УДК 577.3(075.8)
ББК 28.707я73
Л46

Рецензенты:

заведующий кафедрой общей и биоорганической химии Московского государственного медико-стоматологического университета, профессор, доктор химических наук *А. С. Берлянд-*, профессор химического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, доктор химических наук *Н. В. Лукашев.*

Научный редактор

заведующий кафедрой общей и биоорганической химии Российского государственного медицинского университета, профессор, доктор химических наук *Ю. И. Бауков.*

Ленский, А. С.

Л46 Биофизическая и бионеорганическая химия : Учебник для студентов медицинских вузов / А. С. Ленский, И. Ю. Белавин, С. Ю. Быликин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : **ООО** «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2020. — 416 с.

ISBN 978-5-9986-0405-8

В учебнике рассмотрены разделы общей, биофизической и бионеорганической химии, представляющие наибольший интерес для студентов медицинских и медико-биологических специальностей. Каждая глава включает необходимый теоретический материал, примеры практического использования физико-химических подходов к решению типичных проблем биологии и медицины, вопросы для самоконтроля, а также многочисленные обучающие задачи с подробными решениями и ответами.

Во втором издании исправлены недочеты первого издания, материал приведен в соответствие с действующими федеральными государственными стандартами, а также введены некоторые дополнения, связанные с последними достижениями химических наук, нашедшими применение в медицине.

Для студентов медицинских вузов.

УДК 577.3(075.8)
ББК 28.707я73

ISBN 978-5-9986-0405-8

© Ленский А. С., Белавин И. Ю., Быликин С. Ю., 2020
© Оформление. ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2020

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой-либо форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Оглавление

Сокращения, символы и соглашения..... 7

Предисловие ко второму изданию..... 12

Введение..... 14

Глава 1. Атомно-молекулярное учение. Квантово-механическая модель атома..... 17

1.1. Атомно-молекулярное учение..... 17
1.2. Закон сохранения энергии..... 18
1.3. Развитие представлений о строении атома..... 19
1.4. Состояние электронов в поле ядра атома. Квантовые числа..... 26
1.5. Распределение электронов в атомах. Принципы запрета и наименьшей энергии..... 27
1.6. Визуализация волновых функций. Пространственные конфигурации атомных орбиталей..... 31
1.7. Строение атомного ядра. Изотопы..... 36
1.8. Радиоактивность. Ядерные реакции..... 37
1.9. Вопросы и задания для самостоятельной работы..... 41
1.10. Ответы и решения..... 42

Глава 2. Периодический закон..... 44

2.1. Создание и эволюция периодической системы..... 44
2.2. Структура Периодической таблицы химических элементов..... 45
2.3. Электронное строение атома и периодичность свойств химических элементов..... 47
2.4. Атомные и ионные радиусы, энергия ионизации, сродство к электрону и электроотрицательность..... 56
2.5. Периодичность химических и физических свойств элементов..... 63
2.6. Вопросы и задания для самостоятельной работы..... 67
2.7. Ответы и решения..... 68

Глава 3. Химическая связь..... 71

3.1. Химическая связь и электронное строение атомов..... 71
3.2. Метод валентных связей..... 76
3.3. Направленность ковалентной связи. Пространственное строение молекул..... 85
3.4. Полярность и поляризуемость ковалентной связи. Типы ковалентных молекул..... 90
3.5. Метод молекулярных орбиталей..... 96
3.6. Ионная и металлическая связь. Строение твердого тела..... 104
3.7. Межмолекулярное взаимодействие. Водородная связь..... 107
3.8. Сходство и различие основных типов химической связи..... 112
3.9. Строение молекул и их физиологическое действие. Химическая связь в биологических системах..... 113
3.10. Вопросы и задания для самостоятельной работы..... 115
3.11. Ответы и решения..... 116

Глава 4. **Основы химической термодинамики и биоэнергетики.** 119

4.1. Химическая термодинамика — теоретическая основа изучения обмена веществ и энергии в живом организме... 119
4.2. Исходные понятия, применяемые в химической термодинамике... 120
4.3. Первый закон термодинамики... 123
4.4. Понятие об энтальпии... 124
4.5. Термохимические уравнения. Теплота образования сложного вещества из простых веществ... 126
4.6. Закон Гесса... 127
4.7. Изменения энтальпии при различных химических и физико-химических процессах... 131
4.8. Направление самопроизвольно протекающих процессов... 132
4.9. Второй закон термодинамики. Энтропия... 133
4.10. Зависимость энтропии от различных факторов. Третий закон термодинамики... 135
4.11. Энтальпийный и энтропийный факторы процесса. Энергия Гиббса... 138
4.12. Различные формулировки второго закона термодинамики... 142
4.13. Расчет изменения энергии Гиббса в химической реакции в нестандартных условиях. Химический потенциал... 143
4.14. Убыль энергии Гиббса как мера потенциальных возможностей химической системы... 145
4.15. Термодинамическое сопряжение... 147
4.16. Особенности живых организмов как объектов термодинамических исследований. Научные основы биоэнергетики... 149
4.17. Специфические особенности высших форм движения материи. Применимость начал термодинамики к живым системам... 154
4.18. Вопросы и задания для самостоятельной работы... 159
4.19. Ответы и решения... 160

