

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 13 от 30.11.2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Теория оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых  
структурах

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
магистерская программа «Физика конденсированного состояния»

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Теория оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах» относится к вариативной части Б1.В блока Б1 «Дисциплины (модули)», является элективной дисциплиной, преподается на первом году обучения, во втором семестре.

Целями освоения дисциплины «Теория оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах» являются:

1. знакомство студентов с основными положениями современной квантовой теории полупроводников, а также понимание физических механизмов протекания в них оптических явлений;
2. освоение студентами методов расчета характерных времен излучательных и безызлучательных переходов, происходящих в полупроводниках;
3. выработка у студентов практических навыков моделирования кинетики люминесценции в реальных полупроводниках аналитическими и численными методами.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-3.  Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	<i>ПК-3.1. Знание основных законов физики ПК-3.2. Умение решать научно-инновационные задачи в своей инновационной и проектной деятельности ПК-3.3. Навыки применения результатов научных исследований в инновационной и проектной деятельности и зарубежного опыта</i>	(ПК-3) Знать основные физические принципы описания оптических явлений в полупроводниках;  (ПК-3) Уметь решать типовые задачи оптики полупроводников;  (ПК-3) Владеть навыками решения основных типов задач оптики полупроводников.	Индивидуальное собеседование, выполнение практических заданий	Вопросы к экзамену

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>



#### 4. 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, выполнение домашних заданий 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 при подготовке к экзамену по дисциплине.

#### 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Экзамен	
Превосходно	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями. Исчерпывающее и логически строгое изложение всех разделов дисциплины. Владение материалом позволяет быстро справиться с видоизмененным заданием. Успешное решение любых типов практических заданий.
Отлично	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками. Твердое знание всех разделов дисциплины. Допускаются неточности, нарушения в последовательности изложения материала. Владение необходимыми приемами и способами решения практических заданий.
Очень хорошо	Хорошая подготовка с рядом заметных недочетов. Твердое знание основных разделов дисциплины. Владение необходимыми приемами и способами решения основных типов практических заданий.
Хорошо	В целом, хорошая подготовка, но со значительными ошибками. Твердое знание основных разделов дисциплины. Владение необходимыми приемами и способами решения практических заданий.
Удовлетворительно	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям. Знания основного содержания разделов дисциплины, допускаются грубые неточности, неправильные формулировки, нарушения в последовательности изложения материала. Имеющихся знаний достаточно для освоения дисциплин последующих курсов. Допускаются значительные ошибки при выполнении практических заданий.
Неудовлетворительно	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. Незнание значительной части основного содержания разделов дисциплины. Имеющихся знаний недостаточно для освоения дисциплин последующих курсов.

Плохо	Подготовка совершенно недостаточная. Отсутствуют знания большей части основного содержания разделов дисциплины. Имеющихся знаний совершенно недостаточно для освоения дисциплин последующих курсов.
-------	---

## 6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

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

– индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

*Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:* практические контрольные задания. Типы практических контрольных заданий:

– выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

### Критерии ответа студента на экзамене

*Оценка «отлично»* – Ответ полный и правильный, на основании изученной теории; материал изложен в определенной логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный и полностью выполнены индивидуальные практические задания.

*Оценка «хорошо»* – Ответ полный и правильный, на основании изученной теории; материал изложен в определенной логической последовательности при этом допущены две–три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя и правильно; полностью выполнены индивидуальные практические задания.

*Оценка «удовлетворительно»* – Ответ полный, но при этом допущена существенная ошибка или неполный, несвязный ответ и выполнены индивидуальные практические задания.

*Оценка «неудовлетворительно»* – Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя, не выполнены индивидуальные практические задания

## 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1. Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся:

1. Метод расчета диэлектрической функции по Вальтеру и Коэну.
2. Расчет спектра фононов в реальном полупроводнике.
3. Расчет примесного поглощения в прямозонном полупроводнике.
4. Расчет вероятности прямого межзонного поглощения в кремнии.
5. Численное моделирование кинетики люминесценции в прямозонном полупроводнике.
6. Численное моделирование кинетики люминесценции в прямозонном полупроводнике.

6.3.2. Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Анализ формулы Линдхарда в предельных случаях больших и малых длин волн.
2. Вычисление деформационного потенциала в прямозонном полупроводнике.

3. Схема непрямых межзонных электронных переходов в кремнии.
4. Правила отбора при межзонных переходах в халькогенидах свинца.
5. Расчет матричного перехода электрон-фононного взаимодействия при междолинном переходе с участием фонона.
6. Вычисление деформационного потенциала в прямозонном полупроводнике.

#### 6.3.3. Экзаменационные вопросы:

1. Формула Линдхарда.
2. Диэлектрическая проницаемость полупроводников в длинноволновом пределе.
3. Соотношения Крамерса-Кронига.
4. Вероятность межзонного электронного перехода.
5. Правила отбора по квазиимпульсу.
6. Расчет диэлектрической функции.
7. Коэффициент поглощения электромагнитной энергии.
8. Связь между амплитудой электромагнитной волны и количеством фотонов.
9. Коэффициент поглощения электромагнитной волны в случае прямых межзонных переходов.
10. Колебания кристаллической решетки.
11. Силовая матрица и ее свойства.
12. Динамическая матрица и ее свойства.
13. Нормальные координаты для колебаний решетки.
14. Квантование колебаний решетки – фононы.
15. Оператор электрон-фононного взаимодействия.
16. Непрямые межзонные переходы, идущие с участием фононов.
17. Расчет вероятности электронно-дырочного перехода с участием фононов в непрямозонном полупроводнике.
18. Типы промежуточных состояний при непрямых переходах.
19. Коэффициент поглощения света в непрямозонном полупроводнике – зависимость от частоты фотона.
20. Оператор электрон-фотонного взаимодействия.

#### 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

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

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

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

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется. Для практических занятий, связанных с работами на персональных компьютерах, используются терминал-классы, оборудованные в соответствии с требованиями охраны труда.

ННГУ обеспечен всем необходимым программным обеспечением для проведения практических занятий, связанных с работами на персональных компьютерах. Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

зав. кафедрой теоретической физики физического факультета, д. ф.-м. н., доцент, В.А. Бурдов.

Рецензент(ы):

зав. кафедрой теоретической физики физического факультета, д. ф.-м. н., доцент, В.А. Бурдов.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.11.2022, протокол № б/н.