $\frac{1701000000-006}{050(01)-18}$ Без объявл.

ББК 54

ISBN 978-5-93808-321-9

© В. И. Слесарев, 2000, 2001, 2005,
2007, 2009, 2015, 2017, 2018
© ХИМИЗДАТ, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>От автора</i>	11
МОДУЛЬ I	
ВВЕДЕНИЕ В СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА, БИОЭНЕРГЕТИКУ И ХИМИЧЕСКУЮ КИНЕТИКУ	
Глава 1. СТРОЕНИЕ АТОМА, ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА	14
1.1. Строение атома	14
1.1.1. Квантовые числа	17
1.1.2. Принципы заполнения атомных орбиталей электронами	20
1.2. Периодический закон и периодическая система элементов Д. И. Менделеева	22
1.3. Основные характеристики атомов элементов	26
1.3.1. Радиус атома	26
1.3.2. Энергия ионизации	28
1.3.3. Энергия сродства к электрону	28
1.3.4. Относительная электроотрицательность	29
Глава 2. ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ	31
2.1. Ковалентная связь	32
2.1.1. δ - и π -Молекулярные орбитали	33
2.1.2. Механизмы возникновения ковалентной связи	34
2.1.3. Особенности ковалентной связи	37
2.2. Ионная связь	46
2.3. Металлическая связь	47
Глава 3. МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА	48
3.1. Межмолекулярные взаимодействия	48
3.2. Агрегатное состояние вещества	56
3.2.1. Твердое состояние	61
3.2.2. Жидкое состояние	65
3.2.3. Жидкокристаллическое состояние	66
3.2.4. Паро- и газообразное состояния	71
Глава 4. ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ И БИОЭНЕРГЕТИКИ	73
4.1. Основные понятия термодинамики	73
4.2. Первый закон термодинамики	79

4.3. Понятие о самопроизвольных процессах. Энтропия	84
4.4. Второй закон термодинамики. Энергия Гиббса	86
4.5. Принцип энергетического сопряжения биохимических реакций	90
4.6. Особенности термодинамики биохимических процессов в равновесных и стационарных состояниях. Понятие о гомеостазе	92
Глава 5. ОСНОВЫ КИНЕТИКИ БИОХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ И ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ	96
5.1. Основные понятия и терминология раздела	97
5.2. Факторы, влияющие на скорость гомогенных реакций	100
5.2.1. Влияние природы реагирующих веществ	100
5.2.2. Влияние концентрации реагентов. Константа скорости реакций. Понятие о порядке реакции по реагенту	100
5.2.3. Влияние температуры. Энергия активации	104
5.2.4. Влияние катализатора	106
5.3. Особенности кинетики гетерогенных реакций	108
5.4. Особенности кинетики цепных реакций	108
5.5. Химическое равновесие	109
5.5.1. Смещение химического равновесия	114
5.6. Ферментативный катализ и его особенности	116
5.7. Автоколебательные биохимические процессы	121

МОДУЛЬ II

РАВНОВЕСИЯ В ЖИДКИХ СРЕДАХ ОРГАНИЗМА

Глава 6. РАСТВОРЫ И ИХ КОЛЛИГАТИВНЫЕ СВОЙСТВА	124
6.1. Вода как растворитель и ее роль в жизнедеятельности организма	125
6.2. Термодинамика процесса растворения	134
6.3. Способы выражения концентрации растворов	135
6.4. Коллигативные свойства растворов	139
6.4.1. Диффузия	139
6.4.2. Осмос. Осмотическое и онкотическое давление	140
6.4.3. Давление насыщенного пара над раствором	147
6.4.4. Температура кипения и замерзания раствора	149
Глава 7. РАСТВОРЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ И ИОННЫЕ РАВНОВЕСИЯ	153
7.1. Электролитическая диссоциация	153
7.2. Равновесие в растворах слабых электролитов	156
7.2.1. Влияние общего иона и противоиона на равновесие	158
7.2.2. Взаимосвязь константы диссоциации и степени диссоциации	159
7.3. Особенности растворов сильных электролитов. Ионная сила раствора	159
7.4. Электролитическая диссоциация и ионное произведение воды	162

