

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)**  
**Фуллерены и нанотрубки**

**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> особенности молекулярного и электронного строения фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов<br/> <b>Знать:</b> химические свойства, физико-химические методы анализа фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов<br/> <b>Уметь:</b> выбирать стратегию синтеза производных фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов с требуемыми физико-химическими свойствами, а также методы определения их электронного, молекулярного и надмолекулярного строения</p> |
|  | <p><b>СПК-1.М.2</b> Грамотно интерпретирует результаты физико-химического эксперимента и теоретических расчетов</p>                                       | <p><b>Уметь:</b> применить теоретические основы современных физико-химических методов исследований для анализа продуктов функционализации фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов<br/> <b>Владеть:</b> навыками статистической обработки данных физико-химического эксперимента</p>   |
| <p><b>СПК-2. С.</b> Способен проводить экспериментальные исследования в избранной области физической химии (кинетика и катализ, химическая термодинамика, молекулярная спектроскопия, химия поверхности)</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</p> | <p><b>Уметь:</b> грамотно выбирать физико-химические методы анализа для определения строения и свойств фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов<br/> <b>Уметь:</b> готовить образцы для физико-химических исследований в соответствии с поставленной задачей и с учетом специфики изучаемых объектов<br/> <b>Владеть:</b> навыками интерпретации спектральных данных и расчетными методами для определения строения и свойств фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов</p> |

3. Объем дисциплины (модуля) составляет **3** зачетных единицы, всего **108** часов, из которых 54 часа составляет контактная работа студента с преподавателем (**19** часов занятия лекционного типа, **19** часа – занятия семинарского типа, **12** часов – индивидуальные консультации, **4** часа – промежуточный контроль успеваемости), **54** часа составляет самостоятельная работа студента.

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

Обучающийся должен

**знать:** основы теории фундаментальных разделов химии (прежде всего неорганической, аналитической, органической, физической, коллоидной химии, химии высокомолекулярных соединений, основные свойства химических элементов и их соединений); области применения, достоинства и недостатки различных спектроскопических методов анализа и принципы работы основных приборов, используемых для этих целей; основные законы и принципы квантовой механики молекул, моделей и методов расчета электронной структуры

**уметь:** применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных; ориентироваться в современной литературе по теории методов и их применению в различных областях науки и производства.

**владеть:** основными химическими теориями, концепциями, законами, описывающими физико-химические явления, применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных; теоретическими основами и практикой применения современных физико-химических методов исследования и анализа систем различной природы

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

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),<br><br>форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (часы) | В том числе   |                           |                        |                             |  |   |                             |                             |       |
|--|--------------|---|---------------------------|------------------------|-----------------------------|--|---|-----------------------------|-----------------------------|-------|
|  |              | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы<br>из них |                           |                        |                             |  | Самостоятельная работа обучающегося, часы<br>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. Аллотропные формы углерода   | 3            | 1   | 1                         |                        | 1                           |  | 3   | -                           |                             | -     |
| Тема 2. Методы синтеза фуллере-  | 7            | 2   | 2                         |                        | 1                           |  | 5   | 2                           |                             | 2     |

|  |    |   |   |  |   |   |   |   |  |    |
|--|----|---|---|--|---|---|---|---|--|----|
| НОВ  |    |   |   |  |   |   |   |   |  |    |
| Тема 3. Строение фуллеренов  | 7  | 2 | 2 |  | 1 |   | 5 | 2 |  | 2  |
| Тема 4. Основы номенклатуры фуллеренов   | 6  | 1 | 2 |  | 1 |   | 4 | 2 |  | 2  |
| Тема 5. Фуллерены в нейтральной и ионизированных состояниях в газовой и конденсированной фазах | 7  | 2 | 2 |  | 1 |   | 5 | 2 |  | 2  |
| Тема 6. Эндоздральные производные фуллеренов   | 6  | 2 | 1 |  | 1 |   | 4 | 2 |  | 2  |
| Тема 7. Олигомерные и полимеризованные формы фуллеренов  | 5  | 1 | 1 |  | 1 |   | 3 | 2 |  | 2  |
| Тема 8. Открытие углеродных нанотрубок и графена   | 7  | 2 | 2 |  | 1 |   | 5 | 2 |  | 2  |
| Тема 9. Методы изучения наноразмерных структур   | 7  | 2 | 2 |  | 1 |   | 5 | 2 |  | 2  |
| Тема 10. Строение и номенклатура углеродных нанотрубок и графенов.                             | 5  | 1 | 1 |  | 1 |   | 3 | 2 |  | 2  |
| Тема 11. Методы синтеза углеродных нанотрубок  | 7  | 2 | 2 |  | 1 |   | 5 | 2 |  | 2  |
| Тема 12. Синтез графенов   | 5  | 1 | 1 |  | 1 |   | 3 | 2 |  | 2  |
| Промежуточная аттестация экзамен   | 36 |   |   |  |   | 4 | 4 |   |  | 32 |

|              |            |           |           |  |           |          |           |           |  |           |
|--------------|------------|-----------|-----------|--|-----------|----------|-----------|-----------|--|-----------|
| <b>Итого</b> | <b>108</b> | <b>19</b> | <b>19</b> |  | <b>12</b> | <b>4</b> | <b>54</b> | <b>22</b> |  | <b>54</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):

Студентам предоставляется программа курса, план занятий, перечень домашних заданий, лекционные материалы и примеры решения задач. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы.

