

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,  
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«30» августа 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Адсорбция и химия поверхности**

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки (специальность):**

04.04.01 Химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Физическая химия

**Форма обучения:**

очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №3 от 13.05.2019)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.04.01 «Химия» (программа магистратуры) в редакции приказа МГУ от 30 августа 2019 г., №1033.

Год (годы) приема на обучение 2019/2020, 2020/2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Индикатор достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p><b>СПК-1.М.</b> Способен использовать теоретические основы современных физико-химических методов исследования и анализа систем различной природы при решении практических задач</p>	<p><b>СПК-1.М.1.</b> При изучении систем различной природы выбирает физико-химические методы исследования, адекватные поставленной задаче</p>	<p><b>Знать:</b> основы современных теорий сорбционных процессов  <b>Знать:</b> научные основы и принципы работы физико-химических методов, применяемых для исследований многокомпонентных гетерогенных систем  <b>Уметь:</b> формулировать задачи планирования и анализа сложных сорбционных систем  <b>Уметь:</b> оценить возможные источники ошибок при изучении систем различной природы с помощью инструментальных методов физической химии.  <b>Владеть:</b> представлениями о способах физико-химического исследования сорбционных систем различных типов  <b>Владеть:</b> знаниями о закономерностях протекания сорбционных процессов в статических и в проточных системах.  <b>Владеть:</b> навыками обоснованного выбора средств решения задач современной физической химии и статистической обработки данных физико-химического эксперимента</p>
<p><b>СПК-2.М.</b> Способен проводить экспериментальные исследования в избранной области физической химии с использованием серийных и оригинальных установок для определения физико-химических свойств веществ</p>	<p><b>СПК-2.М.1.</b> Готовит образцы для физико-химических исследований в соответствии с поставленной задачей и с учетом специфики изучаемых объектов   <b>СПК-2.М.2</b> Использует серийные и оригинальные установки для определения физико-химических свойств веществ</p>	<p><b>Уметь:</b> грамотно спланировать физико-химический эксперимент  <b>Уметь:</b> готовить образцы для физико-химических исследований в соответствии с поставленной задачей и с учетом специфики изучаемых объектов   <b>Уметь:</b> квалифицированно выбирать методы для экспрессного и точного определения физико-химических характеристик сорбционных систем  <b>Владеть:</b> навыками работы на современном научном оборудовании для определения физико-химических свойств веществ и материалов  <b>Владеть:</b> навыками проведения экспериментальных исследова-</p>

<p><b>СПК-3.М.</b> Способен использовать физические и математические модели с учетом их возможностей и ограничений при планировании исследований, обработке и интерпретации данных в избранной области физической химии</p>	<p><b>СПК-3.М.1</b> Выбирает адекватные подходы и модели при обработке данных физико-химического эксперимента</p>	<p>ний в области физической химии поверхностей раздела фаз</p> <p><b>Знать:</b> научные основы и возможности процессов разделения, выделения и концентрирования веществ</p> <p><b>Владеть:</b> навыками анализа взаимосвязи между структурной и свойствами веществ различных классов и их способности к разным видам межмолекулярных взаимодействий.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками анализа взаимосвязи между закономерностями термодинамики и феноменологической кинетики с одной стороны и закономерностями процессов сорбции, разделения и концентрирования веществ.</p>
	<p><b>СПК-3.М.2.</b> Оценивает возможности и качество программных продуктов для выполнения квантовохимических, термодинамических и кинетических расчетов</p>	<p><b>Знать:</b> основные законы физической химии, которые лежат в основе процессов на границе раздела фаз и физико-химических исследований гетерогенных систем.</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать механизмы сорбционных процессов с применением основных законов химии, химической термодинамики и химической кинетики.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками компетентного анализа механизмов сорбционных и хемосорбционных процессов на поверхностях раздела газ-жидкость, газ-твердое тело, жидкость - твердое тело.</p>

3. Объем дисциплины (модуля) составляет **3** зачетных единицы, всего **108** часа, из которых **48** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (**19** часов занятия лекционного типа, **19** часов – занятия семинарского типа, **4** часа - индивидуальные консультации, **2** часа – групповая консультация, **4** часа – промежуточный контроль успеваемости), **60** часов составляет самостоятельная работа студента.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Обучающийся должен

**Знать:** основы теории фундаментальных разделов химии; основные законы химической термодинамики и химической кинетики. Место и роль поверхностных процессов на границе раздела фаз гетерогенных систем; понимать необходимость развития и разработки промышленно-важных химических процессов

**Уметь:** обобщать и систематизировать химические проблемы и понятия, теоретический материал; применять ранее усвоенный материал для решения новых задач

**Владеть:** навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации, выделения областей применимости законов и принципов, излагаемых в основных разделах химии

