

**Программа утверждена на заседании  
Ученого Совета химического факультета  
Протокол № 4 от 26 мая 2017 г.**

Декан химического факультета,  
Акад. РАН, профессор

 /В.В. Лунин/

### **Рабочая программа дисциплины (модуля)**

1. Наименование дисциплины: **Методы исследования неорганических веществ и материалов.**

*Основная цель дисциплины:* Освоение студентами фундаментальных знаний в области современных методов исследования состава, строения, электронной структуры неорганических веществ и материалов, включающих различные виды микроскопии, дифракционные и спектроскопические методы.

*Задачи дисциплины:*

- Формирование базовых знаний в области современных методов исследования состава, строения, электронной структуры неорганических веществ и материалов, интегрирующей химическую и материаловедческую подготовку химиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- Обучение студентов принципам выбора комплекса методов диагностики неорганических веществ и материалов на основании их информативности, точности и доступности.
- Формирование подходов к выполнению исследований студентами в области современных методов диагностики неорганических веществ и материалов в рамках квалификационных работ.

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки - 04.04.01 «Химия»

4. Место дисциплины в структуре ООП: вариативная часть ООП, профессиональный цикл.

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

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
(МПК-5) <b>Способность обоснованно выбирать и применять современные методы исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов.</b>	ЗЗ (МПК-5) <b>Знать:</b> теоретические основы современных методов исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов
	УЗ(МПК-5) <b>Уметь:</b> выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению неорганических веществ и материалов.
	ВЗ(МПК-5) <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

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

*Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (18 часов - лекции, 16 часов – семинары и 2 часа на проведение промежуточной аттестации), 36 часов составляет самостоятельная работа учащегося.*

7. Входные требования для освоения модуля, предварительные условия.

Для полноценного усвоения данного образовательного модуля **необходимо:**

- **знать** основные естественнонаучные дисциплины в рамках образовательной программы бакалавра; изучение дисциплин данного модуля опирается, главным образом, на теоретических знаниях в области неорганической химии, физической химии и кристаллохимии, общей физики;
- **уметь** пользоваться химической литературой и современными интернет-ресурсами;
- **владеть** базовыми навыками работы с компьютерными программами.

8. Аннотация содержания дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),	Всего (з.е. / часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с	Самостоятельная работа

форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)		преподавателем), часы из них						обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа, в т.ч., лабораторные и практические работы	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия* и	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к контрольным работам	Всего
Раздел 1. Общие принципы и классификация методов исследования. Термический анализ.		6	4				<b>10</b>	5	4	<b>9</b>
Раздел 2. Микроскопия.		3	2			1	<b>6</b>	3	4	<b>7</b>
Раздел 3. Дифракционные методы.		3	3				<b>6</b>	3	4	<b>7</b>
Раздел 4. Спектроскопия.		4	3			1	<b>8</b>	5	4	<b>9</b>
Раздел 5. Использование синхротронного излучения для диагностики материалов.		2	1			1	<b>4</b>	2	2	<b>4</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>2</b>						<b>2</b>			

<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>18</b>	<b>13</b>			<b>3*</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>
--------------	-----------	-----------	-----------	--	--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

\* Текущий контроль проводится в рамках семинарских занятий

## **Содержание разделов дисциплины**

### **Тематические разделы, рассматриваемые на лекциях и семинарах.**

#### **Раздел 1. Общие принципы и классификация методов исследования. Термический анализ.**

1. Основные определения и принципы классификации
2. Применение зондирования ионными пучками для диагностики веществ и материалов.
3. Применение зондирования электронными пучками.
4. Применение зондирования фотонами.
5. Термический анализ.
4. Контрольная работа в рамках семинарского занятия.

#### **Раздел 2. Микроскопия.**

1. Растровая электронная микроскопия.
2. Просвечивающая электронная микроскопия.
3. Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ).

#### **Раздел 3. Дифракционные методы.**

1. Дифракция на кристаллической решетке.
2. Электронная дифракция.
3. Контрольная работа в рамках семинарского занятия.

#### **Раздел 4. Спектроскопия.**

1. Колебательная спектроскопия твердых тел.
2. Электронная спектроскопия.
3. Рентгеновская спектроскопия.
4. Резонансная радиоспектроскопия.

#### **Раздел 5. Использование синхротронного излучения для диагностики материалов.**

1. Свойства синхротронного излучения и его применение для исследования веществ и материалов.
2. Контрольные работы в рамках семинарских занятий.

