

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Физики твердого тела и наноструктур  
(П.В. Середин)  
05.06.2023г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.05.01 Рамановская спектроскопия**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 03.03.02**

*Физика*

---

**2. Профиль подготовки/специализация:**

*Физика твёрдого тела*

---

**3. Квалификация выпускника:** *Бакалавр*

---

**4. Форма образования:** *очная*

---

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** *физики твердого тела и наноструктур*

---

**6. Составители программы:** *Голощапов Дмитрий Леонидович,  
кандидат физ.-мат. наук, доцент*

---

**7. Рекомендована:** *НМС физического факультета, протокол № 5 от 25.05.2023г.*

---

**8. Учебный год:** 2026–2027

**Семестр:** 8

## **9. Цели и задачи учебной дисциплины**

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

формирование у обучающихся теоретических основ колебательной спектроскопии, её роли в описании Рамановских спектров, получение знаний об анализе Рамановских спектров молекул и кристаллов по теории симметрии и взаимосвязи спектральных характеристик с основными структурными свойствами функциональных материалов, получение представлений об основных техниках Рамановской спектроскопии и методиках анализа спектральных характеристик наноструктур

*Задачи учебной дисциплины:*

- познакомить обучающихся с основными теоретическими понятиями и физическими процессами, приводящими к возникновению Рамановского рассеяния, их связи с кристаллической структурой материалов и симметрией твёрдых тел;
- изучить подходы к анализу Рамановских спектров при рассмотрении колебаний решётки и математического описания процессов возникновения фононов, плотности их состояния, закона дисперсии и связи со спектральными характеристиками модельных наноструктур
- дать представление об основных техниках Рамановской спектроскопии, основных компонентах и типах Рамановских спектрометров, а также методиках получения спектральных характеристик наноструктур
- сформировать знание об анализе и основных характеристиках Рамановских спектров, частоте, интенсивность и сдвиге, ширине линий в колебательных спектрах и их зависимости для различных типов наноматериалов.
- Дать практические навыки экспериментальных исследований параметров и характеристик наноструктур с использованием Рамановской спектроскопии

## **10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** часть, формируемая участниками образовательных отношений, блок Б1.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций профессиональных стандартов:

- 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам»
- А/01.5 «Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований»;
- 40.104 «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»
- С/01.6 «Модернизация существующих и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур»;

## **11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен осуществлять выполнение экспериментов и оформление результатов	ПК-2.1	Выбирает, обосновывает и реализует на практике эффективную методику экспериментального	Знать: методики экспериментального исследования параметров и характеристик материалов, приборов, схем, устройств и установок различного

	исследований и разработок		исследования параметров характеристик материалов, приборов, схем, устройств и установок различного функционального назначения	функционального назначения с использованием ИК-спектроскопии
				Уметь: выбирать и обосновывать методики экспериментального исследования параметров и характеристик материалов, приборов, схем, устройств и установок различного функционального назначения с использованием ИК-спектроскопии
				Владеть: навыками и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик материалов, приборов, схем, устройств и установок различного функционального назначения с использованием ИК-спектроскопии
ПК-4	Способен модернизировать существующие и внедрять новые методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур	ПК-4.2	Реализует на практике основные методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур	Знать: основные методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур с использованием ИК-спектроскопии
				Уметь: выбирать на практике основные методы измерений параметров наноматериалов и наноструктур с использованием ИК-спектроскопии
				Владеть: практическими навыками измерений параметров наноматериалов и наноструктур с использованием методов ИК-спектроскопии

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 3 / 108.**

**Форма промежуточной аттестации Экзамен**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость	
		По семестрам

		Всего	8 семестр
Аудиторные занятия		72	72
в том числе:	лекции	12	12
	практические		
	лабораторные	24	24
	групповые консультации		
Самостоятельная работа		36	36
Контроль		36	36
Форма промежуточной аттестации – экзамен			
Итого:		108	108