7.5. Водородный и гидроксильный показатели (рН и рОН)	164
7.6. Физико-химические основы водно-электролитного баланса в организме	167

Глава 8. ТЕОРИЯ КИСЛОТ И ОСНОВАНИЙ И ПРОТОЛИТИЧЕСКИЕ РАВНОВЕСИЯ 173

8.1. Протолитическая теория кислот и оснований	173
8.2. Кислотно-основные свойства α -аминокислот	180
8.3. Важнейшие кислотно-основные реакции	183
8.3.1. Гидролиз солей	183
8.3.2. Реакции нейтрализации	186
8.3.3. Общая, активная и потенциальная кислотность растворов	189
8.4. Протолитический баланс. Буферные растворы и их свойства	193
8.5. Буферные системы организма, их взаимодействие, явления ацидоза и алкалоза	197

Глава 9. ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ, ИХ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И РОЛЬ В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМОВ 208

9.1. Основные понятия и факторы, влияющие на протекание окислительно-восстановительных реакций	208
9.2. Направление протекания окислительно-восстановительных реакций	212
9.3. Особенности биохимических окислительно-восстановительных процессов в организмах	215
9.3.1. Степень окисления углерода в органических соединениях	219
9.3.2. Биохимические реакции внутри- и межмолекулярной окислительно-восстановительной дисмутации за счет атомов углерода	220
9.3.3. Окислительно-восстановительные превращения кофакторов и коферментов оксидоредуктаз	221
9.3.4. Электронотранспортные цепи	225
9.3.5. Дегидрогеназное окисление-восстановление	227
9.3.6. Окислительное фосфорилирование	229
9.3.7. Фотофосфорилирование	232
9.3.8. Оксигеназное окисление-восстановление	234
9.3.9. Свободнорадикальное окисление и антиоксидантная система организма	236
9.4. Использование окислителей и восстановителей в медико-санитарной практике	242

Глава 10. КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ИХ СВОЙСТВА 243

10.1. Основные понятия и терминология	243
10.2. Химическая связь в комплексных соединениях и особенности их строения	246
10.3. Химические свойства комплексных соединений	249

10.4. Медико-биологическая роль комплексных соединений	255
10.5. Металлолигандный баланс и его нарушения	261
10.6. Комплексонометрия	263
Глава 11. ГЕТЕРОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ	266
11.1. Основные понятия и теоретические основы	266
11.2. Гетерогенные равновесия в растворах, связанные с процессом кристаллизации	269
11.3. Гетерогенные равновесия в растворах, связанные с процессом расслоения	273
11.4. Гетерогенные равновесия в живых системах	275
МОДУЛЬ III	
ХИМИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	
Глава 12. ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ОРГАНОГЕНОВ	284
12.1. Классификация и распространенность химических элементов в организме человека и окружающей среде	284
12.2. Строение, химические свойства и роль элементов-органогенов и их соединений в растительном и животном мире	288
12.2.1. Водород и его соединения	288
12.2.2. Углерод и его соединения	295
12.2.3. Азот и его соединения	304
12.2.4. Фосфор и его соединения	311
12.2.5. Кислород и его соединения	318
12.2.6. Сера и ее соединения	322
12.3. Строение и химические свойства галогенов и их соединений	331
Глава 13. ХИМИЯ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ ЖИЗНИ И ИХ РОЛЬ В РАСТИТЕЛЬНОМ И ЖИВОТНОМ МИРЕ	337
13.1. Химия ионов s-металлов в организме	337
13.1.1. Натрий и калий	338
13.1.2. Магний и кальций	341
13.2. Химия ионов d-металлов в организме	344
13.2.1. Марганец	346
13.2.2. Железо и кобальт	349
13.2.3. Медь	352
13.2.4. Цинк	355
13.2.5. Молибден	356
Глава 14. ХИМИЯ И АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	358
14.1. Химия загрязнений атмосферы	359
14.1.1. Токсический смог	361

