

УДК 541.183.5(076.5)  
ББК Г583.2я73  
К32

**Колпакова Н.А.**

К32      Термодинамика и кинетика сорбционного концентрирования. Часть I: учебное пособие / Н.А. Колпакова, Т.С. Минакова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 201 с.

Пособие содержит теоретические и практические материалы учебного курса «Термодинамика и кинетика сорбционного концентрирования» с теорией, примерами решения задач, заданиями для самостоятельного решения, часть из которых составлена на основании экспериментальных результатов НИР и НИРС, выполненных на кафедрах физической и коллоидной химии ТГУ и ТПУ.

Предназначено для студентов, специализирующихся в области адсорбции, катализа, электрохимии, аналитической химии, а также для магистрантов, аспирантов, научных сотрудников и преподавателей, интересующихся данным направлением науки.

**УДК 541.183.5(076.5)**  
**ББК Г583.2я73**

#### *Рецензенты*

Доктор химических наук, профессор кафедры технологии редких,  
рассеянных и радиоактивных элементов ТПУ  
*И.И. Жерин*

Доктор химических наук, профессор  
заведующий кафедрой органической химии ТГПУ  
*О.Х. Полещук*

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2011  
© Колпакова Н.А., Минакова Т.С., 2011  
© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2011

## Содержание

Предисловие	3
Глава 1. Основные понятия термодинамики и кинетики сорбционного концентрирования	5
1.1. Терминология процессов сорбции: адсорбция, абсорбция, капиллярная конденсация	6
1.2. Физическая и химическая адсорбция	9
1.3. Изобара адсорбции	13
1.4. Методы оценки количества адсорбированного вещества	15
1.5. Экспериментальные методы изучения адсорбции на границе раздела газ - твердое тело	16
1.6. Теплоты адсорбции	19
1.7. Примеры решения задач на тему «Основные понятия термодинамики и кинетики сорбционного концентрирования»	23
1.8. Задачи для самостоятельного решения	24
1.9. Вопросы для самоконтроля	31
Глава 2. Изотермы сорбции	32
2.1. Классификация изотерм	32
2.2. Уравнения изотерм мономолекулярной сорбции на однородной поверхности	34
2.2.1. Изотерма Генри	34
2.2.2. Изотерма Лэнгмюра	36
2.2.3. Кинетический вывод изотермы Лэнгмюра	36
2.2.4. Статистико-термодинамический вывод изотермы Лэнгмюра	38
2.2.5. Соответствие экспериментальных данных уравнению Лэнгмюра	40
2.3. Изотерма мономолекулярной локализованной адсорбции Фаулера – Гугенгейма	42
2.4. Изотерма Киселева	43
2.5. Изотермы Фольмера, Амага, Гельфанда-Фриша-Лебовица	43
2.6. Изотерма Фрумкина, Хила – де Бура и Парсонса	44
2.7. Изотерма с вириальными коэффициентами	45
2.8. Изотерма Лоренца	45
2.9. Изотерма Бломгрена-Бокриса	46
2.10. Изотермы многоцентровой хемосорбции на не однородных поверхностях	46
2.11. Изотерма Фрейндлиха	47
2.12. Изотерма Темкина-Фрумкина-Шлыгина(логарифмическая)	51
2.13. Изотермы многоцентровой хемосорбции на однородных Поверхностях (диссоциативная или конкурентная адсорбция)	55
2.14. Применение уравнения Лэнгмюра для описания кинетики гетерогенных каталитических реакций	61
2.15. Примеры решения задач на тему «Изотермы сорбции»	64
2.16. Задачи для самостоятельного решения	72
2.17. Вопросы для самоконтроля	78
Глава 3. Изотермы полимолекулярной сорбции	79
3.1. Полимолекулярная теория Поляни	79
3.2. Теория полимолекулярной адсорбции. Изотерма БЭТ	82
3.3. Уравнение изотермы полимолекулярной сорбции Арановича	92

3.4. Теория полимолекулярной адсорбции на неоднородных поверхностях	94
3.5. Примеры решения задач на тему «Изотермы полимолекулярной сорбции»	98
3.6. Задачи для самостоятельного решения	103
3.7. Вопросы для самоконтроля	108
Глава 4. Адсорбция на пористых сорбентах	108
4.1. Характеристика пористых сорбентов	108
4.2. Классификация пор и пористых тел по различным признакам	110
4.3. Модельные виды пор и закономерности капиллярной конденсации на пористых сорбентах	112
4.4. Теория объемного заполнения микропор (ТОЗМ)	118
4.5. Определение размеров пор	124
4.6. Примеры решения задач на тему «Сорбция на пористых сорбентах»	124
4.7. Задачи для самостоятельного решения	129
4.8. Вопросы для самоконтроля	138
Глава 5. Кинетика сорбции	138
5.1 Скорость адсорбции и десорбции в модели Лэнгмюра	140
5.2 Скорость многоцентровой адсорбции	141
5.3 Уравнение Рогинского-Зельдовича	143
5.4 Сравнение уравнений Рогинского-Зельдовича с уравнениями хемосорбции на однородной поверхности многоатомных молекул	145
5.5 Уравнения для скорости адсорбции и десорбции Бэнхема–Барта, Квана	146
5.6. Методы расчета энергии активации адсорбции и десорбции	147
5.7 Примеры решения задач на тему «Кинетика сорбции»	149
5.8. Задачи для самостоятельного решения	155
5.9. Вопросы для самоконтроля	160
Глава 6. Методы определения поверхности твердых тел	160
6.1 Методы определения величины удельной активной и внешней поверхности твердых тел	160
6.1.1 Неадсорбционные методы определения удельной поверхности	161
6.1.2 Определение удельной поверхности на основании адсорбционных данных	163
6.2 Примеры решения задач на тему «Методы определения величины поверхности твердых тел»	172
6.3 Задачи для самостоятельного решения	174
6.4. Вопросы для самоконтроля	177
Глава 7. Сорбция на активированных углях	177
7.1 Общая характеристика углеродных сорбентов	177
7.2 Механизм сорбции ионов электролитов	180
7.3 Сорбция органических веществ на АУ	185
7.4. Примеры решения задач на тему «Сорбция на активированных углях»	187
7.5 Задачи для самостоятельного решения	193
7.6. Вопросы для самоконтроля	194
Литература	196
Содержание	199