

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

Теория оптических явлений в полупроводниках и
полупроводниковых структурах

(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)

Нижегород

1. Место и цели 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:

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

2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Теория оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах» составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 74 часа составляет самостоятельная работа обучающегося (38 часов самостоятельная работа в течение семестра, 36 часов самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

Содержание дисциплины «Теория оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Экранирование электромагнитного поля в твердых телах. Формула Линдхарда. Ее применение к металлам и полупроводникам. Диэлектрическая функция. Коэффициент поглощения электромагнитной волны. Соотношения Крамерса-Кронига.	24	4	4	–	8	16
2. Микроскопическая теория диэлектрической функции. Вероятность межзонного электронного перехода в единицу времени. Сила осциллятора. Коэффициент поглощения электромагнитной волны в случае прямых межзонных переходов. Зависимость коэффициента поглощения от частоты.	24	4	4	–	8	16
3. Колебания кристаллической решетки. Нормальные координаты для колебаний решетки. Фононы. Операторы рождения и уничтожения. Числа заполнения. Модель жестких ионов. Оператор электрон-фононного взаимодействия.	24	4	4	–	8	16
4. Непрямые переходы. Расчет вероятности перехода с участием фононов в непрямозонном полупроводнике. Теория возмущений второго порядка для таких переходов. Коэффициент поглощения света в непрямозонном полупроводнике – зависимость от частоты фотона.	25	4	4	–	8	17
В т.ч. текущий контроль	2	2				–

3. Образовательные технологии

- 1) Чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) методика «вопросы и ответы»;
- 4) выполнение практического задания у доски;
- 5) индивидуальная работа над практическим заданием;
- 6) работа в парах над практическим заданием;
- 7) работа в малых группах над практическим заданием;
- 8) методика «мозговой штурм».

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, 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, примеры практических заданий приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

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

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-2</p> <p>Способен самостоятельно анализировать, не предвзято оценивать и ориентироваться в передовых теоретических концепциях и достижениях современной физики</p>	<p>(ПК-2) Знать основные физические принципы описания оптических явлений в полупроводниках.</p> <p>(ПК-2) Уметь решать типовые задачи оптики полупроводников.</p> <p>(ПК-2) Владеть навыками решения основных типов задач оптики полупроводников.</p>

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Теория оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах» является **экзамен**.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

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).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

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

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

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

«Плохо» – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

«Неудовлетворительно» – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

«Удовлетворительно» – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

«Хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Очень хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Отлично» – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

«Превосходно» – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

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

6.3.1. При проведении промежуточной аттестации обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Теория оптических явлений в полупроводниках и полупроводниковых структурах»:

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 не прямых переходах.
19. Коэффициент поглощения света в непрямозонном полупроводнике – зависимость от частоты фотона.
20. Оператор электрон-фотонного взаимодействия.

6.3.2. 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.

6.3.3. 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.

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

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

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

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. А.И. Ансельм. – Введение в теорию полупроводников. – СПб: Издательство "Лань". – 2016. – 624 с.
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71742>.
2. Дж. Займан. – Принципы теории твердого тела. – М.: Мир. – 1974. – 472 с.
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=301136>.

б) дополнительная литература:

Дж. Займан. – Электроны и фононы. – М.: ИЛ. – 1962. – 488 с.
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=80063>.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- 1) пакеты символьной математики Wolfram Mathematica и MathWorks MATLAB;

- 2) Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ
<http://www.lib.unn.ru/>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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 федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

зав. кафедрой теоретической физики

физического факультета,

д. ф.-м. н., доцент

_____ / Бурдов В.А. /

Рецензент(ы):

Зав. кафедрой теоретической физики

физического факультета,

д. ф.-м. н., доцент

_____ / Бурдов В.А. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ от «_____» _____ 2023 года, протокол № б/н.

Председатель

Учебно-методической комиссии

физического факультета ННГУ

_____ / Перов А.А. /