

**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 "27" апреля 2022 г. №6

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Актуальные проблемы теории оптических явлений в**  
**полупроводниках и полупроводниковых структурах»**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и нанoeлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижний Новгород  
2022 год

**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 "27"апреля 2022 г. №6

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Актуальные проблемы теории оптических явлений в**  
**полупроводниках и полупроводниковых структурах»**

**Уровень высшего образования**  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

**Научные специальности**

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и наноэлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижний Новгород  
2022 год

### 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Актуальные проблемы теории оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах» является факультативной дисциплиной по выбору и изучается на 2 году обучения, в 4 семестре.

#### Целями освоения дисциплины являются:

- владение основными положениями современной квантовой теории объемных полупроводников и полупроводниковых структур, а также понимание физических механизмов протекания в них оптических явлений;
- освоение аспирантами методов расчёта характерных времен излучательных и безызлучательных переходов, происходящих в полупроводниках;
- выработка у аспирантов практических навыков моделирования кинетики люминесценции в реальных полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах аналитическими и численными методами.

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет всего - 36 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа – 18 часа, 18 часа – занятия семинарского типа).

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего		
	Очное						
1. Взаимодействие электромагнитного поля с веществом.	20	3	3	–	6	14	
2. Поглощение света прямозонными полупроводниками.	20	3	3	–	6	14	
3. Электрон-фононное взаимодействие.	22	4	4	–	8	14	

4. Поглощение света непрямыми полупроводниками.	22	4	4	—	8	14
5. Оптические переходы в квантовых ямах и точках.	22	4	4	—	8	14
В т.ч.текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация – зачет						

**Таблица 3**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятий	Форма текущего контроля
1.	Взаимодействие электромагнитного поля с веществом.	Экранирование электромагнитного поля в твердых телах. Формула Линдхарда. Временная дисперсия диэлектрической проницаемости. Коэффициент поглощения электромагнитной волны. Соотношения Крамерса-Кронига. Микроскопический подход. Гамильтониан системы. Вероятность (скорость) межзонного электронного перехода в единицу времени. Правила отбора по квазиимпульсу. Поглощение волны. Расчет диэлектрической функции. Коэффициент поглощения электромагнитной	Лекции, практические занятия.	Презентации обучающимися докладов по индивидуальным тематическим заданиям.

		<p>энергии полупроводником.</p> <p>Сила осциллятора.</p> <p>Излучение электромагнитной волны. Связь между вероятностью излучения и коэффициентом поглощения.</p>		
2.	<p>Поглощение света прямозонными полупроводниками.</p>	<p>Использование «Золотого правила Ферми» для расчета вероятности поглощения света.</p> <p>Коэффициент поглощения электромагнитной волны в случае прямых межзонных переходов.</p> <p>Зависимость коэффициента поглощения от частоты поглощенного света – пороговый характер поглощения.</p>	<p>Лекции, практические занятия.</p>	<p>Презентации обучающимися докладов по индивидуальным тематическим заданиям.</p>
3.	<p>Электрон-фононное взаимодействие.</p>	<p>Колебания кристаллической решетки.</p> <p>Акустические и оптические моды.</p> <p>Квантование колебаний решетки – фононы.</p> <p>Взаимодействие электронов с колебаниями решетки: модели жестких и деформированных ионов.</p>	<p>Лекции, практические занятия.</p>	<p>Презентации обучающимися докладов по индивидуальным тематическим заданиям.</p>

4.	Поглощение света непрямозонными полупроводниками.	Расчет вероятности электронно-дырочного перехода с участием фононов в кремнии и германии. Теория возмущений второго порядка для таких переходов. Типы промежуточных состояний. Коэффициент поглощения света в непрямозонном полупроводнике – зависимость от частоты поглощенного света.	Лекции, практические занятия.	Презентации обучающимися докладов по индивидуальным тематическим заданиям.
5.	Оптические переходы в квантовых ямах и точках.	Электронные спектры и волновые функции в квантовых структурах – эффект размерного квантования. Энергетические подзоны и минизоны. Приближение огибающей. Межзонные и внутризонные переходы. Вычисление коэффициента поглощения электромагнитной волны в квантовых ямах, сверхрешетках и квантовых точках.	Лекции, практические занятия.	Презентации обучающимися докладов по индивидуальным тематическим заданиям.

#### 4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, подготовку устного доклада (публичного выступления), подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примерные темы для устного доклада (публичного выступления) приведены в п. 6.4 настоящей Рабочей программы дисциплины.

## **5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

### **5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.**

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные экзаменаторами);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая лаконичности);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

### **Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме экзамена**

#### **Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета**

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой</b>
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

### **5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине**

5.2.1. При проведении зачета обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины

1. Что такое прямозонность и непрямозонность?

2. Как ведет себя статическая диэлектрическая функция металла для длинноволновых полей? Почему у полупроводника (диэлектрика) другое поведение диэлектрической функции?
3. Свойства динамической диэлектрической функции. Что такое временная дисперсия?
4. Почему межзонный переход должен быть прямым?
5. Связь амплитуды электрического поля в волне и количества фотонов.
6. Что такое экситон? Каков спектр экситона?
7. Акустические и оптические колебания в длинноволновом пределе.
8. Сколько фононов в основном состоянии кристаллической решетки?
9. Гамильтониан фононов в представлении вторичного квантования.
10. Суть модели «жестких ионов».
11. Какие бывают не прямые переходы в кремнии и германии?
12. Почему в не прямом переходе должны участвовать фотон и фонон?
13. Может ли быть прямым внутризонный переход в не прямозонном полупроводнике?
14. Зависимость коэффициента поглощения от частоты в прямозонном и не прямозонном полупроводнике.
15. Что такое квантовая яма, квантовая нить (проволока), квантовая точка?
16. Причина образования минизон в сверхрешетках.

#### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.**

##### **а) основная литература:**

1. Дж. Займан. – Принципы теории твердого тела. – М.: Мир. – 1974. – 472 с.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=80063> 3 экз

2. А.И. Ансельм. – Введение в теорию полупроводников. – СПб: Издательство "Лань". – 2016. – 624 с.

Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71742>

##### **б) дополнительная литература:**

Дж. Займан. – Электроны и фононы. – М.: ИЛ. – 1962. – 488 с.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=80063> 3 экз

##### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

<http://www.lib.unn.ru/> – интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ.

#### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения для проведения занятий: лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Авторы

профессор кафедры теоретической физики  
физического факультета,  
д. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_ / Бурдов В.А. /



профессор кафедры теоретической физики  
физического факультета,  
д. ф.-м. н., профессор

\_\_\_\_\_ / Сатанин А.М. /

Рецензент (ы)

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н., доц. Бурдов В.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от  
\_\_\_\_\_ 2022 года, протокол № б/н