

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
Основы физики полупроводниковых лазеров

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 «Основы физики полупроводниковых лазеров» относится к блоку ФТД «Факультативы», является факультативной дисциплиной, преподается на первом году обучения, во втором семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

1. 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;
2. 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 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</i> <i>ПК-3.2. Умение решать научно-инновационные задачи в своей инновационной и проектной деятельности</i> <i>ПК-3.3. Навыки применения результатов научных исследований в инновационной и проектной деятельности и зарубежного опыта</i>	(ПК-3) Знать основные явления и эффекты при взаимодействии света и вещества; (ПК-3) Уметь пользоваться основными подходами для описания основных характеристик полупроводниковых лазеров, уметь ориентироваться в современной научной литературе по вопросам физики полупроводниковых лазеров; (ПК-3) Владеть навыками решения проблемных вопросов, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Индивидуальные собеседования	Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
--	-------

Общая трудоемкость, з.е.	2
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	33
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	39
Промежуточная аттестация	зачет

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

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	
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	

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, 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.

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

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Зачет	
Зачтено	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий.
Не зачтено	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности.

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).

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, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

Задача 1.1

Вывести золотое правило Ферми.

Задача 1.2

Вывести спектральную плотность излучения абсолютно черного тела. Рассмотреть предельные случаи высоких и низких частот.

Задача 1.3

Вывести выражения для коэффициента поглощения света на межзонных переходах в полупроводнике.

6.3.2. Вопросы для итогового контроля сформированности компетенции:

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).
19. Принцип формирования инверсной населенности электронных состояний и стимулированное излучение на межзонных переходах в полупроводниках, понятие квазиуровня Ферми.
20. Полупроводниковые лазеры с оптической накачкой.
21. Полупроводниковые лазеры с возбуждением электронным пучком.
22. Полупроводниковые лазеры с инжекционной накачкой на простом p-n переходе.
23. Особенности и преимущества полупроводникового инжекционного лазера на двойном гетеропереходе
24. Упрощенная теория полупроводниковых лазеров, пороговый ток, коэффициент усиления, эффективность излучения и т.д.
25. Полупроводниковые лазеры на межзонных переходах валентной зоны германия в скрещенных электрическом и магнитном полях.

26. Стимулированное излучение тяжелых дырок германия при их баллистическом разогреве в электрическом поле (НЕМАГ).

27. Квантово-каскадные лазеры на межподзонных переходах квантовых ям.

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 необходимого количества учебников и учебных пособий в библиотеке, некоторые из которых представлены на сайте физического факультета ННГУ, электронной библиотеке кафедры ИТФИ в электронном виде.

Лекционный класс снабжен компьютером с проектором, что позволяет не только демонстрировать слайды, но и ряд вычислений проводить прямо в процессе чтения лекции

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

Автор(ы):

заведующий лабораторией полупроводниковых лазеров ИФМ РАН, профессор, д. ф.-м. н. В.Н. Шастин.

Зав. каф. "Физика наноструктур и наноэлектроника" _____

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