

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)**

**Синтез и свойства неорганических веществ  
и функциональных материалов**

**Уровень высшего образования:**  
Магистратура

---

**Направление подготовки (специальность):**

04.04.01 Химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Неорганическая 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-2.М</b> Способен применять кристаллохимические, термодинамические и кинетические представления для проведения направленного неорганического синтеза, владение как классическими, так и новейшими методами синтеза для получения неорганических веществ и материалов с заданной морфологией, микроструктурой, дисперсностью, включая монокристаллы, наночастицы, аморфные фазы и пленки</p>	<p><b>СПК-2.М.2</b> Применяет аппарат физической химии для оптимизации условий проведения направленного неорганического синтеза</p>	<p><b>Уметь:</b> критически анализировать, обобщать и применять научную информацию о фазовых равновесиях, реакционной способности и физических свойствах неорганических веществ, с целью оптимизации экспериментальных условий направленного синтеза неорганических соединений и материалов с определенным строением и свойствами</p>
<p><b>СПК-4.М</b> Владеет основным терминологическим и понятийным аппаратом современного неорганического материаловедения; знанием основных классов функциональных материалов, методов их получения, взаимосвязи структуры и свойств, умением анализировать и предлагать способы получения функциональных материалов с заданными свойствами, выбирать оптимальные материалы для дизайна устройств с заданным функционалом</p>	<p><b>СПК-4.М.1</b> Предлагает способы получения функциональных материалов с заданными свойствами с учетом имеющихся ресурсов</p>	<p><b>Уметь:</b> выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению неорганических веществ и материалов  <b>Владеть:</b> информацией о возможностях методов, их точности и ограничениях, иметь представление о приемах подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.</p>
<p><b>СПК-5.М</b> Способен обоснованно выбирать и применять современные методы исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов, знание теоретических основ этих методов и основных принципов работы приборов для выбора параметров проведения эксперимента, обработки и интерпретации полученных результатов</p>	<p><b>СПК-5.М.1</b> Предлагает методы исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов, адекватные поставленной задаче</p>	<p><b>Знать</b> возможности и ограничения методов получения неорганических веществ и материалов из газовой фазы, раствора и твердой фазы, понимать роль термодинамики и кинетики процессов синтеза, возможности и ограничения управления составом и структурой в процессе синтеза.  <b>Знать:</b> основные виды опасностей при работе в химической лаборатории, правила техники безопасности при работе с химическими реактивами, ЛВЖ, ва-</p>

		<p>куумными установками, баллонами со сжатыми газами и сосудами под давлением, криогенными сосудами, электрическими установками, высокотемпературными печами.</p> <p><b>Уметь</b> находить релевантные методы синтеза и исследования, применять основные законы химии при анализе полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных</p>
--	--	--

3. Объем дисциплины (модуля) составляет **2** зачетных единицы, всего **72** часа, из которых **59** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (19 часов занятия лекционного типа, 38 часов – занятия семинарского типа, 2 часа – промежуточный контроль успеваемости), **13** часов составляет самостоятельная работа студента.

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

Требуется освоение дисциплин «Неорганическая химия», «Общая физика», «Элементы строения вещества», «Физическая химия», «Кристаллохимия» в объеме, преподаваемом на Химическом факультете МГУ.

Обучающийся должен

**Знать:** химические свойства неорганических соединений и основные закономерности в их изменении, основные законы физики, основные операторы физических величин, основы учения о фазовых равновесиях, основные подходы к описанию строения вещества.

**Уметь:** применять знания вышеуказанных разделов для описания химических объектов и их взаимодействий.

**Владеть:** современными представлениями о строении вещества и факторах, влияющих на возможность протекания химических реакций.