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Основы теории и основные понятия Рамановской спектроскопии	Основные теоретические понятия и физические процессы, приводящие к возникновению Рамановского рассеяния. Классическая теория неупругого рассеяния света на колебаниях молекул и кристаллов. Краткое описание квантовой теории рассеяния света. Стоково и анти-Стоково рассеяние.	
1.2	Фононы.	Фононы в кристаллах. Колебания одномерной двухатомной цепочки. Дисперсия фононов. Зоны Бриллюэна. Плотность фононных состояний. Правила отбора по волновому вектору. Эффекты взаимодействия в полярных кристаллах.	
1.3	Анализ колебаний кристаллов по симметрии.	Анализ колебаний кристаллов по симметрии. Групповой анализ. Неприводимые представления. Характеры неприводимых представлений. Матрица преобразования координат, ее приведение. Математическая формулировка правил отбора. Правила отбора в Рамановской спектроскопии. Тензор поляризуемости. Преобразование компонент тензора рассеяния под действием операций симметрии. Правила отбора для процессов второго порядка. Прямое произведение представлений.	
1.4	Основные техники Рамановской спектроскопии	Техника Рамановской спектроскопии. Основные компоненты и типы Раман спектрометров. Регистрация поляризованных спектров кристаллов. Поляризационная «утечка». Другие виды рассеяния: резонансное рассеяние, гиперкомбинационное рассеяние, CARS.	
1.5	Анализ и основные характеристики Рамановских спектров	Частота и интенсивность линий в колебательных спектрах. Характеристические частоты. Статическое и динамическое расщепление частот колебаний. Интенсивности линий в Рамановских спектрах. Анализ интенсивностей в Рамановских спектрах нанокристаллов. Поляризация и ширина линий в спектрах. Рамановский тензор и его преобразование при повороте системы координат. Угловая зависимость интенсивностей Рамановских линий. Ширина спектральных линий. Тепловой ангармонизм.	
1.6	Рассеяние света в наночастицах	Экспериментальные исследования параметров и характеристик наноструктур с использованием Рамановской спектроскопии; Рассеяние света в стеклах и наночастицах. Дисперсионные ветви в нарушенных кристаллах. Ширина линий в стеклах. Бозонный пик. Рамановские Спектры	

		нанокристаллов кремния, их анализ. Определение водородной связи и основные свойства. Водородная связь OH···O. Водородная связь N-H···O. слабые C-H···Y связи. Физические аспекты особенностей водородных связей
<b>2. Лабораторные работы</b>		
2.1	Основы теории и основные понятия инфракрасной спектроскопии	Лабораторная работа 1. Методы обработки спектров. Расчет основных характеристик спектров.
2.2	Колебания многоатомных молекул и колебания кристаллов	Лабораторная работа 2. Отнесение полос в спектрах молекул к определенным типам переходов
2.3	Анализ колебаний молекул и кристаллов по симметрии.	Лабораторная работа 3. Проведение качественного анализа Рамановских спектров.
2.4	Основные техники инфракрасной спектроскопии	Лабораторная работа 4. Количественный анализ многокомпонентных структур методом Рамановской спектроскопии
2.5	Анализ и основные характеристики инфракрасных спектров	Лабораторная работа 5 Особенности колебательных спектров углеродных материалов: алмаза, графита, углеродных нанотрубок.
2.6	Экспериментальных исследований параметров и характеристик наноструктур	Лабораторная работа 6. Исследование наноструктурированных пленок. Особенности гетероструктур на основе А3В5.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/ п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)						
		Лекц ии	Практи ческие	Лабор аторн ые	Групповые консультаци и	Самостоятель ная работа	Контроль	Всего
1	Основы теории и основные понятия инфракрасной спектроскопии	2		4		4	6	12
2	Колебания многоатомных молекул и колебания кристаллов	2		4		6	6	18
3	Анализ колебаний молекул и кристаллов по симметрии.	2		4		6	6	18
4	Основные техники инфракрасной спектроскопии	2		4		6	6	18
5	Анализ и основные характеристики инфракрасных спектров	2		4		6	6	20
6	Экспериментальных исследований параметров и характеристик наноструктур	2		6		8	6	22
Итого:		12		24		36	36	108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Рамановская спектроскопия» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные работы; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ-демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов-магистров. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;

- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;

- записывать надо сжато;

- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в лабораторных работах, подготовкой и сдачей зачета по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки магистров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работе как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или лабораторной работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развиваются творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Рамановская спектроскопия» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных работ, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Рамановская спектроскопия» включает в себя:

изучение теоретической части курса	– 10 часов
подготовку к лабораторным занятиям	– 8 часов
написание отчетов по лабораторным работам	– 8 часов
подготовку к экзамену	– 10 часов
итого	– 36 часов