Глава 5. **Равновесное состояние системы**... 163

5.1. Фазовые равновесия. Правило фаз... 164
5.2. Химическое равновесие. Константа химического равновесия... 166
5.3. Связь между изменением энергии Гиббса и константой равновесия... 170
5.4. Количественные расчеты, относящиеся к химическому равновесию... 171
5.5. Смещения химического равновесия при изменении физико-химических условий. Принцип Ле Шателье... 174
5.6. Условия протекания обратимых химических реакций практически до конца... 177
5.7. Вопросы и задания для самостоятельной работы... 179
5.8. Ответы и решения... 180

Глава 6. **Химическая кинетика**... 182

6.1. Основные понятия химической кинетики... 182
6.2. Влияние на скорость реакции природы и концентрации реагирующих веществ 186
6.3. Влияние температуры на скорость реакции... 194
6.4. Влияние катализаторов на скорость реакции... 197

6.5. Роль катализа в жизнедеятельности живых организмов. Особенности кинетики ферментативных реакций ... 199
6.6. Кинетические и термодинамические аспекты процессов метаболизма ... 204
6.7. Вопросы и задания для самостоятельной работы ... 206
6.8. Ответы и решения ... 207

Глава 7. **Растворы** ... 208

7.1. Общие представления о растворах ... 208
7.2. Способы выражения состава раствора ... 210
7.3. Термодинамика и кинетика образования растворов ... 215
7.4. Растворимость и ее зависимость от различных факторов ... 218
7.5. Осмос и осмотическое давление ... 224
7.6. Давление насыщенного пара над раствором, температуры кипения и кристаллизации раствора ... 230
7.7. Распределение вещества между жидкими фазами. Экстракция ... 235
7.8. Вопросы и задания для самостоятельной работы ... 237
7.9. Ответы и решения ... 238

Глава 8. **Сильные и слабые электролиты. Ионные равновесия** ... 241

8.1. Теория электролитической диссоциации ... 241
8.2. Слабые электролиты. Степень диссоциации ... 244
8.3. Сильные электролиты. Ионная сила и активность ... 249
8.4. Малорастворимые электролиты. Произведение растворимости ... 253
8.5. Электрическая проводимость растворов электролитов ... 258
8.6. Электролиты в организме человека ... 265
8.7. Вопросы и задания для самостоятельной работы ... 267
8.8. Ответы и решения ... 268

Глава 9. **Кислотно-основные равновесия** ... 272

9.1. Основные представления о кислотах и основаниях ... 272
9.2. Ионное произведение воды. Водородный показатель ... 278
9.3. Расчет pH растворов кислот и оснований ... 281
9.4. Обменные реакции в растворах электролитов. Гидролиз ... 285
9.5. Протолитические равновесия в растворах амфолитов ... 294
9.6. Буферные растворы ... 299
9.7. Титриметрическое определение кислот и оснований. Кривые титрования. Кислотно-основные индикаторы ... 308
9.8. Кислотно-основные равновесия в организме человека ... 316
9.9. Вопросы и задания для самостоятельной работы ... 321
9.10. Ответы и решения ... 324

Глава 10. **Координационные соединения** ... 328

10.1. Общие представления о координационных соединениях ... 328
10.2. Классификация, номенклатура и изомерия координационных соединений ... 333
10.3. Электронное строение координационных соединений ... 340

10.4. Равновесия в растворах координационных соединений....342
10.5. Координационные соединения в биологических системах....348
10.6. Вопросы и задания для самостоятельной работы.... 355
10.7. Ответы и решения.... 356

Глава 11. Окислительно-восстановительные процессы.... 359

11.1. Сущность окислительно-восстановительных реакций.... 359
11.2. Электродные потенциалы. Уравнения Нернста и Нернста—Петерса.... 363
11.3. Диффузионный и мембранный потенциалы.... 367
11.4. Гальванические элементы. ЭДС....370
11.5. Направление окислительно-восстановительного процесса.... 372
11.6. Значение окислительно-восстановительных процессов в биологии и медицине.... 373
11.7. Вопросы и задания для самостоятельной работы.... 376
11.8. Ответы и решения.... 378

Приложения....381

1. Основные единицы измерения физических величин.... 381
2. Производные единицы измерения физических величин.... 381
3. Некоторые внесистемные единицы.... 381
4. Десятичные приставки.... 382
5. Важнейшие физические константы.... 382
6. Термодинамические свойства простых веществ, соединений и ионов в водных растворах при 298 К.... 382
7. Константы диссоциации кислот в водных растворах при 298 К.... 391
8. Константы ионизации оснований в водных растворах при 298 К.... 392
9. Константы ионизации аминокислот в водных растворах при 298 К.... 392
10. Константы устойчивости (/?„) комплексных ионов и молекул в водных растворах при 298 К.... 393
11. Стандартные восстановительные потенциалы при 298 К (£°29в) и стандартные биологические восстановительные потенциалы при 310 К и pH = 7 (XSio) в водных растворах.... 394
12. Содержание и биологическая роль некоторых микроэлементов и примесных элементов в организме человека.... 396
13. Греческий алфавит.... 399
14. Растворимость солей и оснований в воде при 293 К.... 400

Литература;.... 401

Предметный указатель....403