14.1.2. Фотохимический смог	362
14.1.3. Кислотные дожди	363
14.1.4. Загрязнение атмосферы другими токсикантами	364
14.1.5. Разрушение озонового слоя	365
14.2. Методы анализа токсикантов и методы снижения их поступления в атмосферу	366
14.3. Загрязнение гидросферы. Понятие об общих показателях, характеризующих природные и сточные воды	370

МОДУЛЬ IV

ОСНОВЫ БИООРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Глава 15. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ	375
15.1. Основы классификации и номенклатуры органических соединений	375
15.2. Пространственная структура биоорганических молекул и виды изомерии	381
15.3. Понятие о взаимном влиянии атомов в молекуле и электронные эффекты	388
15.4. Классификация органических реакций и их компонентов	390
Глава 16. АЛИФАТИЧЕСКИЕ И АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ	399
16.1. Строение и реакционная способность алканов	400
16.2. Строение и реакционная способность ненасыщенных углеводородов: алкенов и диенов	408
16.3. Ароматические углеводороды (арены)	417
Глава 17. СПИРТЫ, ФЕНОЛЫ, ПРОСТЫЕ ЭФИРЫ, ТИОЛЫ И СУЛЬФИДЫ	426
17.1. Классификация, номенклатура, изомерия спиртов и фенолов	426
17.2. Физико-химические свойства спиртов и фенолов	429
17.3. Химические свойства спиртов	430
17.4. Химические свойства фенолов	438
17.5. Простые эфиры	442
17.6. Тиолы и сульфиды	443
Глава 18. АЛЬДЕГИДЫ, КЕТОНЫ И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ	449
18.1. Строение, номенклатура и физико-химические свойства альдегидов и кетонов	449
18.2. Химические свойства альдегидов и кетонов	451
18.2.1. Кислотно-основные свойства	452
18.2.2. Электрофильно-нуклеофильные свойства	455
18.2.3. Окислительно-восстановительные свойства	460
18.2.4. Комплексообразующие свойства	465
18.3. Альдегиды и кетоны в окружающей среде	466

Глава 19. КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ	468
19.1. Строение, номенклатура и физико-химические свойства карбоновых кислот	468
19.2. Химические свойства предельных кислот и их производных	471
19.2.1. Кислотно-основные свойства	472
19.2.2. Карбоновые кислоты как ацилирующие реагенты	473
19.2.3. Производные карбоновых кислот, их свойства и взаимные превращения	477
19.2.4. Окислительно-восстановительные свойства карбоновых кислот и их производных	482
19.3. Особенности свойств замещенных карбоновых кислот и их производных	484
19.3.1. Дикарбоновые кислоты	484
19.3.2. Гидроксикарбоновые кислоты	487
19.3.3. Оксокарбоновые кислоты	491
19.3.4. Ненасыщенные карбоновые кислоты	497
19.4. Основные реакции метаболизма карбоновых кислот	500
19.4.1. Биосинтез жирных кислот	501
19.4.2. Биологическое окисление жирных кислот	502
19.4.3. Реакции цикла Кребса	505
19.5. Кислоты ароматического ряда и их производные как лекарственные средства	509
Глава 20. ЛИПИДЫ	513
20.1. Жиры и воски	514
20.2. Омыляемые сложные липиды	519
20.3. Неомыляемые липиды – низкомолекулярные биорегуляторы	521
Глава 21. АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ И БЕЛКИ	528
21.1. Строение, классификация и физико-химические свойства α -аминокислот	528
21.2. Химические свойства α -аминокислот	533
21.2.1. Кислотно-основные свойства и прототропная таутомерия	533
21.2.2. Комплексообразующие свойства	538
21.2.3. Электрофильно-нуклеофильные свойства	538
21.2.4. Окислительно-восстановительные свойства	543
21.3. Структура и свойства пептидов	550
21.4. Структура и свойства белков	554
Глава 22. УГЛЕВОДЫ И ПОЛИСАХАРИДЫ	569
22.1. Строение, изомерия и свойства моносахаридов	570
22.1.1. Химические свойства моносахаридов и их производных	576
22.1.2. Катаболизм глюкозы – гликолиз	584