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

		Занятия лекци- онного типа	Занятия семинар- ского типа	Групповые кон- сультации	Индивидуальные консультации	Учебные заня- тия, направ- ленные на про- ведение теку- щего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение до- машних заданий	Подготовка рефе- ратов и т.п..	Всего
Раздел 1.	<b>27</b>	9	18				<b>27</b>			
Раздел 2.	<b>30</b>	10	20				<b>30</b>			
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	<b>15</b>					2	<b>2</b>			<b>13</b>
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>19</b>	<b>38</b>			<b>2</b>	<b>59</b>			<b>13</b>

Содержание пазделов:

Раздел 1. Направленный синтез неорганических соединений. Синтез соединений с заданным характером структуры.

Особенности синтетического подхода для синтеза различных классов соединений: фториды, оксиды, селенит- и теллуриг-галогениды, нитраты и нитратные комплексы, металлорганические каркасные соединения.

Основы метода химического транспорта.

Раздел 2. Неорганические материалы для энергетики. Электрохимические накопители энергии: виды, конструкции, основные характеристики. Первичные и вторичные химические источники тока (ХИТ): классификация и основные характеристики.

Электролиты и электроды для ХИТ. Альтернативные литиевые системы и натрий-ионные аккумуляторы.

Типы топливных элементов (ТЭ) и их классификация. Преимущества и недостатки различных типов ТЭ. Материалы компонентов различных типов ТЭ.

Материалы компонентов высокотемпературных ТОТЭ (катод, анод, электролит, элементы коммутации). Основные электрохимические методы исследования: потенциостатические, потенциодинамические, гальваностатические, спектроскопия импеданса.

6. Образовательные технологии:

-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):

Курс имеет электронную версию для презентации. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования. Занятия могут проходить на русском или английском языках. Для самоподготовки предлагается список вопросов по каждой теме, контрольные задания и перечень вопросов к зачету.

#### 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. Уэллс. Структурная неорганическая химия, М., Мир, 1987, т.1, 2.
2. А.С. Фиалков. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе, М., Аспект Пресс, 1997, 330 с.
3. Р. Хоффман, Строение твердых тел и поверхностей: взгляд химика-теоретика, М., Мир, 1990.
4. Э. Юсти, А. Винзель. Топливные элементы. Мир, Москва, 1964.
5. В.С. Багоцкий, А.М. Скундин. Химические источники тока. Энергоиздат, Москва, 1981.
6. А.К. Иванов-Шиц, И.В. Мурин. Ионика твердого тела. Том I. Изд-во СПб университета, 2000.

#### Дополнительная литература

1. Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths Vol.35 edited by K.A.Gschneidner, Jr., 3. J.-C.G.Bünzli and V.K. Pecharsky 2005 Elsevier B.V. DOI:10.1016/S0168-1273(05)35005-7 Mathias S.Wickleder Oxo-selenates of rare earth elements p 45-107
2. B. E. Conway. Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications. Springer, 1999.
3. Advanced batteries. Edited by R.Huggins. Springer, 2009.
4. Linden's Handbook of Batteries, 4th Edition. Edited by T.B.Reddy. McGraw-Hill, 2010.
5. Lithium Batteries: Advanced Technologies and Applications. Edited by B. Scrosati, K.M. Abraham, W. Van Schalkwijk, J. Hassoun. JohnWiley&Sons, 2013.
6. J. C. Larminie, A. Dicks. Fuel Cell Systems Explained, John Wiley and Sons Ltd, New York, 2nd edn, 2003.
7. High Temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Applications. (Eds. S.C. Singhal, K. Kendall). Elsevier, Oxford, U.K., 2003.

#### Периодическая литература

1. Н.В. Подберезская, С.А.Магарилл, Н.В. Первухина, С.В. Борисов «Кристаллохимия дихалькогенидов состава  $MX_2$ », Журн. структурной химии, 2001, т. 42, №4, с. 783-817.
2. Г.Б. Дубровский «Закономерности образования политипных структур в слоистых дихалькогенидах металлов». Физика твердого тела, 2003, т.45, №9, с. 1590-1592.
3. В.А.Долгих, Л.Н.Холодковская. Кристаллохимия слоистых оксогалогенидов и оксохалькогенидов металлов (фазы Силлена). Журнал неорганической химии, 37, 5, 970 (1992)

