

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

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Основы физики полупроводниковых лазеров

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.03 Основы физики полупроводниковых лазеров относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 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-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>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</p> <p>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</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>основные законы, теоретические модели и современные методы исследований и математического моделирования в области твердотельной электроники.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b></p> <p>использовать полученные знания для анализа результатов научных исследований и решения практических задач в области твердотельной электроники.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <p>разработкой методов научного исследования для получения новых фундаментальных знаний в области твердотельной электроники и способами применения этих знаний для создания прикладных технологий и решения практических задач.</p> <p>ПК-1.2:</p> <p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>основные законы, теоретические модели и современные методы исследований и математического моделирования в области</p>	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>твердотельной электроники.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b></p> <p>использовать полученные знания для анализа результатов научных исследований и решения практических задач в области твердотельной электроники.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <p>разработкой методов научного исследования для получения новых фундаментальных знаний в области твердотельной электроники и способами применения этих знаний для создания прикладных технологий и решения практических задач.</p>		
<p>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>	<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>ПК-2.1:</p> <p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>Базовые законы современной физики и их взаимосвязь, тенденции развития физики в обозримой перспективе, основные проблемы, стоящие перед современной физикой, а также предлагаемые средства их решения.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b></p> <p>понимать суть явлений и процессов, изучаемых физикой.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <p>основами методологии и практическими навыками научного познания при изучении различных уровней организации материи, пространства и времени.</p> <p>ПК-2.2:</p> <p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>Базовые законы современной физики и их взаимосвязь, тенденции развития физики в обозримой перспективе, основные проблемы, стоящие перед современной физикой, а также предлагаемые средства их решения.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b></p> <p>понимать суть явлений и</p>	Собеседование	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>процессов, изучаемых физикой.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <p>основами методологии и практическими навыками научного познания при изучении различных уровней организации материи, пространства и времени.</p> <p><b>ПК-2.3:</b></p> <p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>Базовые законы современной физики и их взаимосвязь, тенденции развития физики в обозримой перспективе, основные проблемы, стоящие перед современной физикой, а также предлагаемые средства их решения.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b></p> <p>понимать суть явлений и процессов, изучаемых физикой.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <p>основами методологии и практическими навыками научного познания при изучении различных уровней организации материи, пространства и времени.</p> <p><b>ПК-2.4:</b></p> <p><b>ЗНАТЬ:</b></p> <p>Базовые законы современной физики и их взаимосвязь, тенденции развития физики в обозримой перспективе, основные проблемы, стоящие перед современной физикой, а также предлагаемые средства их решения.</p> <p><b>УМЕТЬ:</b></p> <p>понимать суть явлений и процессов, изучаемых физикой.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b></p> <p>основами методологии и практическими навыками научного познания при изучении различных уровней организации материи, пространства и времени.</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
самостоятельная работа	29
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

#### 3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование разделов и тем дисциплины	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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Тема 1. Введение. Вопросы теории взаимодействия света и вещества	9	5		5	4
Тема 2. Состояния электронов и их числа заполнения	10	5		5	5
Тема 3. Оптика межзонных переходов	10	5		5	5
Тема 4. Лазеры на межзонных переходах	10	5		5	5
Тема 5. Упрощенная теория полупроводникового лазера	11	6		6	5
Тема 6. Лазеры на внутризонных переходах	11	6		6	5
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	108	32	0	34	29

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Вопросы теории взаимодействия света и вещества

Методы теории возмущений, золотое правило Ферми, частота Раби, спонтанное и вынужденное излучение электромагнитных волн, излучение абсолютно черного тела, термодинамические

соотношения Эйнштейна. Описание взаимодействия света и вещества в рамках классического подхода, формализм диэлектрической проницаемости. Полуклассический метод описания такого взаимодействия. Квантовая теория излучения и взаимодействия света и вещества.

## 2. Состояния электронов и их числа заполнения.

Волновая функция Блоха. Свободные и связанные состояния. Плотность электронных состояний.

Статистика заполнения электронных состояний и функция распределения. Равновесное, неравновесное и инвертированное распределение электронов по их состояниям. Квазиуровень Ферми Роль процессов накачки и релаксации в формировании населенности состояний.

## 3. Оптика межзонных переходов

Межзонные/внутризонные оптические переходы. Матричные элементы межзонных оптических переходов в полупроводниках. Плотность состояний оптических переходов. Коэффициенты усиления и поглощения.

## 4. Лазеры на межзонных переходах

Полупроводниковые лазеры при оптической накачке. Лазеры при накачке электронным пучком. Инжекционные лазеры на p-n гомопереходе. Лазеры на двойном гетеропереходе. Характеристики и условия работы лазеров на основе различных полупроводников.

## 5. Упрощенная теория полупроводникового лазера

Скоростные уравнения для плотности электронов и числа фотонов в моде. Условие генерации. Критическая скорость и пороговый ток накачки. Эффективность генерации и дифференциальный коэффициент полезного действия.

## 6. Лазеры на внутризонных переходах

Лазеры на переходах горячих дырок в германии, принцип действия и характеристики излучения. Квантово-каскадные лазеры на переходах между подзонами размерного квантования квантовых ям в 2D структурах, принцип действия и характеристики излучения.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

## **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

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:

- 1) разбор лекционного материала,
- 2) 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

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических 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 типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий, подготовку семинаров, а также теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы.