22.2. Строение и свойства дисахаридов	588
22.3. Полисахариды, их структура и свойства	591
22.3.1. Гомополисахариды	591
22.3.2. Гетерополисахариды, протеоглики, гликопротеины	595

Глава 23. БИОЛОГИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ	599
--	-----

23.1. Электронные состояния атома азота в его соединениях и свойства этих соединений	600
23.2. Роль аммиака для живых организмов и пути его обезвреживания. Цикл мочевины и ее свойства	607
23.3. Азотсодержащие ароматические гетероциклические соединения	612
23.4. Нуклеозиды, нуклеотиды и нуклеиновые кислоты, их структура и свойства	626

МОДУЛЬ V

ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОЙ И КОЛЛОИДНОЙ ХИМИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Глава 24. ЭЛЕКТРОХИМИЯ. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ	638
--	-----

24.1. Электрическая подвижность ионов в растворе	639
24.2. Удельная электрическая проводимость растворов электролитов	642
24.3. Молярная электрическая проводимость растворов электролитов	643
24.4. Закон независимого движения ионов в разбавленных растворах (закон Кольрауша)	645
24.5. Кондуктометрические методы анализа	646
24.5.1. Кондуктометрическое титрование	646
24.6. Электрическая проводимость биологических объектов в норме и патологии	649

Глава 25. МЕЖФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ, ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ, ПОТЕНЦИОМЕТРИЯ	652
--	-----

25.1. Возникновение двойного электрического слоя и виды электрических потенциалов	652
25.2. Электродный потенциал. Стандартный водородный электрод. Гальванические цепи. Уравнение Нерста	654
25.3. Восстановительный потенциал	661
25.4. Диффузионный потенциал	664
25.5. Мембранный потенциал	665
25.6. Потенциометрия	670
25.6.1. Хлорсеребряный электрод сравнения	671
25.6.2. Ионно- и молекулярно-селективные электроды определения	672
25.6.3. Потенциометрическое титрование	677

Глава 26. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ	681
26.1. Свободная поверхностная энергия	681
26.2. Сорбция и ее виды	683
26.3. Абсорбция	684
26.4. Адсорбция	687
26.4.1. Адсорбция на неподвижной поверхности раздела фаз	688
26.4.2. Молекулярная адсорбция из растворов на твердых адсорбентах	692
26.4.3. Адсорбция ионов из растворов	694
26.4.4. Ионообменная адсорбция	696
26.5. Адсорбция на подвижной поверхности раздела фаз	697
26.6. Поверхностно-активные вещества	698
26.7. Хроматография	702
Глава 27. ФИЗИКОХИМИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ	708
27.1. Дисперсные системы и их классификация	708
27.2. Лиофобные коллоидные растворы	710
27.2.1. Строение мицелл в лиофобных коллоидных растворах	712
27.2.2. Свойства лиофобных коллоидных растворов	716
27.2.3. Влияние высокомолекулярных соединений на устойчивость лиофобных коллоидов. Флокуляция	727
27.3. Лиофильные коллоидные растворы	729
27.3.1. Строение мицелл ПАВ и ВМС в водных коллоидных растворах в зависимости от их концентрации	730
27.3.2. Получение и свойства лиофильных коллоидных растворов	735
27.3.3. Моющее действие растворов ПАВ	739
27.3.4. Особенности растворов биополимеров	741
27.4. Структурообразование в растворах ВМС. Возникновение связнодисперсных систем и их свойства	748
27.5. Грубодисперсные системы	751
27.5.1. Суспензии	752
27.5.2. Эмульсии	753
27.5.3. Аэрозоли	755
27.6. Электрокинетические явления в дисперсных системах	760
27.7. Ткани организма – дисперсные системы	763
27.7.1. Строение и свойства клеточных мембран	763
27.7.2. Кровь – сложная дисперсная система	765
Приложение 1	768
Предметный указатель	769
Литература	784