## 5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1. Природа адсорбционных сил. Причины адсорбции. Тепловой эффект адсорбции. Физическая адсорбция. Химическая адсорбция. Критерии физической и химической адсорбции. Изотермы, изобары и изостеры адсорбции.	<b>15</b>	4	4		1		<b>9</b>	6		<b>6</b>
Тема 2. Уравнения изотерм адсорбции Генри, Ленгмюра. Уравнение Фрейндлиха. Теория полимолекулярной адсорбции. Уравнение Брунауэра, Эммета, Теллера	<b>19</b>	5	5		1		<b>11</b>	8		<b>8</b>
Тема 3. Сопоставление адсорбции	<b>19</b>	5	5		1		<b>11</b>	8		<b>8</b>

на пористых и непористых адсорбентах. Классическая теория капиллярной конденсации. Капиллярная конденсация в реальных системах.										
Тема 4. Адсорбция в микропорах. Текстура микропор. Теория объемного заполнения микропор (ТОЗМ). Уравнения изотерм адсорбции ТОЗМ.	<b>19</b>	5	5		1		<b>11</b>	8		<b>8</b>
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	<b>36</b>			2		4	<b>4</b>			<b>30</b>
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>48</b>	<b>30</b>		<b>60</b>

#### 6. Образовательные технологии:

- применение компьютерных симуляторов, обработка данных на компьютерах, использование компьютерных программ, управляющих приборами;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

#### 7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Программа курса, план занятий. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов.

#### 8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Со всех компьютеров МГУ организован доступ к полным текстам научных журналов и книг на русском и иностранных языках. Доступ открыт по IP-адресам, логин и пароль не требуются: <http://nbmgu.ru/>

#### Основная литература

1. А. П. Карнаухов. Адсорбция; текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск. Наука. 1999.

2. С. Грег, К. Синг. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир. 1984.
3. А. В. Киселёв. Межмолекулярные взаимодействия в адсорбции и хроматографии. М.: Высшая школа. 1986.
4. А. А. Лопаткин. Теоретические основы физической адсорбции. М.: Изд-во МГУ. 1983.
5. Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии. Под ред. А.В.Киселева и В.П.Древинга. М., Изд-во МГУ, 1973, 448 с.

### Дополнительная литература

1. Курс физической химии под редакцией Я. И. Герасимова, М.: Издательство «Химия». Том 1, гл. 16–19. 1973.
2. Н. Н. Ангуль, А. В. Киселёв, Д. П. Пошкус. Адсорбция газов и паров на однородных поверхностях. М.: Химия. 1975.
3. Сборник «Современные проблемы физической химии» под ред. Я. М. Колотыркина, статья А. А. Лопаткина (1987).

**Материально-техническое обеспечение:** специальных требований нет, занятия проводятся в обычной аудитории, оснащенной доской и мелом (фломастерами)

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели:

Профессор, д.х.н. Ланин Сергей Николаевич, кафедра физической химии химического факультета МГУ,  
[SNLanin@phys.chem.msu.ru](mailto:SNLanin@phys.chem.msu.ru), 8-495-939-19-26

### Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - экзамена. На экзамене проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

### Вопросы для зачета:

1. Поверхность раздела фаз. Адсорбция. Динамический характер адсорбции. Терминология. Краткая историческая справка. Величина поверхности твердых тел. Адсорбционные явления в природе. Адсорбционные явления в технике. Адсорбция и катализ.
2. Природа адсорбционных сил. Адсорбция. Причины адсорбции. Тепловой эффект адсорбции. Адсорбционные силы. Физическая адсорбция. Потенциальная энергия взаимодействия при физической адсорбции. Особенности физической адсорбции. Адсорбционные силы.

