

**Программа утверждена на заседании
Ученого Совета химического факультета
Протокол № 4 от 3 июня 2015 г**

Декан химического факультета,
Акад. РАН, профессор



/В.В. Лунин/

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Наименование дисциплины (модуля):

Углеродные наноструктуры

Курс 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, Физико-математические 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	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p>ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p>ОПК-1.1 систематизирует знания в выбранной области химии или смежных областях науки; ОПК-1.2 разрабатывает или совершенствует концепции, теории и методы, применяемые в химии и смежных науках;</p>	<p>Знает: современное состояние дел в области химии углеродных наноструктур, представляющих интерес для создания новых функциональных материалов. Умеет: генерировать новые идеи и формулировать гипотезы, связанные с созданием новых материалов на основе углеродных наноструктур с заданными физико-химическими свойствами</p>
<p>СПК-1 Способен проводить комплексные исследования структурных, термодинамических и кинетических характеристик систем разной природы с использованием современных экспериментальных методов</p>	<p>СПК-1.1 на основе анализа литературных данных предлагает методологию экспериментального исследования физико-химических свойств систем разной природы с учетом особенностей изучаемых объектов и имеющихся ресурсов СПК-1.2 выполняет физико-химические исследования с использованием комплекса экспериментальных методов для получения максимально полной и достоверной информации об изучаемом объекте</p>	<p>Знает: систематику, методы получения и анализа, особенности молекулярного и электронного строения, основные физико-химические свойства углеродных наноструктур. Умеет: подбирать методы определения строения и физико-химических свойств углеродных наноструктур. Умеет: выявлять взаимосвязь между особенностями строения и физико-химическими свойствами углеродных наноструктур. Владеет: основными навыками интерпретации данных молекулярной спектроскопии и микроскопии для определения особенностей электронного, молекулярного и надмолекулярного строения углеродных наноструктур и их ионов.</p>

Тема 1. Классификация аллотропных форм углерода (строение и свойства sp^3 -, sp^2 -, sp -форм углерода. Фазовые диаграммы углерода. Методы получения аллотропных форм углерода).	4	2					2	2		2
Тема 2. Методы синтеза фуллеренов и их строение. Основы номенклатуры фуллеренов и их производных.	8	4					4	4		4
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.	8	4					4	4		4
Тема 4. Гидриды, оксиды, галогениды фуллеренов: синтез, строение, свойства, методы анализа. Закономерности присоединения одноатомных групп.	20	10					10	10		10
Тема 5. Функциональные производные фуллеренов. Региохимия нуклеофильного, электрофильного и циклоприсоединения. Кинетический и термодинамический контроль.	12	6				2	8	4		4

<i>Тема 6. Гомо- и гетерофуллерены: методы синтеза, особенности молекулярного и электронного строения.</i>	8	4					4	4		4
<i>Тема 7. Эндоэдральные производные фуллеренов. Взаимодействие эндоэдрального кластера с углеродным каркасом. Молекулярная хирургия: методы раскрытия и введения частиц в фуллереновый каркас.</i>	10	4				2	6	4		4
<i>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.</i>	8	4					4	4		4
<i>Тема 9. Углеродные нанотрубки: номенклатура, особенности строения, методы синтеза и анализа. Химия на дефектах и функционализация стенок. Электронные и электрофизические свойства.</i>	8	4					4	4		4

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.	10	4				2	6	4		4
Промежуточная аттестация: зачет	12					2	2	10		10
ИТОГО	108	46				8	54	54		54

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. Оценочные материалы для проверки результатов обучения по дисциплине (модулю)

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 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
-------------------	--------------------	---------------------------	--	--

Типовые задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, методические материалы, определяющие процедуры оценивания приведены в разделе Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
Знает: современное состояние дел в области химии углеродных наноструктур, представляющих интерес для создания новых функциональных материалов.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете
Умеет: генерировать новые идеи и формулировать гипотезы, связанные с созданием новых материалов на основе углеродных наноструктур с заданными физико-химическими свойствами	устный опрос на зачете
Знает: систематику, методы получения и анализа, особенности молекулярного и электронного строения, основные физико-химические свойства углеродных наноструктур.	мероприятия текущего контроля успеваемости
Умеет обоснованно выбирать методы определения строения и физико-химических свойств углеродных наноструктур.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете
Умеет: выявлять взаимосвязь между особенностями строения и физико-химическими свойствами углеродных наноструктур.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете
Владеет: основными навыками интерпретации данных молекулярной спектроскопии и микроскопии для определения особенностей электронного, молекулярного и надмолекулярного строения углеродных наноструктур и их ионов.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете

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

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

12. 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/>

13. Язык преподавания – русский

14. 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

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачета. На зачете проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных 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 циклопропа-нирование. 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 эндодральных фуллеренов. Специфика химии эндодральных 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.