

А. А. ПОПОВА, Т. Б. ПОПОВА

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ



А. А. ПОПОВА, Т. Б. ПОПОВА

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

РЕКОМЕНДОВАНО
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет
пищевых производств» в качестве учебного пособия
для студентов вузов, обучающихся
по направлениям подготовки укрупненной группы
«Промышленная экология и биотехнологии»
уровня бакалавриата



• САНКТ-ПЕТЕРБУРГ •
• МОСКВА • КРАСНОДАР •
2019

ББК 24.5я73

П 58

Попова А. А., Попова Т. Б.

П 58 Физическая химия: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2019. — 496 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-1796-4

Издание содержит развернутые теоретические главы, соответствующие основным разделам курса физической химии, и лабораторный практикум, освоение которого будет способствовать более глубокому пониманию изучаемого материала, осознанному закреплению прикладных и исследовательских навыков у обучающихся, формированию необходимых компетенций. В каждой работе рассматриваются примеры расчетов, использующихся при выполнении экспериментальных заданий, приводятся задачи для самостоятельного решения и контрольные вопросы, охватывающие все дидактические единицы теоретического курса.

Пособие предназначено для студентов инженерных и технологических направлений, а также может быть полезно магистрам, аспирантам и преподавателям химических дисциплин в высших учебных заведениях.

ББК 24.5я73

Рецензенты:

Н. Д. СОЛОВЬЕВА — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии электрохимических производств Саратовского государственного технического университета им. Ю. А. Гагарина;

В. В. ЛУКОВ — доктор химических наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии Южного федерального университета.

Обложка

Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2019

© А. А. Попова, Т. Б. Попова, 2019

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Термодинамика	
<i>Теоретическая часть</i>	
1.1. Основные понятия термодинамики	10
1.2. Энергия. Закон сохранения и превращения энергии	14
1.3. Первое начало термодинамики	15
1.4. Калорические коэффициенты	20
1.5. Приложение первого начала термодинамики к изопроцессам	23
1.6. Тепловые эффекты химических реакций	27
1.7. Цикл Карно	33
1.8. Второе начало термодинамики. Энтропия	37
1.8.1. Второе начало термодинамики	37
1.8.2. Энтропия	38
1.8.3. Способы расчета энтропии	41
1.9. Термодинамические потенциалы и характеристические функции	43
<i>Практическая часть</i>	
Лабораторная работа № 1	50
Измерение работы расширения газа в изопроцессе и определение универсальной газовой постоянной	50
Примеры расчетов	50
Порядок выполнения работы	55
Задачи для самостоятельного решения	57
Лабораторная работа № 2	59
Определение отношения C_p/C_v для воздуха методом Клемана — Дезорма	59
Примеры расчетов	59
Теория метода	63
Порядок выполнения работы	67
Задачи для самостоятельного решения	68
Лабораторная работа № 3	70
Определение коэффициента теплопроводности	70
Теория метода	70
Порядок выполнения работы	73
Лабораторная работа № 4	75
Калориметрическое определение удельной теплоты растворения неорганической соли	75
Примеры расчетов	75
Порядок выполнения работы	77
Задачи для самостоятельного решения	83
Лабораторная работа № 5	84
Определение изменения энтропии при нагревании и плавлении олова	84
Примеры расчетов	85
Теория метода	87
Порядок выполнения работы	88
Задачи для самостоятельного решения	90
Глава 2. Кинетика химических реакций	
<i>Теоретическая часть</i>	
2.1. Основные понятия и соотношения химической кинетики	95
2.1.1. Элементарная реакция и механизм химической реакции	95

