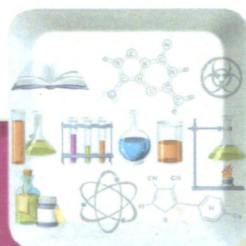
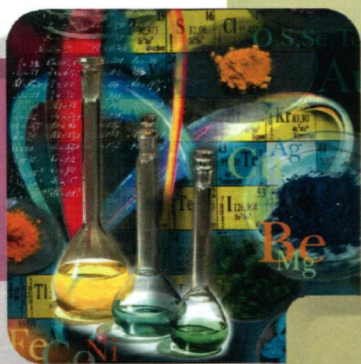


БАКАЛАВР. АКАДЕМИЧЕСКИЙ КУРС

Ю. Ю. Гавронская, В. Н. Пак

# КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ



СООТВЕТСТВУЕТ  
ПРОГРАММАМ  
ВЕДУЩИХ НАУЧНО-  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ШКОЛ

УМО ВО рекомендует

**Юрайт**  
издательство

[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

Ю. Ю. Гавронская, В. Н. Пак

# КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ  
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

*Рекомендовано Учебно–методическим отделом  
высшего образования в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по естественнонаучным  
направлениям и специальностям*

Книга доступна в электронной библиотечной системе  
[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

Москва ■ Юрайт ■ 2016

УДК 541.18(075.8)

ББК 24.6я73

Г12

**Авторы:**

**Гавронская Юлия Юрьевна** — профессор, доктор педагогических наук, кандидат химических наук, профессор кафедры химического и экологического образования факультета химии Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена;

**Пак Вячеслав Николаевич** — доктор химических наук, профессор кафедры неорганической химии факультета химии Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации.

**Рецензенты:**

*Балашев К. П.* — доктор химических наук, профессор кафедры неорганической химии факультета химии Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена;

*Сашина Е. С.* — доктор химических наук, профессор кафедры теоретической и прикладной химии Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна.

**Гавронская, Ю. Ю.**

Г12 Коллоидная химия : учебник и практикум для академического бакалавриата / Ю. Ю. Гавронская, В. Н. Пак. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 287 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

ISBN 978-5-9916-6429-5

Издание включает теоретические основы курса и практикум по коллоидной химии. Рассмотрены особенности коллоидного (дисперсного) состояния вещества, причины возникновения и особенности проявления поверхностных явлений, образование, устойчивость и методы изучения дисперсных систем, их место в природе, технике и повседневной жизни человека. Содержание структурировано по главам с нелинейным изложением учебного материала.

Учебник ориентирован на современные образовательные технологии и методики обучения, содействующие формированию общекультурных и профессиональных компетенций через обучение химии.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

*Для студентов академического и прикладного бакалавриата, специалитета, слушателей курсов повышения квалификации и программ профессиональной переподготовки.*

УДК 541.18(075.8)

ББК 24.6я73



*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».*

ISBN 978-5-9916-6429-5

© © Гавронская Ю. Ю., Пак В. Н., 2016  
© ООО «Издательство Юрайт», 2016

## Оглавление

<b>Предисловие .....</b>	<b>9</b>
<b>Глава 1. Коллоидная химия — физическая химия поверхностных явлений и дисперсных систем .....</b>	<b>12</b>
1.1. Введение в физическую химию поверхностных явлений и дисперсных систем .....	13
1.1.1. Возникновение науки о поверхностных явлениях и дисперсных системах. Коллоидная химия. Коллоидные растворы .....	13
1.1.2. Коллоидное состояние вещества .....	15
1.1.3. Объекты изучения физической химии поверхностных явлений и дисперсных систем .....	19
1.2. Особые свойства границы раздела фаз .....	20
1.2.1. Поверхностная энергия .....	20
1.2.2. Удельная поверхностная энергия и поверхностное натяжение .....	21
1.3. Краткий обзор поверхностных явлений .....	22
1.4. Общая характеристика дисперсных систем .....	25
1.4.1. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию фаз .....	25
1.4.2. Классификация дисперсных систем по взаимодействию между частицами .....	26
1.4.3. Классификация дисперсных систем по размерам дисперсной фазы .....	27
1.4.4. Классификация дисперсных систем по взаимодействию между дисперсной фазой и дисперсионной средой .....	30
1.5. Количественные характеристики дисперсных систем .....	31
1.5.1. Характерный размер .....	31
1.5.2. Дисперсность .....	33
1.5.3. Удельная поверхность .....	33
1.5.4. Полная избыточная поверхностная энергия системы .....	35
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	36
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	36
<i>Список дополнительной литературы</i> .....	36
<b>Глава 2. Получение и образование дисперсных систем .....</b>	<b>38</b>
2.1. Способы образования дисперсных систем .....	39
2.2. Диспергирование .....	40
2.2.1. Механические методы диспергирования .....	40
2.2.2. Ультразвуковой метод .....	43
2.2.3. Электрораспыление .....	44