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

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

- 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.

### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

1) Плотность населенности электронных состояний в полупроводнике.

2) Вывод выражения для коэффициента поглощения/усиления света на межзонных переходах в полупроводнике.

3) Безызлучательные переходы и методы формирования инверсной населенности электронных состояний (на простых примерах).

4) Принцип формирования инверсной населенности электронных состояний и стимулированное излучения на межзонных переходах в полупроводниках, понятие квазиуровня Ферми.

5) Полупроводниковые лазеры с оптической накачкой.

6) Полупроводниковые лазеры с возбуждением электронным пучком.

7) Полупроводниковые лазеры с инжекционной накачкой на простом p-n переходе.

8) Особенности и преимущества полупроводникового инжекционного лазера на двойном гетеропереходе

9) Упрощенная теория полупроводниковых лазеров, пороговый ток, коэффициент усиления, эффективность излучения и т.д.

10) Полупроводниковые лазеры на межзонных переходах валентной зоны германия в скрещенных электрическом и магнитном полях.



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

12) Квантово-каскадные лазеры на межподзонных переходах квантовых ям.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	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 ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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» ИЛИ 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	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения 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 несущественных	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

					ошибок		
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. 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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	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
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### **5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1**

- 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.

#### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

- 1) Плотность населенности электронных состояний в полупроводнике.

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

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
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
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»

Оценка	Критерии оценивания
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»
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»

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория) : Учебное пособие. - 6-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2016. - 800 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-0530-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741026&idb=0>.
2. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 5. Статистическая физика. Часть 1 : Учебное пособие. - 6-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2018. - 620 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1510-0., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741027&idb=0>.
3. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика. Том 8. Электродинамика сплошных сред : Учебное пособие. - 5-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2016. - 656 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1702-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=741032&idb=0>.
4. Ю Питер. Основы физики полупроводников = Fundamentals of Semiconductors / пер. с англ. И. И. Решиной ; под ред. Б. П. Захарчени. - М. : Физматлит, 2002. - 560 с. - ISBN 5-9221-0268-0 : 56.00., 3 экз.

Дополнительная литература:

1. Карлов Николай Васильевич. Лекции по квантовой электронике. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 334, [1] с. : ил. - ISBN 5-02-013855-X (в пер.) : 2.20., 3 экз.
2. Ярив Амнон. Квантовая электроника и нелинейная оптика / пер. с англ. А. А. Барыбина [и др.] ; под ред. О. Г. Вендика, Я. И. Ханина. - М. : Советское радио, 1973. - 455 с., 1 л. ил. - 2.26., 4 экз.
3. Бертен Ф. Основы квантовой электроники / пер. с фр. Л. Н. Новикова ; под ред. Г. В. Скроцкого. - М. : Мир, 1971. - 629 с. : черт. - 2.82., 1 экз.
4. Ансельм Андрей Иванович. Введение в теорию полупроводников : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - 2-е изд., доп. и перераб. - М. : Наука, 1978. - 615 с. : ил. - 1.60., 25 экз.
5. Ю Питер. Основы физики полупроводников = Fundamentals of Semiconductors / пер. с англ. И. И. Решиной ; под ред. Б. П. Захарчени. - М. : Физматлит, 2002. - 560 с. - ISBN 5-9221-0268-0 : 56.00., 3 экз.

6. Зеегер К. Физика полупроводников : пер. с англ. Р. Бразиса [и др.] / под ред. Ю. К. Пожелы. - М. : Мир, 1977. - 615 с. : ил. - 2.90., 14 экз.
7. Файн Вениамин Моисеевич. Квантовая радиофизика. - М. : Советское радио, 1965. - 608 с. : ил. - 2.02., 4 экз.
8. Ахиезер Александр Ильич. Квантовая электродинамика. - 4-е изд., перераб. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. - 431 с. - 4347.00., 5 экз.
9. Гинзбург Виталий Лазаревич. Волны в магнитоактивной плазме. - Изд. 2-е, перераб. - М. : Наука, 1975. - 255 с. : с черт. - (Современные проблемы физики). - 0.90., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- 1) А.А. Афоненко, В.К. Кононенко, И.С. Манак. Теория полупроводниковых лазеров. Учебное пособие. [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/287913/1/90\\_SemicondLasersManak.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/287913/1/90_SemicondLasersManak.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. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svoystv-poluprovodnikovogo-lazera-i-izuchenie-vozmozhnostey-ego-ispolzovaniya-v-laboratornyh-i-demonstratsionnyh-opytah/viewer>
- 3) Успехи физических наук (<https://ufn.ru/ru/>).
- 4) Reviews of Modern Physics (RMP) (<https://journals.aps.org/rmp/>)
- 5) Physical Review B (PRB) (<https://journals.aps.org/prb/>)
- 6) Semiconductor Science and Technology (<http://iopscience.iop.org/journal/0268-1242>)
- 7) Физика и техника полупроводников (<http://journals.ioffe.ru/journals/2>)

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

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Дубинов Александр Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Красильник Захарий Фишелевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023 г., протокол № 09/23.