2.1.2. Гомогенные и гетерогенные химические реакции	96
2.1.3. Скорость химической реакции	96
2.1.4. Кинетика химических реакций в реакторах идеального смешения	97
2.1.5. Кинетика химических реакций в реакторах идеального вытеснения	99
2.1.6. Закон действующих масс	99
2.1.7. Молекулярность реакции	100
2.1.8. Односторонние и двусторонние процессы	101
2.1.9. Смещение химического равновесия. Принцип Ле Шателье	106
2.2. Основное кинетическое уравнение и порядок реакции	107
2.2.1. Порядок реакции	108
2.2.2. Экспериментальные методы определения порядка реакции	108
2.2.3. Принцип независимости протекания реакций	113
2.2.4. Параллельные и последовательные реакции	116
2.2.5. Зависимость скорости химической реакции от температуры. Уравнение Аррениуса	119
2.3. Кинетика каталитических процессов	121
2.3.1. Катализаторы. Специфичность, активность и селективность катализаторов	122
2.3.2. Гомогенный катализ	127
2.3.3. Ферментативный катализ	129
2.3.4. Гетерогенный катализ	131
Практическая часть	
Лабораторная работа № 1	134
Определение константы скорости реакции методом Вант-Гоффа (начальных концентраций)	134
Примеры расчетов	134
Порядок выполнения работы	135
Задачи для самостоятельного решения	137
Лабораторная работа № 2	138
Изучение кинетики разложения карбамида в водных растворах кондуктометрическим методом	138
Примеры расчетов	139
Теория метода	140
Порядок выполнения работы	141
Задачи для самостоятельного решения	143
Лабораторная работа № 3	144
Определение порядка реакции	144
Примеры расчетов	145
Порядок выполнения работы	146
Задачи для самостоятельного решения	147
Лабораторная работа № 4	149
Химическое равновесие и его сдвиг	149
Примеры расчетов	149
Теория метода	150
Порядок выполнения работы	150
Задачи для самостоятельного решения	151
Лабораторная работа № 5	152
Влияние катализатора на скорость химической реакции	152
Примеры расчетов	153
Порядок выполнения работы	154
Задачи для самостоятельного решения	155

Лабораторная работа № 6	156
Каталитическое разложение перекиси водорода на платиновой черни	156
Примеры расчетов	157
Теория метода	159
Порядок выполнения работы	159
Задачи для самостоятельного решения	162
Глава 3. Фазовые и химические равновесия	
<i>Теоретическая часть</i>	
3.1. Термодинамика химического равновесия	166
3.1.1. Закон действующих масс для состояния равновесия	167
3.1.2. Стандартный потенциал образования	169
3.2. Фазовые равновесия	170
3.2.1. Общие понятия о фазах и фазовых равновесиях	170
3.2.2. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса	172
3.2.3. Правило фаз Гиббса	175
3.2.4. Физико-химический анализ	176
<i>Практическая часть</i>	
Лабораторная работа № 1	193
Пересчет концентраций и построение диаграммы состояния бинарной смеси при разных способах выражения концентрации	193
Примеры расчетов	193
Порядок выполнения работы	195
Лабораторная работа № 2	198
Визуально-политермический анализ. Построение калибровочной кривой никром-константановой термопары	198
Примеры расчетов	198
Теория метода	200
Порядок выполнения работы	201
Задачи для самостоятельного решения	202
Лабораторная работа № 3	204
Изучение диаграмм плавкости	204
Примеры расчетов	204
Порядок выполнения работы	205
Задачи для самостоятельного решения	207
Глава 4. Растворы	
<i>Теоретическая часть</i>	
4.1. Общая характеристика растворов	210
4.1.1. Теория растворов. Понятие о сольватации	212
4.1.2. Термодинамические условия образования растворов	214
4.1.3. Способы выражения концентрации растворов	215
4.2. Растворимость	217
4.2.1. Растворимость газов в жидкостях	219
4.2.2. Растворимость жидкостей в жидкостях	220
4.2.3. Растворимость твердых веществ в жидкостях. Коллигативные свойства растворов	233
4.3. Растворы электролитов	237
4.3.1. Электролитическая диссоциация. Степень и константа диссоциации	237
4.3.2. Ионное произведение воды. Водородный показатель	244
4.3.3. Буферные растворы	245
4.3.4. Активности. Коэффициент активности	248
4.3.5. Электропроводность растворов электролитов	249
4.3.6. Подвижность ионов	251
4.3.7. Измерение электропроводности растворов электролитов	257