2.3. Конденсационные методы .....	46
2.3.1. Методы физической конденсации.....	46
2.3.2. Методы химической конденсации.....	47
2.4. Пептизация .....	50
2.5. Строение мицеллы лиофобного золя .....	52
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>55</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>55</i>
<i>Список дополнительной литературы.....</i>	<i>56</i>
<b>Глава 3. Оптические свойства дисперсных систем.....</b>	<b>57</b>
3.1. Взаимодействие дисперсной системы со светом .....	58
3.2. Рассеяние света. Опалесценция. Эффект Тиндаля .....	59
3.3. Уравнение Рэля. Интенсивность рассеяния света и окраска дисперсных систем.....	62
3.4. Поглощение света и окраска дисперсных систем.....	64
3.5. Оптические методы исследования дисперсных систем .....	65
3.5.1. Оптическая микроскопия .....	65
3.5.2. Ультрамикроскопия и нефелометрия .....	67
3.5.3. Электронная микроскопия.....	70
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>73</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>73</i>
<i>Список дополнительной литературы.....</i>	<i>73</i>
<b>Глава 4. Устойчивость и коагуляция дисперсных систем .....</b>	<b>75</b>
4.1. Устойчивость дисперсных систем .....	76
4.2. Теория устойчивости дисперсных систем ДЛФО.....	78
4.3. Двойной электрический слой.....	80
4.3.1. Образование двойного электрического слоя на границе раздела фаз...80	
4.3.2. Строение двойного электрического слоя. Электрокинетический потенциал .....	82
4.3.3. Влияние электролитов на строение двойного электрического слоя...85	
4.4. Коагуляция зольных электролитами .....	88
4.4.1. Коагулирующее действие ионов. Порог коагуляции.....	88
4.4.2. Коагуляция при воздействии одноименного иона.....	88
4.4.3. Коагуляция при воздействии неоднородного иона.....	89
4.4.4. Коагуляция электролитами, содержащими многозарядный ион. Правило Шульце – Гарди.....	90
4.4.5. Перезарядка золя. Явление «неправильных рядов» коагуляции.....	91
4.4.6. Выбор наиболее эффективного электролита для коагуляции.....	93
4.5. Защита коллоидных частиц .....	94
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>95</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>95</i>
<i>Список дополнительной литературы.....</i>	<i>96</i>
<b>Глава 5. Электрокинетические явления .....</b>	<b>97</b>
5.1. Общая характеристика электрокинетических явлений.....	98
5.1.1. Взаимосвязь между электрокинетическими явлениями.....	98
5.1.2. Уравнение Гельмгольца – Смолуховского. Электроосмотическая и электрофоретическая подвижность.....	101

5.2. Электрофорез. Определение $\zeta$ -потенциала методом электрофореза.....	105
5.3. Электроосмос .....	106
5.4. Потенциал течения.....	108
5.5. Потенциал оседания .....	112
5.6. Особенности течения жидкости в капиллярных системах. Поверхностная проводимость.....	114
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	115
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	116
<i>Список дополнительной литературы.....</i>	116
<b>Глава 6. Адгезия и смачивание. Равновесие на искривленной границе раздела фаз .....</b>	<b>117</b>
6.1. Адгезия .....	118
6.1.1. Работа адгезии .....	118
6.1.2. Механизм процессов адгезии .....	121
6.1.3. Когезия .....	122
6.2. Жидкость на твердой поверхности.....	123
6.2.1. Смачивание и растекание .....	123
6.2.2. Краевой угол смачивания. Закон Юнга.....	124
6.2.3. Условия смачивания. Лиофильные и лиофобные поверхности.....	125
6.3. Особенности искривленной границы раздела фаз.....	128
6.3.1. Равновесие на искривленной поверхности .....	128
6.3.2. Капиллярное давление.....	130
6.4. Капиллярные явления .....	131
6.5. Уравнение Томсона (Кельвина).....	132
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	136
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	136
<i>Список дополнительной литературы.....</i>	136
<b>Глава 7. Адсорбция и адсорбционные свойства дисперсных систем....</b>	<b>137</b>
7.1. Адсорбция.....	138
7.1.1. Основные определения. Количественное выражение адсорбции ....	138
7.1.2. Физическая адсорбция и хемосорбция.....	140
7.1.3. Изотерма адсорбции .....	141
7.1.4. Теплота адсорбции .....	143
7.2. Фундаментальное уравнение адсорбции Гиббса.....	144
7.3. Адсорбция поверхностно-активных веществ на границе раздела «жидкость — газ» .....	146
7.3.1. Поверхностная активность. Поверхностно-активные и поверхностно-инактивные вещества.....	146
7.3.2. Строение адсорбционного слоя поверхностно-активных веществ ...	149
7.3.3. Вычисление параметров адсорбционного слоя поверхностно- активных веществ .....	151
7.4. Адсорбция на твердой поверхности .....	153
7.4.1. Особенности адсорбции на поверхности твердого тела.....	153
7.4.2. Математическое описание изотермы адсорбции. Теория и уравнение Ленгмюра.....	154
7.4.3. Теория полимолекулярной адсорбции. Уравнение Брунауэра — Эммета — Теллера.....	159

