

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет  
Кафедра химической и биологической физики



академик РАН

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФФ

А. Е. Бондарь

2020 г.

Рабочая программа дисциплины

**СПЕКТРОСКОПИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД**

направление подготовки: **03.04.02 Физика, Курс 1, семестр 1**  
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения

**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	24	12		14	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачетных единицы из них: - контактная работа 40 часов, - в интерактивных формах 12 часов.										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:  
чл.-корр. РАН, доцент

 Н.В. Суровцев

Зав. кафедрой ХиБФ ФФ НГУ  
д.ф.-м.н., проф.

 С. А. Дзюба

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

 И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2020

## Содержание

Аннотация.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	5
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	5
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	6
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	6
5. Перечень учебной литературы. ....	18
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	18
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	18
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	19
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	19
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	19

## Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Спектроскопия конденсированных сред»

Направление: **03.04.02 Физика**

**Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика**

Программа дисциплины «Спектроскопия конденсированных сред» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню магистратуры по направлению подготовки **03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой химической и биологической физики в качестве дисциплины по выбору. Дисциплина изучается студентами первого курса магистратуры физического факультета в осеннем семестре.

Цель курса – знакомство с базовыми понятиями и экспериментальными методами в спектроскопии конденсированных сред. В курсе освещаются основные идеи и схемы эксперимента упругого и неупругого рассеяния нейтронов, рентгеновского излучения, комбинационного рассеяния света, метода поглощения инфракрасного излучения, метода изучения тонкой структуры поглощения рентгеновского излучения (EXAFS), мессбауэровской спектроскопии, ультразвуковых методов и метода рассеяния Мандельштама-Бриллюэна, диэлектрической спектроскопии, фотон-корреляционной спектроскопии.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих профессиональных компетенций:

**ПК-1 способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта**

**ПК-2 способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** основные принципы описания структуры конденсированной среды и ее динамического отклика; основные идеи экспериментальных методов, применяемых для определения структуры вещества, колебательного спектра и релаксационного отклика;
- **Уметь:** применять эти знания для задач определения структуры исследуемого вещества, его колебательного спектра и релаксационного отклика, для чтения литературы в области химической и биологической физики;
- **Владеть:** методами упругого и неупругого рассеяния нейтронов, рентгеновского излучения, комбинационного рассеяния света, метода поглощения инфракрасного излучения, метода изучения тонкой структуры поглощения рентгеновского излучения (EXAFS), мессбауэровской спектроскопии, ультразвуковых методах и методе рассеяния Мандельштама-Бриллюэна, диэлектрической спектроскопии, фотон-корреляционной спектроскопии.

Курс рассчитан на один семестр (1-й). Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: контрольные работы

Промежуточная аттестация: экзамен

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72** академических часа / **2** зачетные единицы.

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Цель учебного курса «Спектроскопия конденсированных сред» – дать набор необходимых сведений в области идей и методов, применяемых для определения структуры и динамического отклика различных конденсированных сред: кристаллов, стекол, жидкостей. Практической целью является научить слушателей ориентироваться в экспериментальных методах, применяемых при изучении конденсированных сред, познакомить с особенностями и ограничениями этих методов. В курсе обсуждаются следующие экспериментальные методы: упругое и неупругое рассеяние нейтронов, рентгеновского излучения, комбинационное рассеяние света, метод поглощения инфракрасного излучения, метод изучения тонкой структуры поглощения рентгеновского излучения (EXAFS), мессбауэровская спектроскопия, ультразвуковые методы и метод рассеяния Мандельштама-Бриллюэна, диэлектрическая спектроскопия, фотон-корреляционная спектроскопия и некоторые другие.