4.4. Электрохимические процессы и электродвижущие силы	260
4.4.1. Общие электрохимические понятия	260
4.4.2. Равновесные электродные процессы	263
4.4.3. Виды электрохимических электродов	268
4.4.4. Типы электрохимических цепей	272
<i>Практическая часть</i>	
Лабораторная работа № 1	278
Приготовление растворов	278
Примеры расчетов	278
Порядок выполнения работы	281
Задачи для самостоятельного решения	283
Лабораторная работа № 2	284
Насыщенные и пересыщенные растворы	284
Примеры расчетов	284
Порядок выполнения работы	286
Задачи для самостоятельного решения	288
Лабораторная работа № 3	289
Определение критической температуры растворения фенола в воде	289
Примеры расчетов	289
Порядок выполнения работы	291
Задачи для самостоятельного решения	293
Лабораторная работа № 4	294
Дистилляция растворов	294
Примеры расчетов	294
Порядок выполнения работы	296
Задачи для самостоятельного решения	299
Лабораторная работа № 5	300
Растворы электролитов	300
Примеры расчетов	300
Порядок выполнения работы	303
Задачи для самостоятельного решения	306
Лабораторная работа № 6	307
Измерение электропроводности растворов электролитов	307
Примеры расчетов	308
Порядок выполнения работы	309
Задачи для самостоятельного решения	312
Лабораторная работа № 7	313
Определение константы устойчивости и стехиометрического состава комплексных соединений методом электропроводности	313
Примеры расчетов	313
Теория метода	314
Порядок выполнения работы	315
Задачи для самостоятельного решения	318
Лабораторная работа № 8	319
Определение среднего коэффициента активности раствора соляной кислоты методом потенциометрии	319
Примеры расчетов	319
Теория метода	321
Порядок выполнения работы	322
Задачи для самостоятельного решения	323
Лабораторная работа № 9	325
Определение водородного показателя (рН) водных растворов	325
Примеры расчетов	325
Теория метода	326

Порядок выполнения работы	327
Задачи для самостоятельного решения	329
Лабораторная работа № 10	329
Электролиз	329
Примеры расчетов	330
Порядок выполнения работы	331
Задачи для самостоятельного решения	334
Лабораторная работа № 11	335
Типы электрохимических электродов	335
Примеры расчетов	336
Порядок выполнения работы	338
Задачи для самостоятельного решения	343

Глава 5. Поверхностные явления

Теоретическая часть

5.1. Поверхностное натяжение	346
5.2. Поверхностное натяжение растворов	350
5.3. Поверхностная активность	353
5.4. Смачивание	354
5.5. Поверхностные пленки	358
5.6. Сорбция	359
5.6.1. Адсорбционное уравнение Гиббса	360
5.6.2. Теория монослойной адсорбции	362
5.6.3. Адсорбция на твердых адсорбентах. Уравнение Фрейндлиха	366
5.6.4. Полимолекулярная адсорбция	370
5.6.5. Адсорбция на пористой поверхности	372
5.6.6. Физическая и химическая адсорбция	375
5.6.7. Ионный обмен	377
5.7. Хроматография	382
5.7.1. Основные хроматографические понятия	382
5.7.2. Классическая теория хроматографии	390
5.7.3. Основные виды хроматографии	391

Практическая часть

Лабораторная работа № 1	403
Изучение адсорбции карбоновой кислоты на активированном угле	403
Примеры расчетов	403
Порядок выполнения работы	407
Задачи для самостоятельного решения	409
Лабораторная работа № 2	412
Адсорбция на подвижных границах раздела фаз	412
Примеры расчетов	412
Порядок выполнения работы	419
Задачи для самостоятельного решения	422
Лабораторная работа № 3	425
Адсорбция и десорбция. Избирательность адсорбции	425
Примеры расчетов	426
Порядок выполнения работы	427
Задачи для самостоятельного решения	429
Лабораторная работа № 4	430
Определение краевого угла смачивания	430
Примеры расчетов	431
Теория метода	432
Порядок выполнения работы	433
Задачи для самостоятельного решения	435

Лабораторная работа № 5	437
Определение активности оксида алюминия	437
Примеры расчетов	437
Порядок выполнения работы	438
Задачи для самостоятельного решения	440
Лабораторная работа № 6	441
Хроматографическое выделение каротиноидов и хлорофилла из растительного сырья	441
Примеры расчетов	441
Порядок выполнения работы	443
Задачи для самостоятельного решения	445
Лабораторная работа № 7	446
Определение аминокислот в смеси методом круговой распределительной хроматографии	446
Примеры расчетов	447
Теория метода	448
Порядок выполнения работы	451
Задачи для самостоятельного решения	453
Лабораторная работа № 8	454
Разделение смеси катионов металлов методом бумажной восходящей хроматографии	454
Примеры расчетов	454
Порядок выполнения работы	455
Задачи для самостоятельного решения	458
Приложения	460
Литература	488