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Лебухов, В. И. Физико-химические методы исследования : учебник / В. И. Лебухов, А. И. Окара, Л. П. Павлюченкова. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-1320-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/168467">https://e.lanbook.com/book/168467</a>
2.	Физико-химические методы исследования материалов : учебно-методическое пособие / В. В. Виноградов, А. В. Виноградов, М. И. Морозов [и др.]. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2019. — 72 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/136419">https://e.lanbook.com/book/136419</a>
3.	Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения : учебное пособие / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 763 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/151570">https://e.lanbook.com/book/151570</a>
4.	Сергеев, А. Г. Нанометрология : монография / А. Г. Сергеев. — Москва : Логос, 2020. — 416 с. — ISBN 978-5-98704-494-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/163080">https://e.lanbook.com/book/163080</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5.	Спектроскопические методы анализа (молекулярная спектроскопия) : учебное пособие / Г. И. Берестова, И. Н. Коновалова, Н. В. Долгопятова, Н. М. Путинцев. — Мурманск : МГТУ, 2014. — 192 с. — ISBN 978-5-86185-784-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/142672">https://e.lanbook.com/book/142672</a>
6.	Раман-спектроскопия в неорганической химии и минералогии : [монография] / Б. А. Колесов ; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Инт-т неорганической химии. - Новосибирск : Изд-во Сибирского отд-ния Российской акад. наук, 2009. - 186, [2] с. : ил., табл.; 22 см.; ISBN 978-5-7692-1070-9
7.	Бёккер, Ю. Спектроскопия : руководство / Ю. Бёккер. — Москва : Техносфера, 2009. — 528 с. — ISBN 978-5-94836-220-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/73013">https://e.lanbook.com/book/73013</a>
8.	Пентин, Ю. А. Физические методы исследования в химии / Ю. А. Пентин, Л. В. Вилков. ? 2012. -683 с.
9.	Литвин, Ф.Ф. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: Учебное пособие / Ф.Ф. Литвин, В.Т. Дубровский , Р. А. Хатыпов, К. В. Неверов; Под ред. Ф.Ф.Литвина - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 263 с. <a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=444657">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=444657</a>
10.	Купцов А.Х. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров / А.Х. Купцов, Г.Н.

	Жижин. - [2-е рус. изд.]. – М.: Техносфера, 2013. – 695 с.
11.	Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия: Молекулярная спектроскопия / М.А. Ельяшевич. – М.: URS: ЛИБРОКОМ, 2012. – 527 с.
12.	Плиев Т.Н. Молекулярная спектроскопия: в 5-ти т. / Т.Н. Плиев. – Владикавказ: Иристон, 2001.
13.	Кларк, Э. Р. Микроскопические методы исследования материалов / Э. Р. Кларк, К. Н. Эберхард. — Москва : Техносфера, 2007. — 376 с. — ISBN 978-5-94836-121-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/73017">https://e.lanbook.com/book/73017</a>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
14.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ
15.	<a href="http://www.moodle.vsu.ru">http://www.moodle.vsu.ru</a>
16.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
17.	<a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a> – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
18.	<a href="http://iprbookshop.ru">www.iprbookshop.ru</a> – ЭБС «IPRbooks»
19.	<a href="https://elibrary.ru">https://elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
20.	Литвин, Ф.Ф. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика: Учебное пособие / Ф.Ф. Литвин, В.Т. Дубровский , Р. А. Хатыпов, К. В. Неверов; Под ред. Ф.Ф.Литвина - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 263 с. <a href="http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=444657">http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=444657</a>
21.	Басалаев, Ю. М. Методы исследования динамики решётки : учебное пособие / Ю. М. Басалаев. — Кемерово : КемГУ, 2019. — 189 с. — ISBN 978-5-8353-2586-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/141568">https://e.lanbook.com/book/141568</a>
22.	Филимонов, В. Е. Фурье-анализ : учебное пособие / В. Е. Филимонов, А. В. Мороз. — Йошкар-Ола : ПГТУ, 2020. — 78 с. — ISBN 978-5-8158-2155-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/157472">https://e.lanbook.com/book/157472</a>

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные работы, групповые консультации, индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Совместная лаборатория "Электронное строение твердого тела" (лаб. 129)

Лабораторный стенд для получения тонких пленок и наноструктур методами химического осаждения из газовой фазы и электрохимическими методами - 1 шт.; вакуумная технологическая установка для магнетронного и термического нанесения металлических и диэлектрических пленок - 1 шт.; электропечь ПТК-1,4-40 с

контролируемой атмосферой и автоматизированным управлением для получения материалов с заданными стехиометрией - 1 шт.;