### **Самостоятельное изучение разделов дисциплин**

Самостоятельная работа студентов состоит в проработке лекционного материала, подготовке к контрольным работам, выполнению домашних заданий, а также подготовке к экзамену.

### **Примерный перечень видов работ, проводимых самостоятельно:**

- Работа с лекционным материалом и рекомендованной литературе по теме: *Общие принципы и классификация методов исследования. Термический анализ. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Микроскопия. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Дифракционные методы. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Спектроскопия. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Использование синхротронного излучения для диагностики материалов. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Подготовка к зачету.

### **9. Образовательные технологии:**

-применение компьютерных симуляторов, обработка данных на компьютерах;

-использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса;

-преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ.

### **10. Ресурсное обеспечение:**

#### **Основная литература**

1. А. Вест. Химия твёрдого тела. Теория и приложения. Часть 1. Москва "Мир", 1988, 558 с.
2. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М. Введение в физику поверхности М, Наука, 2006, 490с.
3. Л.Н. Мазалов. Рентгеновские спектры. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2003.
4. Ю.А. Пентин, Л.В. Вилков Физические методы исследования в химии М Мир 2006 683с

5. Д. Брандон, У. Каплан. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. Москва: Техносфера, 2004. – 384 с. ISBN 5-94836-018-
6. Д. Синдо, Т. Оикава, Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. Перевод с английского языка. Москва. Техносфера, 2006.
7. К. Накамото ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. Пер. с англ. к. х. н. Христенко Л. В., под ред. д. х. н. проф. Пентина Ю. А. - М.: Мир. 1991г. -536 с.
8. В. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии М Техносфера 2009 144с
9. В. В.Михайлин Синхротронное излучение в спектроскопии М МГУ 2007 160с

### **Дополнительная литература**

1. Ю.А. Пентин, Г.М. Курамшина, Основы молекулярной спектроскопии. Москва. Издательство «МИР» БИНОМ Лаборатория знаний. 2008 г. -398 с.
2. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П., Джой Д., Фиори Ч., Лифшин Ф. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в двух книгах. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. 303 с.
3. Transmission electron microscopy: a textbook for materials science/ Dawid B. Williams and C. Barry Carter. New York: Plenum Press, 1996. (в 4 книгах, или более позднюю версию)
4. V.D. Scott, G. Love. Quantitive electrone-probe microanalysis. John Wiley&Sons, 1983
5. С. Рид. Электронно-зондовый микроанализ. М.: Мир, 1979.
6. Handbook of Vibrational Spectroscopy. Vol. 1-5. John Wiley and Sons. 2002.
7. А.Смит. Прикладная ИК-спектроскопия. М.:Мир, 1982 г. -328 стр.
8. А.А. Christy, Y. Ozaki, V.G. Gregoriou. Modern Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Comprehensive Analytical Chemistry). Elsevier. 2001.
9. J.F.Watts, J.Wolstenholme An introduction to surface analysis by XPS and AES, Wiley 183 с

### **Интернет-ресурсы**

1. A Guide to Scanning Microscope Observation <http://www.jeolusa.com>

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели: вед.научн.сотр., д.х.н. Яшина Л.В., м.н.с., к.х.н. Колесник И.В., с.н.с., к.х.н. Иткис Д.М., доцент, к.х.н. Шаталова Т.Б., доцент, к.х.н. Розова М.Г., доцент, к.х.н. Путляев В.И.

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

1. Планируемые результаты обучения для формирования компетенций в Приложении.
2. Материалы к текущей (контрольные работы), промежуточной аттестации (вопросы к зачету).

### **Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Текущий контроль успеваемости проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность работы студентов на лекциях и семинарах, уровень подготовки к лекциям, семинарам, результаты контрольных работ, которые проводятся на 8, 13 и 18 неделе в форме контрольной работы с оценкой.

#### **1. Образцы вопросов контрольных работ.**

1. Перечислите, какую информацию о неорганическом веществе или материале можно получить в результате применения дифракционных методов исследования.
2. Перечислите, какую информацию о неорганическом веществе или материале можно получить в результате применения спектроскопических методов исследования.
3. Перечислите, какую информацию о неорганическом веществе или материале можно получить в результате применения различных видов микроскопии.
4. Что такое каналирование ионов в кристаллической решетке и как используется это явление?
5. Как при помощи дифракции медленных электронов исследовать реконструкцию поверхности?
6. Аналитические параметры Оже-электронной спектроскопии.
7. Какие электроны называются вторичными, а какие обратно рассеянными? Как зависит коэффициент вторичной эмиссии от атомного номера  $Z$ ?
8. Как достигается элементный контраст в РЭМ?
9. Какие зондовые методы для изучения электрофизических свойств поверхности вы знаете? Сформулируйте их принципы и особенности.
10. Какие зондовые методы для изучения магнитных свойств поверхности вы знаете? Сформулируйте их принципы и особенности.
11. Как отражается в дифрактограмме наличие аморфной фазы?
12. С чем связаны погасания рефлексов от решеток одинаковой симметрии? Приведите примеры.

