

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Радиофизический факультет
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением
ученого совета ННГУ
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы физики полупроводниковых лазеров
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
магистратура
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.04.03 радиофизика
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Квантовая радиофизика и лазерная физика
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.05.03, <i>основы физики полупроводниковых лазеров</i> относится к части ООП направления подготовки <i>03.04.03 радиофизика</i> , формируемой участниками образовательных отношений.

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**	
ПК-1. Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1. Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач ПК-1.2. Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий	<i>Знать</i> основные явления и эффекты при взаимодействии света и вещества. <i>Уметь</i> пользоваться основными подходами для описания основных характеристик полупроводниковых лазеров. <i>Владеть</i> навыками решения проблемных вопросов, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	<i>Собеседование</i>

ПК-2. Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты	<p>ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2. Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3. Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4. Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p><i>Знать</i> основные явления и эффекты при взаимодействии света и вещества.</p> <p><i>Уметь</i> пользоваться основными подходами для описания основных характеристик полупроводниковых лазеров.</p> <p><i>Владеть</i> навыками решения проблемных вопросов, основанными на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</p>	Собеседование
--	--	---	---------------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32

- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	
самостоятельная работа	29
КСР	2
Промежуточная аттестация – экзамен/зачет	45

3.2. Содержание 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	
1. Введение. Вопросы теории взаимодействия света и вещества	9	5			5	4
2. Состояния электронов и их числа заполнения.	10	5			5	5
3. Оптика межзонных переходов	10	5			5	5
4. Лазеры на межзонных переходах	10	5			5	5
5. Упрощенная теория полупроводникового лазера	11	6			6	5
6. Лазеры на внутризонных переходах	11	6			6	5
в т.ч.текущий контроль		2				
Промежуточная аттестация – Экзамен						

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 4 часа.

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

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 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.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.	Продemonstrированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми	Продemonstrированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми	Продemonstrированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все	Продemonstrированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными	Продemonstrированы все основные умения, решены все основные задачи. Выполнены

	отказа обучающегося от ответа	Имели место грубые ошибки.	ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
зачтено	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

5.2.1 Контрольные вопросы

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

17) Вывод выражения для коэффициента поглощения/усиления света на межзонных переходах в полупроводнике.	ПК-2
18) Безызлучательные переходы и методы формирования инверсной населенности электронных состояний (на простых примерах).	ПК-2
20) Принцип формирования инверсной населенности электронных состояний и стимулированное излучения на межзонных переходах в полупроводниках, понятие квазиуровня Ферми.	ПК-2
21) Полупроводниковые лазеры с оптической накачкой.	ПК-2
22) Полупроводниковые лазеры с возбуждением электронным пучком.	ПК-2
23) Полупроводниковые лазеры с инжекционной накачкой на простом p-n переходе.	ПК-2
24) Особенности и преимущества полупроводникового инжекционного лазера на двойном гетеропереходе	ПК-2
25) Упрощенная теория полупроводниковых лазеров, пороговый ток, коэффициент усиления, эффективность излучения и т.д.	ПК-2
26) Полупроводниковые лазеры на межзонных переходах валентной зоны германия в скрещенных электрическом и магнитном полях.	ПК-2
27) Стимулированное излучение тяжелых дырок германия при их баллистическом разогреве в электрическом поле (НЕМАГ).	ПК-2
28) Квантово-каскадные лазеры на межподзонных переходах квантовых ям.	ПК-2

5.2.2. Типовые вопросы для собеседования для оценки компетенций «ПК-1», «ПК-2»

Указаны в п.5.2.1.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред.- Физматлит, 2016, 656 с.
<http://znanium.com/catalog/document?id=369179>
- 2) Файн В.М. Ханин Я.И. Квантовая радиофизика. М., Сов. Радио, 1965, т. 1,2. – 4 экз.
- 3) Берестецкий В.Б., Ахиезер А. И. Квантовая электродинамика.- М. Наука, 1981. 431 с. – 5 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.Постоянная ссылка на документ:
https://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.

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-lazero.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#ixzz3aCJAdplN>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

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 ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 918.

Автор (ы) к.ф.-м.н. доцент Д.А.Рыжов

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н. профессор М.И. Бакунов

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.