Совместная лаборатория физики наногетероструктур и полупроводниковых материалов (лаб. 28) Дистиллятор лабораторный А3-14 «Я-ФП»-01 – 1 шт.; Центрифуга лабораторная ЦЛн-16 – 1 шт.; Магнитная мешалка с подогревом MagicLAB – US-1500D – 1 шт.; Импедансметр Z-1500J – 1шт.; Диспергатор роторный – Ika-T18D – 1шт.; pH-метр/ионометр ИПЛ 111-1 – 1 шт., Печь Nabertherm-LE – 1 шт.; Печь LIOP-LF – 1 шт.; Ванна ультразвуковая -СТ431D2 –1шт.; Источник тока GWInstek PSW7 800-2.88 – 1 шт.; Источник тока GWInstek GPR – 30H10D – 1 шт, Лабораторные стенды для импеданс-спектроскопии - LCR-спектрометр Elins-1500 - 1 шт, LCR-спектрометр GWInstek LCR-819 - 1 шт.; Рамановский спектрометр РамМикс 532 - 1 шт.; Рамановский спектрометр РамМикс 785 – 1 шт. Программный пакет EnspectrM для анализа, Рамановских спектров.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

## **19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Основы теории и основные понятия инфракрасной спектроскопии	ПК-2	ПК-2.1	Лабораторная работа 1
2.	Колебания многоатомных молекул и колебания кристаллов	ПК-2	ПК-2.1	Лабораторная работа 2
3.	Анализ колебаний молекул и кристаллов по симметрии.	ПК-2	ПК-2.1	Лабораторные работы 3
4.	Основные техники инфракрасной спектроскопии	ПК-2 ПК-4	ПК-2.1 ПК-4.2	Лабораторная работа 4
5.	Анализ и основные характеристики инфракрасных спектров	ПК-2 ПК-4	ПК-2.1 ПК-4.2	
6.	Экспериментальных исследований параметров и характеристик наноструктур	ПК-2 ПК-4	ПК-2.1 ПК-4.2	Лабораторные работы 6
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Перечень вопросов

## **20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

### **20.1 Текущий контроль успеваемости**

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: отчеты о выполнении лабораторных работ.

## Перечень тем лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Методы обработки спектров. Расчет основных характеристик спектров.

Лабораторная работа 2. Отнесение полос в спектрах молекул к определенным типам переходов

Лабораторная работа 3. Проведение качественного анализа Рамановских спектров.

Лабораторная работа 4. Количественный анализ многокомпонентных структур методом Рамановской спектроскопии

Лабораторная работа 5 Особенности колебательных спектров углеродных материалов: алмаза, графита, углеродных нанотрубок.

Лабораторная работа 6. Исследованиеnanoструктурных плёнок. Особенности гетероструктур на основе А3В5.

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения лабораторных работ, на основе которых выставляется предварительная оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно*.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении лабораторных работ	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен выполнять лабораторные работы	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Перечень вопросов для проведения текущего контроля

#### Контрольные вопросы и задания для проведения контроля № 1

1. Значение колебательной спектроскопии в исследовании химических соединений.
2. Процесс возникновения спектров КР.
3. Стоково и антистоково рассеяние.
4. Элементарная теория рассеяния.
5. Классическая и квантовая теории рассеяния.

6. Сравнение элементарной и квантовой теории рассеяния.
7. Особенности рассеяния при приближении частоты возбуждения к частоте электронного перехода.

#### **Контрольные вопросы и задания для проведения контроля №2.**

1. Типы фононов в кристаллах.
2. Дисперсия фононов.
3. Зоны бриллюэна.
4. Плотность фононных состояний.
5. Правила отбора по волновому вектору.
6. Продольно-поперечное расщепление колебаний в полярных кристаллах.

#### **Контрольные вопросы и задания для проведения контроля №3**

1. Анализ колебаний молекул.
2. Полное колебательное представление.
3. Общая процедура анализа колебаний кристаллов по симметрии.
4. Анализ колебаний смешанных ионно-ковалентных кристаллов.
5. Внешние и внутренние колебания кристаллов.
6. Выбор корреляций между неприводимыми представлениями позиционной и кристаллической структур.
7. Статическое и динамическое расщепление внутренних колебаний.
8. Трансляционные и либрационные колебания.
9. Поляризуемость молекул и кристаллов. Раман-тензор.
11. Преобразование координат.
12. Преобразование Раман-тензора.
13. Физические причины возникновения правил отбора по симметрии.
14. Правила отбора процессов рассеяния первого порядка.
15. Правила отбора процессов рассеяния второго порядка. Прямое произведение.

#### **Контрольные вопросы и задания для проведения контроля №4**

1. Блок-схема спектрометра КР.
2. Современные типы спектрометров КР.
3. Разрешающая способность спектрального устройства.
4. Конфокальность и передача изображения на входную щель.
5. Контур спектральной линии.
6. Поляризационные измерения.
7. «Утечка» поляризации.
8. В чем физические и технические особенности КР-спектроскопии.
9. Поверхностно-усиленное рамановское рассеяние.
10. Резонансное рассеяние.
11. Гиперкомбинационное рассеяние.
12. Когерентное антистоксово и когерентное стоксово рамановское рассеяние.