13. Какие материалы анодов рентгеновских трубок используются для рентгеновской дифракции и почему?
14. Нормальные колебания. Определение количества нормальных колебаний небольших молекул и ионов, их неприводимых представлений и активности в ИК- и КР-спектрах при помощи таблиц характеров.
15. Каковы должны быть условия РСМА-эксперимента для получения максимального разрешения при качественном анализе? максимальной точности при количественном анализе?
16. Что такое спин-решеточная и спин-спиновая релаксация? Как соотносятся их времена в разных агрегатных состояниях вещества?
17. Как можно исследовать парциальную плотность состояний? Что такое резонансная фотоэмиссия?

### **Промежуточный контроль успеваемости (вопросы к зачету)**

Для аттестации по итогам освоения дисциплины «Методы исследования неорганических веществ и материалов» предусмотрен зачет. Для курса разработана балльно-рейтинговая система, оценка за зачет проставляется с учетом успеваемости обучающегося при работе в семестре. Зачет проводится устно и включает в себя ответы на вопросы из перечня:

#### **1. Общие принципы и классификация методов исследования.**

Задачи, которые решаются в результате применения различных методов диагностики. Классификация методов исследования. Информативность дифракционных, спектроскопических методов исследования и микроскопии. Виды зондирующие излучения, которые используются при диагностике неорганических веществ и материалов. Виды излучения, которые детектируют при диагностике неорганических веществ и материалов. Анализ поверхности и объема материалов. Сопоставление методов по аналитическим параметрам.

Взаимодействие излучения (фотонов, электронных и ионных пучков) с веществом. Спектроскопия ионного рассеяния, ее информативность и аналитические характеристики. Ионное распыление и определение профилей распределения по глубине. Вторичная ионная масс-спектрометрия. Особенности зондирования электронными пучками. Электронный спектр. Упругое рассеяние электронов, Оже-электроны и характеристические потери энергии электронов. Принципы электронной микроскопии, спектроскопии и дифракции. Зондирование фотонами различной энергии от радиоволн до гамма-лучей. Принципы методов рентгеновской дифракции и рентгеновской спектроскопии.

Основные принципы и информативность термического анализа.

#### **2. Методы микроскопии**

Пространственное разрешение в микроскопии. Растровая электронная микроскопия. Устройство и принцип работы электронного микроскопа. Основные источники сигналов, используемых в РЭМ для формирования изображения. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ). Формирование контраста изображения в ПЭМ. Формирование изображения атомного разрешения.

Зондовая микроскопия. Зондовая микроскопия. Основные методы. Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов. Пространственное разрешение в зондовой микроскопии. Виды зондовой микроскопии. Атомная силовая микроскопия. Типичные искажения изображений и их причины. Особенности магнитной и электростатической силовой микроскопии, микроскопия пьезоотклика, метод зонда Кельвина. Обработка изображений. Сканирующая туннельная микроскопия. Диагностика атомных дефектов. Оптическая микроскопия ближнего поля.

### **3. Дифракционные методы исследования**

Дифракция на кристаллической решетке. Периодическая двумерная и трехмерная решетка. Решетки Бравэ. Обратная решетка. Индексы Миллера. Дифракция рентгеновского излучения. Схема дифракционного эксперимента. Интенсивность и положение дифракционных максимумов. Базы порошковых дифракционных данных. Основные формулы для индирования рентгенограмм высших и средних сингоний. Центрировка и погасания. Критерий правильности индирования. Рентгеноструктурный анализ. Электронная дифракция. Электронная дифракция на просвет. Определение кристаллической структуры твердой фазы. Дифракция медленных и быстрых электронов для исследования структуры и структурного совершенства поверхностей и тонких пленок.

### **4. Спектроскопические методы исследования.**

Принципы колебательной твердых тел. Правила отбора. ИК-спектроскопия. Схемы спектрометров. Спектроскопия поглощения. Спектроскопия диффузного отражения. Спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения. Количественный анализ. КР-спектроскопия. Стоксовы и антистоксовы полосы. КР-микроскопия.

