

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,
акад. РАН, профессор



/В.В. Лунин/

«14» июня 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Углеродные наноструктуры

Уровень высшего образования:

Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки (специальность):

04.06.01 Химические науки

Направленность (профиль) ОПОП:

Физическая химия 02.00.04

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №4 от № 4 от 03 июня 2015 г.)

Москва 2015

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 «Химические науки» на основе Образовательного стандарта, самостоятельно установленного МГУ имени М.В.Ломоносова (далее – ОС МГУ), утвержденного Приказом № 552 от 23.06.2014 г. по МГУ с учетом изменений в ОС МГУ, внесенных Приказом №831 по МГУ от 31.08.2015 г..

Год (годы) приема на обучение 2014/2015, 2015/2016, 2016/2017, 2017/2018,
2018/2019, 2019/ 2020

1. Краткая аннотация:

Курс **Углеродные наноструктуры** посвящен химии и физико-химическим свойствам углеродных наноструктур и материалов на их основе. **Целью** курса является дать учащимся современный объем знаний по методам синтеза, особенностям молекулярного и электронного строения, физико-химическим свойствам, экспериментальным методам исследования, а также практическим приложениям углеродных наноструктур (фуллерены, углеродные нанотрубки, графены, наноалмазы, углеродные квантовые точки, а также комбинированные углеродные наноструктуры) и материалов на их основе. **Задачи** обучения направлены на приобретение учащимися следующих знаний и навыков: (1) знание методов синтеза, номенклатуры, строения, физико-химических свойств и методов анализа углеродных наноструктур и материалов на их основе, (2) умение выбирать и применять синтетические методики и физико-химические методы анализа для направленного синтеза углеродных наноструктур и определения их строения и физико-химических свойств, а также (3) обучение приемам работы с углеродными наноструктурами и методам их анализа.

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

3. Направление подготовки: **04.06.01** Химические науки, направленность: Физическая химия

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок 1 «Дисциплины (модули)»

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
СПК-1 Способен проводить комплексные исследования структурных, термодинамических и кинетических характеристик систем разной природы с использованием современных экспериментальных	Знает: систематику, методы получения и анализа, особенности молекулярного и электронного строения, основные физико-химические свойства углеродных наноструктур. Знает: современное состояние дел в области химии углеродных наноструктур, представляющих интерес для создания новых функциональных материалов. Умеет: подбирать методы определения строения и физико-химических свойств углеродных наноструктур.

методов	<p>Умеет: выявлять взаимосвязь между особенностями строения и физико-химическими свойствами углеродных наноструктур.</p> <p>Умеет: генерировать новые идеи и формулировать гипотезы, связанные с созданием новых материалов на основе углеродных наноструктур с заданными физико-химическими свойствами</p> <p>Владеет: основными навыками интерпретации данных молекулярной спектроскопии и микроскопии для определения особенностей электронного, молекулярного и надмолекулярного строения углеродных наноструктур и их ионов</p>
---------	---

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет **3** зачетных единицы, всего **108** часов, из которых **54** часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (**46** часов занятий лекционного типа и **8** часов мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), **54** часа составляет самостоятельная работа учащегося.

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

В специалитете или бакалавриате и магистратуре должны быть освоены общие курсы: "Аналитическая химия", "Органическая химия", "Неорганическая химия", "Физическая химия", "Математический анализ", "Теория вероятностей", "Уравнения математической физики", "Механика /электричество", "Колебания и волны/Оптика", "Элементы строения вещества"

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (мо-	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 консульта- ции	Индивидуальные кон- сультации	Учебные за- нятия, на- правленные на проведение текущего кон- троля успе- ваемости, промежуточ- ной аттеста- ции	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Все- го
<i>Тема 1.</i>	4	2					2	2		2
<i>Тема 2.</i>	8	4					4	4		4
<i>Тема 3.</i>	8	4					4	4		4
<i>Тема 4.</i>	20	10					10	10		10
<i>Тема 5.</i>	12	6				2	8	4		4
<i>Тема 6.</i>	8	4					4	4		4
<i>Тема 7.</i>	10	4				2	6	4		4
<i>Тема 8.</i>	8	4					4	4		4
<i>Тема 9.</i>	8	4					4	4		4
<i>Тема 10.</i>	10	4				2	6	4		4
Промежуточная аттестация: зачет	12					2	2	10		10
ИТОГО	108	46				8	54	54		54

Содержание разделов:

Тема 1. Классификация аллотропных форм углерода (строение и свойства sp^3 -, sp^2 -, sp -форм углерода. Фазовые диаграммы углерода. Методы получения аллотропных форм углерода).

Тема 2. Методы синтеза фуллеренов и их строение. Основы номенклатуры фуллеренов и их производных.

Тема 3. Фуллерены в ионизированном состоянии в газовой и конденсированной фазах: синтез, энергетика, электронное и молекулярное строение. Электрохимия, спектроскопия ЭПР и оптические спектры ионов фуллеренов.