#### **Контрольные вопросы и задания для проведения контроля №5**

1. Концепция характеристических колебаний. Особенности и пределы применимости. Роль характеристических колебаний в колебательной спектроскопии.
2. Кристаллические эффекты в колебательных спектрах.
3. Физические основы конечной ширины линии. Связь с временем жизни и распадом фона.
4. Интенсивность линий в спектрах КР.
5. Зависимость интенсивности от температуры.
6. Поляризация линий и угловая зависимость интенсивности колебательной моды.

## **Контрольные вопросы и задания для проведения контроля №6**

1. Проявление дефектности кристалла в фононном спектре. Причина «складывания» зон.
2. Возникновение бозонного пика в неупорядоченных средах.
3. Локализация фононов в наночастицах.
4. «Водородная связь». Типы водородных связей. Природа водородной связи и основные характеристики.
5. Особенности О-Н…О водородной связи.. N-Н…O связь. C-H…Y водородная связь. 11.5. Физические аспекты особенностей водородных связей
6. «Колебания молекул H<sub>2</sub>O в полостях кристаллов». . Частота колебаний H<sub>2</sub>O в полостях кристаллов. Полуширина линий колебаний H<sub>2</sub>O.

### **Перечень вопросов к экзамену**

Контрольные вопросы и задания для проведения промежуточной аттестации:

1. Теория рассеяния света. Упругое и неупругое рассеяние света.
2. Элементарная теория рассеяния на колебаниях. Полуклассический и квантово-механический подходы.
2. Колебания молекул. Гармонический осциллятор в классической механике. Квантовомеханический гармонический осциллятор. Амплитуда колебаний.
3. Вращательные состояния двухатомных молекул. Колебания многоатомных молекул. Вековое уравнение.
4. Колебания кристаллов. Типы фононов в кристаллах. Дисперсия фононов. Зоны Бриллюэна.
5. Плотность фононных состояний. Правила отбора по волновому вектору. Эффекты взаимодействия в полярных кристаллах.
6. Симметрия колебаний. Симметрия колебаний молекул, координаты симметрии и эквивалентные координаты. Матрицы преобразования колебательных координат. Вырожденные и невырожденные колебания.
7. Группы симметрии молекул и кристаллов. Неприводимые представления. Симметрия колебаний кристаллов.
8. Анализ колебаний молекул по симметрии. Физические основы анализа колебаний молекул. Анализ колебаний на примере тетраэдрической молекулы.
9. Анализ колебаний кристаллов по симметрии. Физические основы анализа колебаний кристаллов. Анализ колебаний на примере кристаллов кремния, графита.
10. Раман-тензор и правила отбора в колебательных спектрах. Тензор поляризуемости и Раман-тензор.
11. Физические причины возникновения правил отбора. Правила отбора для процессов второго порядка.
12. Техника КР-спектроскопии. Блок-схема КР-спектрометра. Типы спектральных устройств для КР-спектроскопии. Поляризационные измерения. «Утечка» поляризации.
13. Физические и технические особенности КР-спектроскопии. Физические разновидности рамановского рассеяния. Единицы измерения.
14. Частота колебаний. Физическая и химическая характеристика частоты колебаний. Распространенные примеры. Характеристические колебания. Кристаллические эффекты. Модовое поведение. Взаимодействие колебаний.
15. Ширина и интенсивность линий в колебательных спектрах. Ширина спектральной линии. Интенсивность линий в спектрах КР на примере колебательного спектра кристалла. Поляризация линий в спектрах КР.
16. Амплитуда и ангармонизм колебаний. Амплитуда колебаний. Ангармонизм колебаний. Зависимость частот колебаний от температуры. Ангармонические вклады. Ангармоническое взаимодействие нормальных колебаний.

17. Рассеяние света в стеклах и наночастицах. Фононный спектр в дефектных кристаллах. «Складывание» зон. Бозонный пик. Локализация фононов в наночастицах. Моделирование спектра рассеяния на наночастицах кремния.
18. Водородная связь. Определение водородной связи и основные свойства. Водородная связь OH...O. Водородная связь N-H...O. слабые C-H...Y связи. «Синий» сдвиг. Физические аспекты особенностей водородных связей.

### **Описание технологии проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация по дисциплине – зачет с оценкой. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Рамановская спектроскопия» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Рамановская спектроскопия»:

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей или в случае предоставления курсовых работ и отчетов по лабораторным работам позже установленного срока. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Рамановская спектроскопия» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.