Виды электронной спектроскопии. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС) и зонная структура твердых тел.. УФЭС с угловым разрешением. Определение состава поверхности и зарядовых состояний атомов при помощи рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Оже-электронная спектроскопия и микроскопия. Примеры исследования наноматериалов. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ). Сопоставление методов УФЭС, РФЭС, ОЭС, СХПЭЭ по информативности и аналитическим характеристикам.

Рентгеновская спектроскопия. Неразрушающие методы определения состава твердых тел. Рентгеноспектральный микроанализ. Методы регистрации спектров. Пространственное разрешение. Определение состава и аналитические параметры. Рентгеновский флуоресцентный анализ и его аналитические параметры.

Резонансная радиоспектроскопия. Физические основы ЯМР и ЯКР. Ядра, используемые в ЯМР/ЯКР твердого тела. Основные формулы ЯМР и ЯКР. Техника спектроскопии ЯМР/ЯКР твердого тела.

## **5. Использование синхротронного излучения для диагностики материалов**

Свойства и характеристики синхротронного излучения (СИ). Принципы получения, источники СИ. Особенности и преимущества использования синхротронных источников. Методы рентгеновская спектроскопии на СИ. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением, резонансная фотоэмиссия. Спектры рентгеновского поглощения, тонкая структура вблизи края поглощения. Циркулярный дихроизм для исследования магнитных свойств (XMCD). Временное разрешение, фемтосекундная спектроскопия. Рассеяние рентгеновского излучения. Малоугловое резонансное рассеяние. Дифракционные и микроскопические методы, использующие синхротронное излучение. EXAFS-спектроскопия. Основные принципы и информативность.

---

## КАРТА КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКА ПРОГРАММЫ МАГИСТРАТУРЫ МГУ

---

Код и название КОМПЕТЕНЦИИ:

**(МПК-5) Способность обоснованно выбирать и применять современные методы исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов.**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

**Специализированная** компетенция выпускника программы магистратуры по направлению подготовки 04.04.01 Химия.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы магистратуры, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные естественнонаучные дисциплины в рамках образовательной программы бакалавра; изучение дисциплин данного модуля опирается, главным образом, на теоретических знаниях в области неорганической химии, физической химии и кристаллохимии, общей физики.
- **УМЕТЬ:** пользоваться химической литературой и современными интернет-ресурсами.
- **ВЛАДЕТЬ:** базовыми навыками работы с компьютерными программами.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (МПК-5) И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Планируемые результаты обучения	Критерии и показатели оценивания результатов обучения					Оценочные средства
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
<p><b>Знать:</b> теоретические основы современных методов исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов <b>Код 33 (МПК-5)</b></p>	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о теоретических основах современных методов исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов.	В целом успешные, но не систематические представления о теоретических основах современных методов исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов.	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы, представления о теоретических основах современных методов исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов.	Сформированные представления о теоретических основах современных методов исследования состава, структуры и свойств неорганических веществ и материалов.	Контрольные работы. Устное собеседование на зачете.
<p><b>Уметь:</b> выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению неорганических веществ и материалов. <b>Код У3(МПК-5)</b></p>	Отсутствие умений	Фрагментарное использование умения выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по	В целом успешное, но не систематическое умение выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению	Сформированное умение выбирать оптимальный набор методов для решения конкретной задачи по изучению неорганических веществ и	Контрольные работы. Устное собеседование на зачете.

		изучению неорганических веществ и материалов.	неорганических веществ и материалов.	неорганических веществ и материалов.	материалов.	
<p><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. <b>Код ВЗ(МПК-5)</b></p>	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение информации о возможностях методов, их точности и ограничениях. Фрагментарное представление о приемах подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.	В целом успешное, но не систематическое применение информации о возможностях методов, их точности и ограничениях. Успешное, но не систематическое представление о приемах подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение информацией о возможностях методов, их точности и ограничениях. Не совсем полное, с небольшими пробелами, владение представлением о приемах подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.	Успешное и систематическое применение информации о возможностях методов, их точности и ограничениях. Успешное владение приемами подготовки образцов, задании параметров проведения эксперимента, методах регистрации и обработки экспериментальных результатов.	Контрольные работы. Устное собеседование на зачете.

#### ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИИ У ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Итоговый контроль сформированности компетенции – государственный экзамен, ВКР.

Промежуточная аттестация (зачет, экзамен) согласно учебному плану: зачет.