3. Химическая адсорбция. Критерии физической и химической адсорбции. Количественное выражение величины адсорбции. Адсорбция как функция двух переменных. Изотермы, изобары и изостеры адсорбции.
4. Экспериментальные методы измерения величин адсорбции и теплот адсорбции. Объемный метод. Весовой метод. Адсорбционная установка с весами Мак-Бэна—Бакра.
5. Динамические методы изучения адсорбции. Принцип работы катарометра. Метод термической десорбции. Хроматографическая установка для определения удельной поверхности по методу термической десорбции. Импульсный метод.
6. Методы измерения теплот адсорбции. Изостерические теплоты. Калориметрические теплоты.
7. Уравнение изотермы адсорбции Генри. Уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра. Уравнение Фрейндлиха.
8. Теория полимолекулярной адсорбции. Уравнение Брунауэра, Эммета, Теллера (БЭТ). Форма экспериментальных изотерм адсорбции. Преимущественная форма изотерм физической адсорбции. Модель адсорбции БЭТ. Константы уравнения БЭТ.
9. Теория полимолекулярной адсорбции. Выполнимость уравнения БЭТ. Анализ допущений теории БЭТ. Влияние теплоты адсорбции во втором и последующих слоях. Блокирование поверхности адсорбционными слоями. Неоднородность поверхности реальных твердых тел.
10. Интегральные и дифференциальные теплоты адсорбции. Влияние неоднородности поверхности и взаимодействия молекул на ней на вид теоретических кривых дифференциальных теплот адсорбции. Сопоставление теоретических и экспериментальных теплот адсорбции.
11. Форма изотерм адсорбции на однородных поверхностях. Применимость уравнения БЭТ к модельным системам. Теоретический учет взаимодействия молекул. Заключение по теории БЭТ.
12. Уравнение изотермы полимолекулярной адсорбции Арановича.
13. Методы определения удельной поверхности твердых тел. Зависимость свойств твердых тел от развитости их поверхности. Понятия абсолютной и удельной поверхностей. Визуальные методы определения удельной поверхности. Определение удельной поверхности по скорости растворения. Измерение удельной поверхности по теплотам смачивания.
14. Метод БЭТ измерения удельной поверхности. Надежность определения емкости монослоя  $a_m$  и величины площади приходящейся на одну сорбированную молекулу  $w_m$ .
15. Сравнительные адсорбционные методы. Методы сравнения изотерм абсолютных величин адсорбции. Метод Дубинина и Заверинной. t-Метод де Бура и Липпенса.
16. Морфология пористых тел. Корпускулярные и губчатые системы. Классификация пористых систем по размерам пор. Морфология типичных пористых тел.
17. Капиллярная конденсация. Сопоставление адсорбции на пористых и непористых адсорбентах. Классическая теория капиллярной конденсации. Капиллярная конденсация в реальных системах. Характеристика кривизны различных поверхностей. Обобщенное уравнение Кельвина.
18. Причина капиллярно-конденсационного гистерезиса. Теория Коэна. Теория Мак-Бэна. Капиллярная конденсация в других моделях пор.



19. Обратимая конденсация без гистерезиса на изотермах. Необратимая капиллярная конденсация с гистерезисом на изотермах. Типы гистерезисных петель. О соотношении обратимой и необратимой капиллярной конденсации.
20. Теория объемного заполнения микропор (ТОЗМ). Уравнения изотерм адсорбции ТОЗМ.. Микропоры в силикагелях. Микропоры в активированных углях.

### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

<b>РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>	<b>ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ</b>
Знать: основы современных теорий сорбционных процессов Знать: научные основы и принципы работы физико-химических методов, применяемых для исследований многокомпонентных гетерогенных систем Знать: научные основы и возможности процессов разделения, выделения и концентрирования веществ Знать: основные законы физической химии, которые лежат в основе процессов на границе раздела фаз и физико-химических исследований гетерогенных систем.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете
Уметь: формулировать задачи планирования и анализа сложных сорбционных систем Уметь: оценить возможные источники ошибок при изучении систем различной природы с помо-	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете

<p>щью инструментальных методов физической химии.</p> <p>Уметь: грамотно спланировать физико-химический эксперимент</p> <p>Уметь: готовить образцы для физико-химических исследований в соответствии с поставленной задачей и с учетом специфики изучаемых объектов</p> <p>Уметь: квалифицированно выбирать методы для экспрессного и точного определения физико-химических характеристик сорбционных систем</p> <p>Уметь: анализировать механизмы сорбционных процессов с применением основных законов химии, химической термодинамики и химической кинетики.</p>	
<p>Владеть: представлениями о способах физико-химического исследования сорбционных систем различных типов</p> <p>Владеть: знаниями о закономерностях протекания сорбционных процессов в статических и в проточных системах.</p> <p>Владеть: навыками обоснованного выбора средств решения задач современной физической химии и статистической обработки данных физико-химического эксперимента</p> <p>Владеть: навыками работы на современном научном оборудовании для определения физико-химических свойств веществ и материалов</p> <p>Владеть: навыками проведения экспериментальных исследований в области физической химии поверхностей раздела фаз</p> <p>Владеть: навыками анализа взаимосвязи между структурной и свойствами веществ различных классов и их способности к разным видам межмолекулярных взаимодействий.</p> <p>Владеть: навыками анализа взаимосвязи между закономерностями термодинамики и феноменологической кинетики с одной стороны и закономерностями процессов сорбции, разделения и концентрирования веществ.</p> <p>Владеть: навыками компетентного анализа механизмов сорбционных и хемосорбционных процессов на поверхностях раздела газ-жидкость, газ-твердое тело, жидкость - твердое тело.</p>	<p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете</p>