#### 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. Фуллерены: Учебное пособие/ Л.Н. Сидоров, М.А. Юровская и др. – М.: Издательство «Экзамен», 2005. – 688 с.
2. Фуллерены, углеродные нанотрубки и нанокластеры. Родословная форм и идей/ Е. А. Кац. - М.: «Либроком», 2009. – 296.
3. Графен и родственные наноформы углерода/ С. П. Губин, С. В. Ткачев.– М.: Издательство «Либроком», 2009. – 104.
4. Углеродные материалы. Свойства, технологии, применения: учебное пособие/ С. Колокольцев. – М.: Издательство «Интеллект», 2012. – 296.
5. Химия новых материалов и нанотехнологии: учебное пособие/ Б.Д. Фахельман. – М.: Издательство «Интеллект», 2011. – 463.

#### Дополнительная литература

1. Fullerenes. Chemistry and Reactions. / A. Hirsch, M. Brettreich. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005. – 441.

#### Интернет-ресурсы:

1. Библиотека структур фуллеренов, <http://www.nanotube.msu.edu/fullerene/fullerene-isomers.html>
2. Лекции J.R. Bleeke and R.F. Frey <http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/Fullerene/fullerene.html>
3. Web-страница Сэра Гарольда Крото <http://www.kroto.info/>

4. Углеродные нанотрубки: общая информация, генерация структур, релевантные сайты, <http://www.pa.msu.edu/cmp/csc/nanotube.html>, <http://nanotube.msu.edu/>
5. Графен: история открытия и области применения, <http://www.graphene.manchester.ac.uk/>

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

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели:

1. в.н.с., д.х.н., Горюнков Алексей Анатольевич, кафедра физической химии химического факультета МГУ, [aag@thermo.chem.msu.ru](mailto:aag@thermo.chem.msu.ru), тел. (495) 939-53-73
2. профессор, д.х.н. Сидоров Лев Николаевич, кафедра физической химии химического факультета МГУ, [sidorov@phys.chem.msu.ru](mailto:sidorov@phys.chem.msu.ru), тел. (495) 939-12-40

#### **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 экзамена**

1. Явление аллотропии; классификация аллотропных форм углерода; строение и свойства  $sp^3$ -,  $sp^2$ -,  $sp$ -форм углерода; фазовые диаграммы состояния углерода
2. Методы синтеза фуллеренов. Открытие бакминстерфуллерена, эндодральные фуллерены, новые формы углерода среди традиционных углеродных форм, методы лабораторного и промышленного синтеза фуллеренов (лазерное испарение, электродуговой синтез); механизм образования фуллеренов; выделение и очистка фуллеренов.
3. Строение фуллеренов. Топология и стабильность фуллеренов, угол пирамидализации, геометрическая, электронная и колебательная структура фуллеренов, теорема Эйлера, физические и спектроскопические свойства.
4. Основы номенклатуры фуллеренов. Тривиальная номенклатура, рекомендации IUPAC, канонический спиральный код.
5. Фуллерены в нейтральной и ионизированных состояниях в газовой и конденсированной фазах. Энергия сродства к электрону, энергия ионизации и электроотрицательность фуллеренов в газовой фазе; анионы и катионы фуллеренов в конденсированной фазе: методы получения, строение и свойства; фуллериды щелочных и щелочно-земельных металлов, интеркалированные фуллерены.

6. Эндоэдральные производные фуллеренов. Классы эндоэдральных фуллеренов; особенности строения; особенности взаимодействия центрального атома с углеродным каркасом; особенности изомерии эндоэдральных соединений; методы синтеза, выделения и очистки эндоэдральных фуллеренов; методы раскрытия фуллеренового каркаса; введение частиц в фуллереновый каркас; физические и химические свойства.
7. Олигомерные и полимеризованные формы фуллеренов. Фотополимеры и полимеры высокого давления, особенности строения и физико-химических свойств.
8. Открытие углеродных нанотрубок и графена. Эксперимент Иджимы, эксперимент Гейма и Новоселова, механические и электронные свойства, неуглеродные аналоги нанотрубок и графена.
9. Методы изучения наноразмерных структур. Информация получаемая традиционными методами (ИК, КР, ЯМР), масс-спектрометрия и микроскопия (растровая электронная микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия).
10. Строение и номенклатура углеродных нанотрубок и графенов. Закономерности строения углеродных нанотрубок, классификация нанотрубок, одностенные и многостенные углеродные нанотрубки; строение графенов.
11. Методы синтеза углеродных нанотрубок. Методы получения одностенных и многостенных нанотрубок; механизм роста углеродных нанотрубок; методы выделения и очистки углеродных одностенных и многостенных нанотрубок.
12. Синтез графенов. Методы синтеза сверху-вниз и снизу-вверх: механическое отслаивание, эпитаксиальный рост, разрезание нанотрубок; химические методы (восстановление оксидов графена, пиролиз органических производных).

### 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 не принципиального 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<br/>по дисциплине (модулю)</b>   | <b>ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ</b>   |
|--|---|
| <p><b>Знать:</b> особенности молекулярного и электронного строения фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов</p> <p><b>Знать:</b> химические свойства, физико-химические методы анализа фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов;</p>   | <p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p> |
| <p><b>Уметь:</b> выбирать стратегию синтеза производных фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов с требуемыми физико-химическими свойствами, а также методы определения их электронного, молекулярного и надмолекулярного строения;</p> <p><b>Уметь:</b> применить теоретические основы современных физико-химических методов исследований для анализа продуктов функционализации фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов;</p> <p><b>Уметь:</b> грамотно выбирать физико-химические методы анализа для определения строения и свойств фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов;</p> <p><b>Уметь:</b> готовить образцы для физико-химических исследований в соответствии с поставленной задачей и с учетом специфики изучаемых объектов.</p> | <p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p> |
| <p><b>Владеть:</b> навыками статистической обработки данных физико-химического эксперимента;</p> <p><b>Владеть:</b> навыками интерпретации спектральных данных и расчетными методами для определения строения и свойств фуллеренов, углеродных нанотрубок и графенов.</p>  | <p>мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене</p> |