

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

Основы физики полупроводниковых лазеров
(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 «Основы физики полупроводниковых лазеров» относится к вариативной части Б1.В блока Б1 «Дисциплины (модули)», преподается на первом году обучения, во втором семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов современных представлений о физических принципах и подходах лежащих в основе различных полупроводниковых источников стимулированного излучения, ознакомление с их характеристиками, существующими на сегодняшний день проблемами и тенденциями;
- 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
ПК-3 Способен свободно владеть разделами физики и применять результаты научных исследований в профильных областях для решения научно-практических и научно-технологических задач	<i>З1 (ПК-3) Знать</i> основные явления и эффекты при взаимодействии света и вещества. <i>У1 (ПК-3) Уметь</i> пользоваться основными подходами для описания основных характеристик полупроводниковых лазеров. <i>У2 (ПК-3) Уметь</i> ориентироваться в современной научной литературе по вопросам физики полупроводниковых лазеров. <i>В1 (ПК-3) Владеть</i> навыками решения проблемных вопросов, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часов, из которых 33 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 39 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	
1. Введение. Вопросы теории взаимодействия света и вещества	10	4			4	6
2. Состояния электронов и их числа заполнения.	10	4			4	6
3. Оптика межзонных переходов	12	6			6	6
4. Лазеры на межзонных переходах	12	6			6	6
5. Упрощенная теория полупроводникового лазера	12	6			6	6
6. Лазеры на внутризонных переходах	15	6			6	9
в т.ч.текущий контроль			4			
Промежуточная аттестация – Зачет					1	

Текущий контроль успеваемости осуществляется в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на зачете.

4. Образовательные технологии

В процессе изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: проблемный метод изложения материала и диалогичная форма проведения занятий.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических (семинарских) 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 (семинарского) типа проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя 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 Федеральном исследовательском центре Институт прикладной физики Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является зачет, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний.

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 обучающихся включает следующие виды:

- разбор лекционного материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала.

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 зачету по дисциплине.

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-3: Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	«незачет»	«зачет»
<u>Знания</u> Знать основные явления и эффекты при взаимодействии света и вещества.	Наличие грубых ошибок в основном материале	Знание основного материала с незначительными погрешностями
<u>Умения</u> Уметь пользоваться основными подходами для описания основных характеристик полупроводниковых лазеров.	неумение использовать полученные знания для решения задач, требующих владения методами релятивистской квантовой теории	умение применять полученные знания для решения конкретных задач и при проведении научных исследований в избранной области

<u>Навыки</u> Владеть навыками решения проблемных вопросов, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	отсутствие ряда важнейших навыков, предусмотренных данной компетенцией	наличие основных навыков, продемонстрированное в стандартных ситуациях при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 50 %	50 – 100%

6.2. Описание шкал оценивания

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

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

Зачет проводится в устной форме. Устная часть зачета 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.

Оценка	Уровень подготовки
Зачет	В целом удовлетворительная подготовка, возможно с заметными, но не грубыми ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы собеседования, возможно с небольшими неточностями, допускаются негрубые ошибки при ответах на дополнительные вопросы. Полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей, возможно с не всегда полной обоснованностью выводов, и в целом демонстрируют знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки. 50-100 %-ное выполнение заданий
Незачет	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы, так и на наводящие и дополнительные вопросы преподавателя, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки. 0-50 %-ное выполнение заданий

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

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

- индивидуальное собеседование,

- устные и/или письменные ответы на вопросы.