4. A.M.Kusainova, P.S.Berdonosov, L.N.Kholodkovskaya, V.A. Dolgikh, B.A.Popovkin. New layered compounds with the general composition (MO)(CuSe), where M = Bi, Nd, Gd, Dy, and BiOCuS: syntheses and crystal structure. *Journal of solid state chemistry*, 1994, v.112, p.189 .
5. Ю.А.Изюмов, Э.З.Курмаев. Новый класс высокотемпературных сверхпроводников в FeAs-системах. *УФН*, 2008, Т.172, с. 1308-1334
6. Charkin D.O. *Russ. J. Inorg. Chem.* 2008. V. 53 (Suppl.). P. 1977 – 1996.
7. Schaak R.E., Mallouk T.E. *Chem. Mater.* 2002. V. 14. P. 1455–1471
8. Nathaniel L. Rosi, Jaheon Kim, Mohamed Eddaoudi, Banglin Chen, Michael O’Keeffe and Omar M. Yaghi. Rod Packings and Metal-Organic Frameworks Constructed from Rod-Shaped Secondary Building Units. *J. Am. Chem. Soc.*, 2005, 127, 1504-1518.
9. S. B. Choi, H. Furukawa, H. J. Nam, D. Y. Jung, Y. H. Jhon, A. Walton, D. Book, M. O’Keeffe, O. M. Yaghi, J. Kim. Reversible interpenetration in a metal-organic framework triggered by ligand removal and addition. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2012, 51, 8791-8795.
10. D. J. Tranchemontagne, K. S. Park, H. Furukawa, J. Eckert, C. B. Knobler, O. M. Yaghi. Hydrogen Storage in New Metal-Organic Frameworks. *J.Phys. Chem. C*, 2012, 116, 13143-13151.
11. С.Я. Истомин, Е.В. Антипов, Катодные материалы на основе перовскитоподобных оксидов переходных металлов для среднетемпературных твердооксидных топливных элементов, *Успехи химии*. 2013. Т.82. № 7. С. 686-700.

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

#### 9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели: Долгих Валерий Афанасьевич, д.х.н., ведущий научный сотрудник; Морозов Игорь Викторович д.х.н., ведущий научный сотрудник; Бердонос Петр Сергеевич, к.х.н., доцент; Карпова Елена Владимировна, к.х.н., доцент; Алёшин Владимир Алексеевич, д.х.н., доцент; Чаркин Дмитрий Олегович, к.х.н., доцент; Фёдорова Анна Александровна, к.х.н., доцент; Истомин Сергей Яковлевич, к.х.н., доцент; Хасанова Нелли Ракиповна, к.х.н., ведущий научный сотрудник; Дрожжин Олег Андреевич, к.х.н., старший научный сотрудник; Иткис Даниил Михайлович, к.х.н., старший научный сотрудник.

### **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.2.

### **Вопросы для самостоятельной работы и подготовки к зачету:**

#### **Раздел 1. Направленный синтез неорганических соединений.**

1. Определение понятия «слоистая кристаллическая структура». Общие черты строения слоистых кристаллических фаз.

