

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО  
решением  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_ г. № \_\_\_\_

**Рабочая программа дисциплины**

Введение в спектроскопию твердого тела

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.02 Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

магистерская программа "Квантовые и нейроморфные технологии"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год начала обучения

2023

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Введение в спектроскопию твердого тела» относится к вариативной части Б1.В блока Б1 «Дисциплины (модули)», является элективной дисциплиной, преподается во втором семестре первого года обучения в магистратуре.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у студентов представления о передовых методах в области спектроскопии твердого тела, использующихся при экспериментальных исследованиях;
- ознакомление студентов с модельными представлениями, используемыми при решении задач спектроскопии в твёрдых телах;
- формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<b>ПК-1</b> способен 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	<i>(ПК-1) Знать</i> базовые методики, новейшие достижения и современные проблемы в области спектроскопии твердого тела. <i>(ПК-1) Уметь</i> использовать новейшие достижения в области спектроскопии твердого тела в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе. <i>(ПК-1) Владеть</i> передовыми современными методами решения практических задач спектроскопии твердого тела.

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часов занятия лекционного типа, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов подготовка и сдача экзамена, 38 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

## Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Идеи, положенные в основу спектроскопии твердых тел.	16	5			5	6
Отражательная спектроскопия. Спектроскопия твердых тел методом нарушенного полного внутреннего отражения	16	5			5	6
Основы нелинейной спектроскопии твердых тел	16	5			5	7
Межзонное поглощение в полупроводниках. Фотопроводимость. Фотолюминесценция.	16	5			5	6
Комбинационное рассеяние света.	18	5			5	6
Техника экспериментов по спектроскопии твердых тел. Многослойные твердотельные структуры.	24	7			7	8
в т.ч. текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация – Экзамен					2	36

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

### **4. Образовательные технологии**

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий

проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Институте физики микроструктур Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

## **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

**Типовые задачи**, предлагаемые студентам в качестве домашних контрольных работ:

Задача 1. Рассчитать выход люминесценции с учетом захвата электронов центрами рекомбинации.

Задача 2. Оценить ампер-ваттную чувствительность фотоприемника на основе эпитаксимального слоя HgCdTe по заданным времени жизни неосновных носителей и их подвижности.

Задача 3. Выписать выражение для диэлектрической проницаемости системы не взаимодействующих осцилляторов. Пояснить соотношения Крамерса — Кронига для диэлектрической проницаемости.

Задача 4. Объяснить выигрыши Жакино и Фелжета для фурье-спектрометра.

**6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине,**  
включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

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

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«незачет»		«зачет»				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Умения</u> Уметь использовать новейшие достижения современной физики твердотельного магнетизма в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубым и ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубым и ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u> Владеть передовыми современными методами решения практических задач твердотельного магнетизма	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

проценту правильно выполненных кон- трольных заданий							
--	--	--	--	--	--	--	--

## 6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме. Устная часть экзамена заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение задач по различным разделам курса.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит исчерпывающие, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение уверенно применять на практике приобретенные навыки, владение в полной мере методиками решения задач. 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями; неполно отвечает на дополнительные вопросы; приводит достаточно аргументированные и почти полные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами; или исчерпывающее решение приводится только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена с заметными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.

	Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированных в билете задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оценки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

**Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

1. Диэлектрическая проницаемость системы невзаимодействующих осцилляторов. Формула Клаузиуса — Мосотти.
2. Соотношение Крамерса — Кронига для диэлектрической проницаемости.
3. Отражение электромагнитного излучения от однородной безграничной среды. Нормальное падение. Наклонное падение. TE (s) и ТМ (p) поляризации падающих волн. Спектроскопия тонких пленок.
4. Межзонная и примесная фотопроводимость в полупроводниках. Механизмы рекомбинации носителей. Фотолюминесценция.
5. Поверхностные волны на границах раздела сред. Поверхностные поляритоны.
6. Поверхностные и волноводные моды в слоях и пленках. Высвечивающиеся (leaky) волны. Дифракционные способы возбуждения ПВ. Проблема оптимального размера щели между призмой и поверхностью.
7. Механизмы нелинейностей (электронная, керровская, из-за непараболичности зоны в полупроводниках и т. д.). Квадратичная и кубичная нелинейности. Генерация гармоник электромагнитного поля.
8. Поглощение в кристалле с идеальной решеткой. Классическое и квантовое выражения для показателя поглощения.
9. Соотношения между вероятностями поглощения, вынужденного и спонтанного излучения в термодинамическом равновесии. Люминесценция в твердых телах.
10. Квантовая теория комбинационного рассеяния света. Вывод вероятностей стоксового и антистоксового рассеяния методом теории возмущений.
11. Дифракционные монохроматоры. Линейная дисперсия, разрешающая способность, светосила. Расчет основных параметров призмы и дифракционной решетки.
12. Фурье-спектрометр. Спектральная дискриминация в интерферометре Майкельсона. Выигрыш Жакино и Фелжета.
13. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов, используемые в монохроматорной и фурье-спектроскопии.

**Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**



Для оценки сформированности компетенции **ПК-1**: способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности:

Задача 1. Рассчитать выход люминесценции с учетом захвата электронов центрами рекомбинации.

Задача 2. Оценить ампер-ваттную чувствительность фотоприемника на основе эпитаксиального слоя HgCdTe по заданным времени жизни неосновных носителей и их подвижности.

Задача 3. Выписать выражение для диэлектрической проницаемости системы невзаимодействующих осцилляторов. Пояснить соотношения Крамерса — Кронига для диэлектрической проницаемости.

Задача 4. Объяснить выигрыши Жакино и Фелжета для фурье-спектрометра.

## 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Введение в спектроскопию твердого тела»

### а) основная литература:

1. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников // Физика полупроводников, М., «Наука», 1990.
2. В.П. Грибковский // Теория поглощения и испускания света в полупроводниках, Минск, «Наука и техника», 1975.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц // Электродинамика сплошных сред, М., «Наука», 1982.
4. Н. Ашкрофт, Н. Мермин // Физика твердого тела, М., «Мир», 1979, Т.1 - приложение «Л»; Т.2 — гл.27

### б) дополнительная литература:

- 1) С.М. Зи. Физика полупроводниковых приборов. М., 1973.

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Журнал Optics Express

<https://www.osapublishing.org/oe/home.cfm>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных

возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы) \_\_\_\_\_ В.В. Румянцев

Рецензент(ы) \_\_\_\_\_

Зав. межфакультетской базовой кафедрой  
«Физика наноструктур и наноэлектроника»,  
д. ф.-м. н., профессор,  
чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_ / Красильник З.Ф. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_ года,  
протокол № б/н.

Председатель  
Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ \_\_\_\_\_ / Перов А.А. /