Профессиональная компетенция ПК-1 - способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики (*в части спектроскопии конденсированных сред*) и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Профессиональная компетенция ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики (*в части спектроскопии конденсированных сред*), необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности. Материал лекционного курса увязывается с передовыми исследованиями всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов. Специально указываются темы, активно обсуждаемые в текущей профессиональной научной литературе.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** основные принципы описания структуры конденсированной среды и ее динамического отклика; основные идеи экспериментальных методов, применяемых для определения структуры вещества, колебательного спектра и релаксационного отклика (ПК-1.1).
- **Уметь:** применять эти знания для задач определения структуры исследуемого вещества, его колебательного спектра и релаксационного отклика, для чтения литературы в области химической и биологической физики (ПК-1.2).
- **Владеть:** методами упругого и неупругого рассеяние нейтронов, рентгеновского излучения, комбинационного рассеяния света, метода поглощения инфракрасного излучения, метода изучения тонкой структуры поглощения рентгеновского излучения (EXAFS), мессбауэровской спектроскопии, ультразвуковых методах и методе рассеяния Мандельштама-Бриллюэна, диэлектрической спектроскопии, фотон-корреляционной спектроскопии (ПК-2.3).

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Спектроскопия конденсированных сред» реализуется для обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика, общая и фундаментальная физика. Курс относится к числу специальных дисциплин по выбору, реализуемых кафедры химической и биологической физики. В нем рассматриваются основные принципы описания структуры конденсированной среды и ее динамического отклика, а также экспериментальные методы, позволяющие получить информацию о структуре и динамике конденсированной среды. Особое внимание уделено физи-

ческим идеям и принципам, лежащим в основе этих методов и способам их реализации на практике. В результате прохождения курса у студентов должно сформироваться представление о том, какие экспериментальные методы используются для решения тех или иных задач физики конденсированных сред, какие есть ограничения у этих методов. Эти знания необходимы исследователю в области химической и биологической физики как для решения задач, связанных с характеристикой изучаемого объекта, так и для понимания научной литературы (статей) в этой области. Необходимыми предпосылками для успешного освоения курса являются следующие. В цикле математических дисциплин: знание основ математического анализа и методов математической физики. Необходимость владения указанными математическими дисциплинами обусловлена тем обстоятельством, что динамический отклик описывается уравнениями в частных производных. В цикле общефизических дисциплин необходимыми предпосылками являются знание и умение применять основные принципы классической механики, молекулярной и статистической физики. Эти общефизические дисциплины входят составной частью в описание поведения атомов и молекул в конденсированной среде.

**3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	24	12		14	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачетных единицы из них: - контактная работа 40 часов, - в интерактивных формах 12 часов.										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинары, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: контрольные работы

Промежуточная аттестация: экзамен

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72** академических часа / **2** зачетные единицы.

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежу точной аттестаци и		
				Лек- ции	Прак- тиче- ские заня- тия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	<p><b>Понятие конденсированной среды.</b> Особенность конденсированной среды. Виды конденсированных сред. Трансляционный порядок. Дальний порядок по центру масс и по ориентации молекул. Кристаллы. Жидкости. Стекла. Жидкие кристаллы. Пластические кристаллы. Кристаллы с элементами беспорядка. Ледовый беспорядок. Беспорядок замещения. Спиновый беспорядок. Суперионные проводники. Надмолекулярные структуры. Полимеры. Белки. Нанотрубки.</p>	1	2	2					

2	<p><b>Описание микроскопической структуры конденсированных сред.</b>  Ближний порядок.  Точечные группы симметрии.  Дальний порядок.  Сингонии. Класс симметрии.  Решетки Браве.  Обратная решетка. Зона Бриллюэна.  Неприводимая часть зоны Бриллюэна.  Средний порядок.  Пространственная корреляционная функция.</p>	2	3	2		1				
3	<p><b>Колебательные возбуждения в конденсированных средах.</b>  Континуальное приближение.  Продольный и поперечный звук. Дебаевская плотность колебательных состояний.  Молекулярные колебания.  Неприводимые представления для колебательных возбуждений.  Дискретное приближение для колебательных возбуждений.  Оптические</p>	3	3	2		1				