7.5. Адсорбция на пористых адсорбентах.....	163
7.5.1. Особенности адсорбции на пористых адсорбентах .....	163
7.5.2. Потенциальная теория адсорбции Поляни .....	164
7.5.3. Теория объемного заполнения микропор .....	166
7.5.4. Капиллярная конденсация .....	168
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>172</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>173</i>
<i>Список дополнительной литературы.....</i>	<i>173</i>
<b>Глава 8. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем.....</b>	<b>175</b>
8.1. Молекулярно-кинетические (коллигативные) свойства свободнодисперсных систем.....	176
8.2. Осмотическое давление коллоидных растворов .....	177
8.3. Броуновское движение .....	179
8.3.1. Теоретическое описание броуновского движения. Уравнение Эйнштейна – Смолуховского.....	180
8.3.2. Экспериментальные подтверждения количественной теории броуновского движения. Определение постоянной Авогадро .....	183
8.4. Седиментация .....	184
8.4.1. Седиментационная устойчивость .....	184
8.4.2. Скорость оседания частиц под действием силы тяжести.....	186
8.4.3. Седиментационно-диффузионное равновесие .....	187
8.5. Седиментационный анализ .....	190
8.5.1. Седиментационный анализ в гравитационном поле.....	190
8.5.2. Седиментационный анализ в центробежном поле.....	191
8.5.3. Определение молекулярной массы белков методом ультрацентрифугирования.....	193
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>194</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>195</i>
<i>Список дополнительной литературы.....</i>	<i>195</i>
<b>Глава 9. Лиофильные и структурированные системы .....</b>	<b>196</b>
9.1. Лиофильные дисперсные системы. Общая характеристика .....	197
9.2. Растворы высокомолекулярных соединений .....	199
9.2.1. Коллоидная химия высокомолекулярных соединений .....	199
9.2.2. Особенности строения молекул высокомолекулярных соединений.....	201
9.2.3. Растворение высокомолекулярных соединений .....	203
9.2.4. Вязкость растворов высокомолекулярных соединений .....	207
9.2.5. Высокомолекулярные соединения как полиэлектролиты. Изоэлектрическая точка.....	210
9.3. Поверхностно-активные вещества .....	212
9.3.1. Общая характеристика поверхностно-активных веществ .....	212
9.3.2. Мицеллообразование в растворах коллоидных поверхностно- активных веществ .....	215
9.3.3. Гидрофильно-липофильный баланс .....	218
9.3.4. Моющее действие поверхностно-активных веществ .....	219

9.4. Структурированные системы.....	221
9.4.1. Образование гелей и студней .....	221
9.4.2. Свойства гелей и студней .....	222
Вопросы и задания для самоконтроля.....	225
Задания для самостоятельной работы .....	226
Список дополнительной литературы.....	226
<b>Практикум .....</b>	<b>228</b>
П.1. Дисперсные системы. Количественные характеристики дисперсных систем .....	228
П.2. Строение мицеллы лиофобного золя. Способы получения зольей .....	232
П.3. Устойчивость и коагуляция зольей.....	235
П.4. Электрокинетические явления .....	237
П.5. Адгезия и смачивание. Равновесие на искривленной границе раздела фаз .....	240
П.6. Адсорбция и адсорбционные свойства дисперсных систем .....	243
П.7. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем .....	245
П.8. Седиментационная устойчивость дисперсных систем .....	248
<b>Лабораторные работы .....</b>	<b>251</b>
Л.1. Получение и свойства дисперсных систем .....	251
Л.2. Определение порогов коагуляции зольей электролитами .....	257
Л.3. Определение электрокинетического потенциала методом электрофореза.....	261
Л.4. Изучение адсорбции уксусной кислоты на поверхности активированного угля .....	264
Л.5. Изучение адсорбции алифатического спирта на границе «раствор – воздух» .....	267
Л.6. Седиментационный анализ суспензии.....	271
Л.7. Определение молекулярной массы ВМС по вязкости растворов .....	278
Л.8. Определение изоэлектрической точки ВМС .....	280
Л.9. Изучение критической концентрации мицеллообразования ПАВ....	283
<b>Заключение .....</b>	<b>286</b>
<b>Литература .....</b>	<b>287</b>