Тема 4. Гидриды, оксиды, галогениды фуллеренов: синтез, строение, свойства, методы анализа. Закономерности присоединения одноатомных групп.

Тема 5. Функциональные производные фуллеренов. Региохимия нуклеофильного, электрофильного и циклоприсоединения. Кинетический и термодинамический контроль.

Тема 6. Гомо- и гетерофуллерены: методы синтеза, особенности молекулярного и электронного строения.

Тема 7. Эндоздральные производные фуллеренов. Взаимодействие эндоздрального кластера с углеродным каркасом. Молекулярная хирургия: методы раскрытия и введения частиц в фуллереновый каркас.

Тема 8. Наноалмазы и углеродные квантовые точки: особенности строения, методы синтеза и анализа. Определение размерных характеристик: РФА, ДСР, АСМ, СЭМ, ПЭМ. Методы функционализации и физико-химические и оптические свойства.

Тема 9. Углеродные нанотрубки: номенклатура, особенности строения, методы синтеза и анализа. Химия на дефектах и функционализация стенок. Электронные и электрофизические свойства.

Тема 10. Графен и оксид графена: номенклатура, строение, методы синтеза и анализа. Механические и электронные свойства. Химическая активность: дефекты и базальная плоскость. Устройства на основе графена. Композиты на основе графена и оксида графена.

9. Образовательные технологии:

Проводятся традиционные лекции с использованием мультимедийных презентаций; интерактивные лекции, в ходе которых аспиранты под контролем лектора выполняют задания, способствующие практическому усвоению лекционного материала; лекции-демонстрации проблемного характера, посвященные приемам выполнения различных этапов структурного анализа. Демонстрации составлены на основе результатов исследований, проведенных авторами программы дисциплины.

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

Аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

11. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной, вспомогательной и периодической литературы ко всему курсу

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.
2. Применение высокоэффективной жидкостной хроматографии для анализа и разделения фуллеренов и их производных/ А.А. Горюнков, Н.Б. Тамм, М.: Отдел оперативной печати и информации Химического факультета МГУ. 2010
3. Применение масс-спектрометрии матрично-активированной лазерной десорбции/ионизации к фуллеренам и их производным/ В.Ю. Марков, Л.Н. Сидоров. М.: Отдел оперативной печати и информации Химического факультета МГУ. 2009

Периодическая литература:

1. Л.Н. Сидоров, С.И. Троянов. На пороге новой химии фуллеренов. Природа. 2011. т. 9, с. 22-30.
2. Д.В. Игнатьева, С.И. Троянов, Л.Н. Сидоров. Внешнесферные и скелетные перегруппировки в молекулах производных фуллеренов. Успехи химии. 2011. т. 80 № 7. с. 663-678.
3. Н.Б. Тамм, Л.Н. Сидоров, С.И. Троянов. Исследования в области высших фуллеренов. Вестн. Моск. Ун-та, Серия 2, Химия 2009. т. 50. с. 411-427.
4. Л.Н. Сидоров, О.В. Болтали. Эндоэдральные металлопроизводные и экзоэдральные фторпроизводные фуллеренов. Усп. Химии. 2002. т. 71 с. 611-640.
5. Э.Г. Раков. Методы получения углеродных нанотрубок. Усп Химии. 2000. т. 69. с. 41-59.

6. F. Bonaccorso, A. Lombardo, T. Hasan, Zh. Sun, L. Colombo, A.C. Ferrari, Production and processing of graphene and 2d crystals. *Mat. Today.*, 2012. т. 2012. с. 564-589.
7. A. Deshpande, B.J. LeRoy. Scanning probe microscopy of graphene. *Physica E.* 2012. т. 44. с. 743-759.
8. M.F. Craciun, S. Y. Russo, M. Yamamoto, S. Tarucha. Tuneable electronic properties in graphene. *Nano Today.* 2011. т. 6. с. 42-60
9. M.E. Itkis, D.E. Perea, R. Jung, S. Niyogi, R.C. Haddon. Comparison of Analytical Techniques for Purity Evaluation of Single-Walled Carbon Nanotubes. *J. Am. Chem. Soc.* 2005. т. 127. с. 3439-3448.
10. U.J. Kim, C.A. Furtado, X. Liu, G. Chen, P.C. Eklund. Raman and IR Spectroscopy of Chemically Processed Single-Walled Carbon Nanotubes. *J. Am. Chem. Soc.* 2005. т. 127. с. 15437-15445.
11. R. Marega, V. Aroulmoji, F. Dinon, L. Vaccari, S. Giordani, A. Bianco, E. Murano, M. Prato. Diffusion-Ordered NMR Spectroscopy in the Structural Characterization of Functionalized Carbon Nanotubes. *J. Am. Chem. Soc.* 2009. т. 131. с. 9086–9093.
12. V. Georgakilas, J.A. Perman, J. Tucek, R. Zboril. Broad Family of Carbon Nanoallotropes: Classification, Chemistry, and Applications of Fullerenes, Carbon Dots, Nanotubes, Graphene, Nanodiamonds, and Combined Superstructures. *Chem. Rev.*, 2015, 115, 4744–4822.

Перечень информационных технологий и ресурсов, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы:

- Библиотека структур фуллеренов: <http://www.nanotube.msu.edu/fullerene/fullerene-isomers.html>
- Лекции J.R. Bleeke and R.F. Frey <http://www.chemistry.wustl.edu/~edudev/Fullerene/fullerene.html>
- Web-страница Сэра Гарольда Крото <http://www.kroto.info/>
- Углеродные нанотрубки: общая информация, генерация структур, релевантные сайты: <http://www.pa.msu.edu/cmp/csc/nanotube.html>, <http://nanotube.msu.edu/>
- Графен: история открытия и области применения: <http://www.graphene.manchester.ac.uk/>

Материально-техническое обеспечение: занятия проводятся в обычной аудитории с возможностью подключения техники для демонстрации презентаций

12. Язык преподавания – русский

13. Преподаватели:

Доктор химических наук, ведущий научный сотрудник Горюнков Алексей Анатольевич, кафедра физической химии химического факультета МГУ, aag@thermo.chem.msu.ru, тел. (495) 939-53-73

Доктор химических наук, профессор Сидоров Лев Николаевич, кафедра физической химии химического факультета МГУ, sidorov@phys.chem.msu.ru, тел. (495) 939-12-40

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

1. Планируемые результаты обучения приведены в п.5.

Образцы контрольных вопросов для промежуточной аттестации - **зачета**:

1. Классификация аллотропных форм углерода. Строение и свойства sp^3 -, sp^2 -, sp -форм углерода. Методы получения аллотропных форм углерода.
2. Методы лабораторного и промышленного синтеза фуллеренов. Механизм образования фуллеренов. Молекулярное строение фуллеренов. Угол пирамидализации. Теорема Эйлера и её следствия для фуллеренов.
3. Номенклатура фуллеренов. Фуллероиды. Канонический спиральный код.
4. Электронное строение фуллеренов. Энергия сродства к электрону и энергия ионизации фуллеренов. Ионы фуллеренов в конденсированной фазе: методы получения, строение и свойства.
5. Строение и методы синтеза гидридов фуллеренов. Химические свойства гидридов фуллеренов.
6. Строение и методы получения галогенфуллеренов. Перегруппировка Стоуна-Вэлса. Химические свойства галогенфуллеренов.
7. Кислородсодержащие производные фуллеренов: строение, методы синтеза и химические свойства.
8. Строение и методы синтеза перфторалкилфуллеренов. Синтез и строение дифторметиленфуллеренов. Химия фторсодержащих производных фуллеренов.
9. Закономерности присоединения простых аддендов к фуллеренам.
10. Реакции нуклеофильного присоединения в химии фуллеренов. Электронное строение анионных интермедиатов. Присоединение C-нуклеофилов. Нуклеофильное присоединение в присутствии окислителя. Реакция Бингеля. Нуклеофильное циклопропанирование. Реакция с N-нуклеофилами.
11. Реакция циклоприсоединения в химии фуллеренов. Ретро-реакция Дильса-Альдера. Темплатный синтез. Реакция Прато.

12. Особенности молекулярного и электронного строения гомофуллеренов. Методы получения и химические свойства гомофуллеренов. Раскрытие фуллеренового каркаса. Методы синтеза и химические свойства азафуллеренов.
13. Методы синтеза и особенности строения эндоэдральных фуллеренов. Специфика химии эндоэдральных производных фуллеренов.
14. Особенности строения и методы синтеза одностенных и многостенных углеродных нанотрубок (УНТ). Механизм роста. Электронные свойства УНТ. Физико-химические методы анализа УНТ.
15. Методы ковалентной и нековалентной функционализации углеродных нанотрубок. Химия на дефектах. Физико-химические методы анализа производных УНТ.
16. Методы получения и особенности строения графена. Механические и электронные свойства графена. Физико-химические методы анализа графена. Химическая активность графена: дефекты и базальная плоскость. Химия на точке Дирака.
17. Получение оксида графита. Строение оксида графита и оксида графена (ОГ). Методы функционализации ОГ. Композиты на основе ОГ.

Текущий контроль усвоения материала проводится в виде беседы (коллоквиума) по вопросам зачета

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет происходит в форме индивидуального собеседования по перечисленным в списке вопросам. На зачете производят проверку степени систематических представлений о номенклатуре, методах синтеза, особенностях молекулярного и электронного строения, а также методах анализа углеродных наноструктур. Достижение результатов обучения проверяют по ответам минимум на три вопроса (основные вопросы). В зависимости от ответов на основные вопросы аспиранту могут быть предложены и дополнительные вопросы.

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

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
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