	фононы. Классификация нормальных колебаний кристаллической решетки по их свойствам симметрии. Некристалличес кие материалы. Ангармонизм.								
4.	<b>Динамический отклик материала. Релаксация.</b> Корреляционная функция. Обобщенная восприимчивост ь. Диссипация. Флуктуационно- диссипационная теорема. Восприимчивост ь для экспоненциальн ой релаксации, затухающего осциллятора, звуковой волны, диффузии, связанного осциллятора, связанного с релаксацией.	4	3	2		1			
5.	<b>Метод рассеяния при изучении атомной структуры.</b> Рассеяние в объемном материале. Условие Брэгга. Векторный вид условия Брэгга. Матричный элемент рассеяния. Малоугловое рассеяние. Фактор Дебая-	5	3	2		1			

	<p>Уоллера.          Рассеяние в кристалле.          Определение класса симметрии кристаллической решетки.          Определения базиса кристаллической решетки. Метод Лауэ. Метод качания/вращения.          Гониометрический метод. Метод порошка.          Рассеяние в некристаллических материалах.</p>								
6.	<p><b>Экспериментальные методы рассеяния рентгеновских лучей, нейтронов и электронов.</b>          Сравнение различных типов излучения между собой.          Экспериментальная реализация метода рассеяния рентгеновских лучей: схема, источники, детекторы.          Рассеяние нейтронов.          Когерентное и некогерентное рассеяние, роль изотопов.          Источники нейтронов.          Трехосный и времяпролетный спектрометры.          Нейтронный</p>	6	3	2		1			

	фурье-дифрактометр. Детекторы нейтронов.								
7.	<p><b>Экспериментальные методы исследования локальной атомной структуры.</b></p> <p>Роль методов определения локальной атомной структуры. Метод тонкой структуры края поглощения синхротронного излучения: предпики, NEXAFS, EXAFS. Основная формула EXAFS, способ реализации метода, анализ данных. Мессбауровская спектроскопия. Эффект Мессбауэра, мессбауэровские изотопы. Роль изомерного сдвига, зарядового состояния, квадрупольного и магнитного расщепления. Экспериментальная реализация мессбауэровской спектроскопии. Спектроскопия ферстеровского резонанса. Позитрон-аннигиляционная спектроскопия.</p>	7	3	2		1			

8.	<b>Неупругое рассеяние нейтронов. Колебательный спектр.</b> Общие формулы для неупругого рассеяния нейтронов. Когерентное неупругое рассеяние в кристаллах. Экспериментальная реализация. Когерентное неупругое рассеяние в некристаллических материалах: бриллюэновское рассеяние, кинематическое ограничение, сильно локализованное колебание. Некогерентное неупругое рассеяние нейтронов.	8	5	2	2	1			
9.	<b>Неупругое рассеяние рентгеновских лучей при изучении колебательного спектра.</b> Отличия от случая рассеяния нейтронов. Экспериментальная реализация. Резонансное ядерное неупругое рассеяние рентгеновских фотонов.	9	3	2		1			
10.	<b>Комбинационное рассеяние света.</b>	10	3	2		1			

	<p><b>Колебательный спектр.</b>          Принцип метода и основные формулы. Вид спектра КРС в различных материалах.          Правила отбора. Обозначения Порто. Схема эксперимента.          Отличия от спектра идеального гармонического колебательного возбуждения.</p>								
11.	<p><b>Комбинационное рассеяние света. Нарушение правил отбора по волновому вектору и особые случаи КРС.</b> Понятия «электрического» и «механического» беспорядка для нарушение правила отбора по волновому вектору в спектроскопии КРС.          Поляритоны. Резонансное КРС.          Гиперкомбинационное рассеяние света. Активная КР-спектроскопия.          Гигантское комбинационное рассеяние света.</p>	11	3	2		1			
12.	<p><b>Метод поглощения инфракрасного света.</b> Принцип</p>	12	3	2		1			

	метода и основные формулы. Экспериментальная реализация. Фурье-спектрометры. Отклонения от правил отбора. Поляритонные эффекты								
13.	<b>Методы исследования акустических колебательных возбуждений.</b> Звуковые волны и их затухание. Особенность Ван-Хова и бозонный пик. Ультразвуковые методы. Спектроскопия рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Низкотемпературная теплоемкость и теплопроводность.	13	3		2	1			
14.	<b>Релаксационный отклик: Методы для среднего времени релаксации.</b> Контуры Дебая, Коль-Давидсона, Коль-Коля для релаксационной восприимчивости и «Затянутый» экспоненциальный отклик. Классификация разных типов релаксации. Уравнение Фогеля-Фулчера. Вязкость,	14	3		2	1			

	коэффициент диффузии..								
15.	<b>Релаксационный отклик: диэлектрическая и нейтронная спектроскопия.</b> Идея и способы реализации диэлектрической спектроскопии. Угол поворота и условие полного возбуждения спектра. Формула для неупругого рассеяния нейтронов на релаксационном отклике. Нейтронные спектрометры обратного рассеяния. Нейтронные спин-эхо спектрометры.	15	5		4	1			
16.	<b>Оптические методы исследования релаксационного отклика.</b> Общая формула для интенсивности рассеяния света. Спектральные методы. Методы для определения временной корреляционной функции: фотон-корреляционная спектроскопия, оптический эффект Керра, четырехволновое смешение, фотолюминесцентные методы.	16	2		2				

	Групповая консультация		2					2	
17.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18		
18.	Экзамен		4					2	2
<b>Всего</b>			<b>72</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

### Программа и основное содержание лекций (24 часа)

#### 1. Понятие конденсированной среды. (2 часа)

Особенность конденсированной среды. Виды конденсированных сред. Трансляционный порядок. Дальний порядок по центру масс и по ориентации молекул. Кристаллы. Жидкости. Стекла. Жидкие кристаллы. Пластические кристаллы. Кристаллы с элементами беспорядка. Ледовый беспорядок. Беспорядок замещения. Спиновый беспорядок. Суперионные проводники. Надмолекулярные структуры. Полимеры. Белки. Нанотрубки.

#### 2. Описание микроскопической структуры конденсированных сред. (2 часа)

Ближний порядок. Точечные группы симметрии. Дальний порядок. Сингонии. Класс симметрии. Решетки Браве. Обратная решетка. Зона Бриллюэна. Неприводимая часть зоны Бриллюэна. Средний порядок. Пространственная корреляционная функция.

#### 3. Колебательные возбуждения в конденсированных средах. (2 часа)

Континуальное приближение. Продольный и поперечный звук. Дебаевская плотность колебательных состояний. Молекулярные колебания. Неприводимые представления для колебательных возбуждений. Дискретное приближение для колебательных возбуждений. Оптические фононы. Классификация нормальных колебаний кристаллической решетки по их свойствам симметрии. Некристаллические материалы.

#### 4. Динамический отклик материала. (2 часа)

Релаксация. Корреляционная функция. Обобщенная восприимчивость. Диссипация. Флуктуационно-диссипационная теорема. Восприимчивость для экспоненциальной релаксации, затухающего осциллятора, звуковой волны, диффузии.

#### 5. Метод рассеяния при изучении атомной структуры. (2 часа)

Рассеяние в объемном материале. Условие Брэгга. Векторный вид условия Брэгга. Матричный элемент рассеяния. Фактор Дебая-Уоллера. Рассеяние в кристалле. Определение класса симметрии кристаллической решетки. Определения базиса кристаллической решетки. Метод Лауэ. Метод качания/вращения. Гониометрический метод. Метод порошка. Рассеяние в некристаллических материалах.

#### 6. Экспериментальные методы рассеяния рентгеновских лучей, нейтронов и электронов. (2 часа)

Сравнение различных типов излучения между собой. Экспериментальная реализация метода рассеяния рентгеновских лучей: схема, источники, детекторы. Рассеяние нейтронов. Когерентное и некогерентное рассеяние, роль изотопов. Источники нейтронов. Трехосный и времяпролетный спектрометры. Нейтронный фурье-дифрактометр. Детекторы нейтронов.

#### 7. Экспериментальные методы исследования локальной атомной структуры. (2 часа)



Роль методов определения локальной атомной структуры. Метод тонкой структуры края поглощения синхротронного излучения: предпики, NEXAFS, EXAFS. Основная формула EXAFS, способ реализации метода, анализ данных. Мессбауровская спектроскопия. Эффект Мессбауэра, мессбауэровские изотопы. Роль изомерного сдвига, зарядового состояния, квадрупольного и магнитного расщепления. Экспериментальная реализация мессбауэровской спектроскопии..

#### **8. Неупругое рассеяние нейтронов. Колебательный спектр. (2 часа)**

Общие формулы для неупругого рассеяния нейтронов. Когерентное неупругое рассеяние в кристаллах. Экспериментальная реализация. Когерентное неупругое рассеяние в некристаллических материалах: бриллюэновское рассеяние, кинематическое ограничение, сильно локализованное колебание. Некогерентное неупругое рассеяние нейтронов.

#### **9. Неупругое рассеяние рентгеновских лучей при изучении колебательного спектра. (2 часа)**

Отличия от случая рассеяния нейтронов. Экспериментальная реализация. Резонансное ядерное неупругое рассеяние рентгеновских фотонов.

#### **10. Комбинационное рассеяние света. Колебательный спектр. (2 часа)**

Принцип метода и основные формулы. Вид спектра КРС в различных материалах. Правила отбора. Обозначения Порто. Схема эксперимента. Однородное и неоднородное уширение линии КРС.

#### **11. Комбинационное рассеяние света. Нарушение правил отбора по волновому вектору и особые случаи КРС. (2 часа)**

Нарушение правила отбора по волновому вектору в спектроскопии КРС. «Электрический» и «механический» беспорядок. Рассеяние второго порядка. Поляритоны. Резонансное КРС. Гиперкомбинационное рассеяние света. Активная КР-спектроскопия. Гигантское комбинационное рассеяние света.

#### **12. Метод поглощения инфракрасного излучения. (2 часа)**

Принцип метода и основные формулы. Экспериментальная реализация. Фурье-спектрометры. Отклонения от правил отбора. Поляритонные эффекты

### **Программа практических занятий (12 часов)**

#### **1. Неупругое рассеяние нейтронов. Колебательный спектр. (2 часа)**

Общие формулы для неупругого рассеяния нейтронов. Когерентное неупругое рассеяние в кристаллах. Экспериментальная реализация. Когерентное неупругое рассеяние в некристаллических материалах: бриллюэновское рассеяние, кинематическое ограничение, сильно локализованное колебание. Некогерентное неупругое рассеяние нейтронов.

#### **2. Методы исследования акустических колебательных возбуждений. (2 часа)**

Звуковые волны и их затухание. Особенность Ван-Хова и бозонный пик. Ультразвуковые методы. Спектроскопия рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Низкотемпературная теплоемкость и теплопроводность.

#### **3. Релаксационный отклик: Методы для среднего времени релаксации. (2 часа)**

Контуры Дебая, Коль-Давидсона, Коль-Коля для релаксационной восприимчивости. «Затянутый» экспоненциальный отклик. Классификация разных типов релаксации. Уравнение Фогеля-Фулчера. Вязкость, коэффициент диффузии.

#### **4. Релаксационный отклик: диэлектрическая и нейтронная спектроскопия. (4 часа)**

Идея и способы реализации диэлектрической спектроскопии. Угол поворота и условие полного возбуждения спектра. Формула для неупругого рассеяния нейтронов на релаксационном отклике. Нейтронные спектрометры обратного рассеяния. Нейтронные спин-эхо спектрометры.

### **5. Оптические методы исследования релаксационного отклика. (2 часа)**

Общая формула для интенсивности рассеяния света. Спектральные методы. Методы для определения временной корреляционной функции: фотон-корреляционная спектроскопия, оптический эффект Керра, четырехволновое смешение, фотолюминесцентные методы.

### **Самостоятельная работа студентов (32 часа)**

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	14 часов
Подготовка к экзамену	18 часов

Перечень учебной литературы.

#### **5.1. Основная литература**

1. Суровцев Н.В. Спектроскопия конденсированных сред. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2010.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. Москва: Наука, 1978.

#### **5.2. Дополнительная литература**

3. Шаскольская М.П. Кристаллография. М: Высшая школа, 1976.

### **5. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.**

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Суровцев Н.В. Спектроскопия конденсированных сред. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2010.

### **6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

#### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используются.

#### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **7. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **8. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины Спектроскопия конденсированных сред используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации;

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся;

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **9. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется по оценочной системе в виде контрольных работ. Оценка знаний, умений, навыков и освоения компетенций обучающимися в рамках текущего контроля может проводиться согласно шкале и критериям, представленным ниже.

Три промежуточные письменные контрольные работы проводятся в течение семестра. При проведении контрольных работ пользоваться источниками информации запрещается.

Оценка за работу в семестре учитывает активность студента на практических занятиях, оцениваемую преподавателем, оценки за три контрольные работы, а также количество сданных задач из заданий для самостоятельного решения. За работу в семестре выставляется оценка "2" («неудовлетворительно») в случае, если за одну или более контрольную работу получена оценка 2 («неудовлетворительно»).

### **Промежуточная аттестация**

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области Спектроскопии конденсированных сред в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене с учётом результатов текущего контроля успеваемости. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию, по билетам, в устной форме. Билет состоит из двух вопросов. Уровень сформированности компетенций оценивается преподавателем по пятибалльной шкале с учётом критериев (таблица) по результатам ответов на вопросы билета и на дополнительные уточняющие вопросы.

Итоговая оценка не может быть выше “3” («удовлетворительно»), если оценка за работу в семестре “2” («неудовлетворительно»).

Для получения оценки «отлично» (продвинутый уровень усвоения компетенций) необходимо ответить на два вопроса билета и аргументированно ответить на дополнительные вопросы.

Для получения оценки «хорошо» (базовый уровень усвоения компетенций) нужно ответить на вопросы билета, допускаются ошибки при ответе на дополнительные вопросы.

Для получения оценки «удовлетворительно» (пороговый уровень усвоения компетенций) необходимо ответить хотя бы на один вопрос билета, допускаются незначительные ошибки, допускается отсутствие ответов на дополнительные вопросы.

Оценка «неудовлетворительно» - уровень усвоения компетенций не сформирован.

Обучающийся, имеющий неудовлетворительные результаты при прохождении промежуточной аттестации, обязан ликвидировать академическую задолженность по дисциплине, согласно установленным факультетом срокам прохождения повторной промежуточной аттестации. Сроки проведения повторной промежуточной аттестации согласовываются с преподавателем и утверждаются распоряжением декана.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### **Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Спектроскопия конденсированных сред».**

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.

				несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 2.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

### **Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения**

#### **Примеры контрольных вопросов (контрольные работы).**

1. Какие из перечисленных веществ не являются конденсированной средой: жидкость, газ, жидкий кристалл, биологическая клетка?
2. Укажите вещества, у которых есть дальний порядок по центру масс: кристалл, жидкость, стекло, жидкий кристалл, пластический кристалл.
3. Может ли взаимное расположение атомов в молекуле быть охарактеризовано группой точечных операций симметрии?
4. Какому пространству соответствует обратная решетка кристалла: геометрическому пространству, в котором расположены атомы, пространству волновых векторов, пространству энергии элементарных возбуждений, пространству энергии звуковых волн?
5. Как скорость звука для определенного типа звуковой волны зависит от частоты и волнового вектора в континуальном приближении?
6. Что называют оптическими фононами в кристаллах?
7. Запишите выражение для флуктуационно-диссипационной теоремы.
8. Запишите выражение для мнимой части восприимчивости, соответствующей экспоненциальной релаксации со временем.
9. Можно ли определить структуру кристалла  $\text{CH}_4$  по распределению рассеяния нейтронов?
10. Можно ли определить структуру вещества по рассеянию рентгеновского излучения в порошке?
11. Как устроен времяпролетный спектрометр для измерения упругого и неупругого рассеяния нейтронов?
12. Что измеряют в методе EXAFS?
13. Можно ли методом мессбауэровской спектроскопии определить заряд ионов железа и меди в стеклянной матрице?
14. В чем состоит принцип метода позитрон-аннигиляционной спектроскопии?

15. Что такое фактор Дебая-Уоллера и в каких экспериментальных методиках сигнал (спектр) зависит от значения этого фактора?
16. Можно ли по данным малоуглового рассеяния нейтронов определить размер нанометровых кристаллитов в коллоидном растворе?
17. Какие устройства нужны для измерения спектра комбинационного рассеяния света?
18. Какими факторами определяются позиция и ширина линии в спектре комбинационного рассеяния света?
19. В чем заключается правило отбора по волновому вектору в спектроскопии комбинационного рассеяния света?
20. В чем заключаются правила отбора по симметрии колебательных возбуждений в спектроскопии комбинационного рассеяния света, инфракрасного поглощения и гиперкомбинационного рассеяния света?
21. Запишите выражение для отношения стоксовой и антистоксовой интенсивности для однофонного и двухфонного спектра комбинационного рассеяния света.
22. В чем заключается принцип работы фурье-спектрометра для инфракрасного поглощения?
23. Как сигнал в диэлектрической спектроскопии связан с восприимчивостью релаксационного отклика?

### **Вопросы на экзамен**

*На проверку сформированности компетенции ПК-1:*

1. Расскажите про метод рассеяния при исследовании структуры конденсированных сред (основные идеи, понятия, формулы).
2. Расскажите про метод рассеяния нейтронов при исследовании структуры конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
3. Расскажите про метод рассеяния синхротронного излучения при исследовании структуры конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
4. Расскажите про метод EXAFS при исследовании структуры конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
5. Расскажите про спектроскопию месбауэровского поглощения при исследовании структуры конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
6. Расскажите про спектроскопию неупругого рассеяния нейтронов при исследовании колебательных возбуждений конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
7. Расскажите про спектроскопию неупругого рассеяния синхротронного излучения при исследовании колебательных возбуждений конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
8. Расскажите про спектроскопию ядерного резонансного неупругого рассеяния синхротронного излучения при исследовании колебательных возбуждений конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
9. Расскажите про спектроскопию FRET при исследовании структуры конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
10. Расскажите про спектроскопию комбинационного рассеяния света при исследовании колебательных возбуждений конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).

*На проверку сформированности компетенции ПК-2:*

11. Расскажите про спектроскопию поглощения инфракрасного света при исследовании колебательных возбуждений конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
12. Расскажите про спектроскопию рассеяния Манделштама-Бриллюэна при исследовании акустических возбуждений конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).

13. Расскажите про спектроскопию неупругого рассеяния нейтронов с использованием спектрометров обратного рассеяния при исследовании релаксационного отклика конденсированных сред (основные идеи, экспериментальная реализация).
14. Расскажите про спектроскопию неупругого рассеяния нейтронов с использованием спин-эхо спектрометров при исследовании релаксационного отклика конденсированных сред (основные идеи, экспериментальная реализация).
15. Расскажите про спектральные методы исследования релаксационного отклика конденсированных сред по неупругому рассеянию света (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
16. Расскажите про методы исследования релаксационного отклика конденсированных сред по временной корреляционной функции рассеянного света (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).
17. Расскажите про методы исследования релаксационного отклика конденсированных сред по диэлектрической восприимчивости (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация).

### Пример экзаменационного билета

<p><i>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</i></p> <p><b>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</b></p> <p><b>Физический факультет</b></p>
<p><b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</b></p> <p>1. Расскажите про метод рассеяния при исследовании структуры конденсированных сред (основные идеи, понятия, формулы) (на компетенцию ПК-1).</p> <p>2. Расскажите про спектроскопию рассеяния Мандельштама-Бриллюэна при исследовании акустических возбуждений конденсированных сред (основные идеи, формулы, экспериментальная реализация) (на компетенцию ПК-2).</p> <p>Составитель _____ / Суровцев Н.В. / (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации фонда оценочных средств  
по дисциплине «Спектроскопия конденсированных сред»  
по направлению подготовки 03.04.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного