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

Вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

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

- 1) Метод возмущений первого порядка в теории электронных переходов.
- 2) Вывод и рамки применимости золотого правила Ферми.
- 3) Спонтанное и вынужденное излучение света.
4. Излучение абсолютно черного тела.
- 5) Термодинамические соотношения Эйнштейна.
- 6) Полуклассический подход в теории взаимодействия света и вещества. Оператор взаимодействия в дипольном приближении.
- 7) Соотношение между коэффициентом оптического поглощения и темпом индуцированных светом переходов.
- 8) Классический подход в теории взаимодействия света и вещества. Материальные соотношения и понятия о высокочастотной диэлектрической проницаемости и проводимости.
- 9) Соотношение между коэффициентом поглощения света и компонентами диэлектрической проницаемости среды.
- 10) Поглощение света свободными электронами в приближении тождественных частиц. Формула Друде-Лоренца
- 11) Формулировка кинетического уравнения Больцмана и его приближенных методов решения в приложении к вопросам взаимодействия света с газом заряженных частиц.
- 12) Квантовый подход в теории взаимодействия света и вещества. Электромагнитное поле как совокупность гармонических операторов, понятие фотона.
- 13) Спонтанное излучение света двухуровневой системой в квантовой теории поля.
- 14) Индуцированные светом переходы в первом порядке квантовой теории взаимодействия света и вещества и коэффициент поглощения/усиления света.
- 15) Оптика межзонных переходов в полупроводниках. Матричные элементы и поглощение на межзонных и внутризонных оптических переходах.
- 16) Плотность населенности электронных состояний в полупроводнике.
- 17) Вывод выражения для коэффициента поглощения/усиления света на межзонных переходах в полупроводнике.
- 18) Безызлучательные переходы и методы формирования инверсной населенности электронных состояний (на простых примерах).
- 20) Принцип формирования инверсной населенности электронных состояний и стимулированное излучения на межзонных переходах в полупроводниках, понятие квазиуровня Ферми.
- 21) Полупроводниковые лазеры с оптической накачкой.

- 22) Полупроводниковые лазеры с возбуждением электронным пучком.
- 23) Полупроводниковые лазеры с инжекционной накачкой на простом р-п переходе.
- 24) Особенности и преимущества полупроводникового инжекционного лазера на двойном гетеропереходе
- 25) Упрощенная теория полупроводниковых лазеров, пороговый ток, коэффициент усиления, эффективность излучения и т.д.
- 26) Полупроводниковые лазеры на межзонных переходах валентной зоны германия в скрещенных электрическом и магнитном полях.
- 27) Стимулированное излучение тяжелых дырок германия при их баллистическом разогреве в электрическом поле (НЕМАГ).
- 28) Квантово-каскадные лазеры на межподзонных переходах квантовых ям.

6.5. 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 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 «Основы физики полупроводниковых лазеров»

а) основная литература:

- 1) Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред.- Физматлит, 2005, 656 с. <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922101234.html>
- 2) Файн В.М. Ханин Я.И. Квантовая радиофизика. М., Сов. Радио, 1965, т. 1,2. – 9 экз.
- 3) Берестецкий В.Б., Ахиезер А. И. Квантовая электродинамика.- М. Наука, 1981. 431 с. – 6 экз.
- 4) Волоконные технологические лазеры [Электронный ресурс] : Учеб. пособие / Ю. В. Голубенко, А. В. Богданов, Ю. В. Иванов, Р. С. Третьяков. - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0153.html

б) дополнительная литература:

- 1) Гинсбург В. Л. Рухадзе А. А. Волны в магнитоактивной плазме.- М. Наука, 1975. – 3 экз.
- 2) Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников.- М. Наука, 1978. – 4 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) А.А. Афоненко, В.К. Кононенко, И.С. Манак. Теория полупроводниковых лазеров. Учебное пособие.
<http://www.rfe.by/media/kafedry/kaf2/publications/afonenko/teoriya-polupr-lazeroz.pdf>
- 2) А.И. Слепцов, А.А. Алексеев. Исследование свойств полупроводникового лазера и изучение возможностей его использования в лабораторных и демонстрационных опытах по физике. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова Выпуск № 4 / том 5 / 2008. <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svoystv-poluprovodnikovogo-lazera-i-izuchenie-vozmozhnostey-ego-ispolzovaniya-v-laboratornyh-i-demonstratsionnyh-opytah#ixzz3aCJAdpIN>

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 высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

В.Н. Шастин

Рецензент(ы):

Заведующий кафедрой

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. /