2. Принципы дизайна слоистых структур, совмещающих разные типы слоев.
3. Гетеровалентное замещение в структурах  $\text{LnOCuX}$ , зависимость электрофизических свойств твердых растворов  $(\text{La}_{1-x}\text{CaO}_x)(\text{Cu}_{1-x}\text{M}_x\text{S})$  от состава ( $\text{M} = \text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Zn}$ ).
4. Кристаллографический, кристаллохимический и модульный подходы к прогнозу новых кристаллических структур и анализу взаимосвязей между составом, структурами и свойствами. Критерии совместимости слоев как основа для предсказания существования новых соединений.
5. Методы получения безводных фторидов металлов. Нестехиометрия фторидов. Выбор тактики синтеза фторсодержащих фаз: кристаллохимический дизайн, физико-химический анализ и термодинамические расчеты.
6. Основные методы синтеза высокодисперсных оксидов (гидротермальный метод, золь-гель метод, синтез в расплавленных нитратах металлов и т.д.). Сравнение этих методов с традиционными методами синтеза оксидов (твёрдофазным синтезом).
7. Способы координации и особенности стереохимии нитратных анионов. Типы координации нитратных групп, взаимосвязь способа координации и геометрии.
8. Способы синтеза нитратных комплексов: использование  $\text{N}_2\text{O}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}_5$ , разложение нитратометаллатов
9. Применение нитратов и нитратных комплексов. Нитратные комплексы в газовой фазе: перспективы использования в методе CVD.
10. Подходы к дизайну металлкарбоксилатных каркасных соединений. Вторичные структурные строительные единицы (SBU).
11. Особенности строения селенитной и теллуридной группировки. Особенности галогенид анионов в рассматриваемых структурах.
12. Термодинамика и макрокинетика транспортных явлений. Равновесные изобарно-изотермические процессы.
13. Движущая сила химического транспорта. Неравновесные процессы, протекающие в градиенте температуры.

## **Раздел 2. Неорганические материалы для энергетики.**

1. Принцип работы суперконденсаторов. Структура двойного электрического слоя. Модель Гельмгольца. Модели Гуи-Чэпмена и Штерна.
2. Методы синтеза углеродных материалов для суперконденсаторов.
3. Принципы, определяющие емкость и напряжение ХИТ, уравнение Нернста. Разрядные кривые и правило фаз Гиббса. Равновесный потенциал.
4. Жесткие и мягкие модификации углерода. Примеры.
5. Катодные материалы второго поколения: особенности строения и электрохимические свойства соединений с анионными группировками (фосфаты, сульфаты, силикаты и т.д.).
6. Механизмы деградации литий-серных аккумуляторов.
7. ХИТ на основе мультивалентных катионов металлов. Использование мультивалентных катионов в первичных ХИТ. Магний-ионные аккумуляторы. Основные преимущества, недостатки и проблемы.
8. Основы термодинамики и кинетики процессов, протекающих в топливных элементах (ТЭ). Классификация ТЭ. Материалы компонентов различных типов ТЭ.
9. Высокотемпературные ТЭ. Твердооксидный ТЭ (ТОТЭ): преимуществе и недостатки. Материалы электролита ТОТЭ. Однофазные анодные материалы ТОТЭ.



10. Катодные материалы ТОТЭ. Механизм восстановления кислорода на катоде ТОТЭ. Катодные материалы среднетемпературных ТОТЭ на основе перовскитоподобных оксидов железа, кобальта, никеля и меди.

11. Факторы, влияющие на электропроводность и термическое расширение перовскитоподобных оксидов 3d-металлов.

### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

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

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
<p><b>Знать</b> возможности и ограничения методов получения неорганических веществ и материалов из газовой фазы, раствора и твердой фазы, понимать роль термодинамики и кинетики процессов синтеза, возможности и ограничения управления составом и структурой в процессе синтеза</p> <p><b>Знать:</b> основные виды опасностей при работе в химической лаборатории, правила техники безопасности при работе с химическими реактивами, ЛВЖ, вакуумными установками, баллонами со сжатыми газами и сосудами под давлением, криогенными сосудами, электрическими установками, высокотемпературными печами.</p>	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на семинарских занятиях и зачете
<p><b>Уметь:</b> критически анализировать, обобщать и применять научную информацию о фазовых равновесиях, реакционной способности и физических свойствах неорганических веществ, с целью оптимизации экспериментальных условий направленного синтеза неорганических соединений и материалов с определенным строением и свойствами</p> <p><b>Уметь</b> находить релевантные методы синтеза и исследования, применять основные законы химии</p>	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на семинарских занятиях и зачете

при анализе полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных <b>Уметь:</b> выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению неорганических веществ и материалов.	
<b>Владеть:</b> информацией о возможностях методов, их точности и ограничениях, иметь представление о приемах подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете