

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 Ученого совета ННГУ

протокол № 8 от 24.09.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика лазеров

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Физика 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 осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Знание основных принципов решения профессиональных задач в области физики лазеров ПК-1.2: Умение и навыки использования информационных технологий в области физики лазеров в профессиональной деятельности. Владение опытом использования информационно-коммуникационных технологий при решении научно-исследовательских задач.	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом	ПК-2.1: Знание методов приобретения новых научных и профессиональных знаний на основе современных образовательных и информационных технологий в области физики лазеров ПК-2.2: Умение приобретать новые научные и профессиональные знания, используя современные образовательные и	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	поставленной задачи ПК-2.3: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации.в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики	информационные технологии в области физики лазеров ПК-2.3: Опыт приобретения новых научных и профессиональных знаний на основе современных образовательных и информационных технологий в области физики лазеров		
--	---	---	--	--

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):	
- занятия лекционного типа	0
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	22
- КСР	1
самостоятельная работа	49
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

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/ лабора торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Введение. Лазерная среда	3		1	1	2
Оптическая накачка	3		1	1	2
Усиление и эффекты насыщения	3		1	1	2
Атомарные лазеры и ионные лазеры	3		1	1	2

Молекулярные лазеры	6		2	2	4
Лазеры на молекулах органических красителей . Методы перестройки частоты генерации	7		2	2	5
Твердотельные лазеры	10		3	3	7
Активная среда в резонаторе	6		2	2	4
Гауссовы пучки. Условие устойчивости открытых резонаторов	6		2	2	4
Тепловая линза активной среды	3		1	1	2
Неустойчивые резонаторы	3		1	1	2
Ширина линии генерации	3		1	1	2
Временные характеристики генерации. Нестационарный режим генерации. Управление добротностью резонатора. Синхронизация продольных мод резонатора.	7		2	2	5
Элементная база оптических квантовых генераторов	8		2	2	6
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	22	23	49

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Лазерная среда.

Инверсия-необходимое условие усиления. Показатель усиления. Сечение перехода. Квантовый выход. Полный и дифференциальный коэффициенты полезного действия. Оптическая накачка. Механизмы заселения и очищения уровней рабочего перехода. Двухуровневая схема накачки. Скорость накачки. 3-х и 4-х уровневые схемы накачки. Зависимость начального коэффициента усиления от скорости накачки. Роль метастабильности верхнего уровня лазерного перехода в создании начального усиления. Усиление и эффекты насыщения. Влияние насыщения на величину усиления. Сужение контура усиления. Характеристики квантового усилителя. Насыщение в лазерах с большим усилением. Насыщение в усилителях при наличии выгорания дыр и кроссрелаксации.

Раздел 2. Атомарные и ионные лазеры. He-Ne лазер. Электронный удар 1-го и 2-го рода. Лазеры на самоограниченных переходах. Аргоновый и криптоновый лазеры.

Раздел 3. Химические лазеры.

Раздел 4. Молекулярные лазеры.

Электроионизационный метод накачки. Тепловая накачка в газодинамических лазерах. Лазеры на молекулах органических красителей. Органические красители. Ширина линии усиления. Влияние молекул растворителя на спектр усиления и генерации. Оптическая накачка лазеров на органических красителях. Схема уровней и основные переходы. Перестройка длины волны генерации.

Раздел 5. Твердотельные лазеры.

Диэлектрические кристаллы и стекла. Роль матрицы твердотельных лазеров. Спектральные характеристики сред, легированных ионами РЗЭ. Формирование спектров ионов группы железа в различных кристаллах. Аллюмоиттриевый гранат с неодимом. Рубин. Аллюмоиттриевый гранат с эрбием. Корунд с титаном. Александрит с хромом.

Раздел 6. Активная среда в резонаторе.

Стационарный режим генерации. Условие порога генерации. Оптимальная связь резонатора с внешней средой. Продольные моды резонатора. Резонансные частоты. Добротность резонатора. Формирование спектра выходного излучения лазера. Поперечные моды резонатора. Одномодовый режим генерации.

Избирательность заселения фотонных состояний. Лазер без резонатора. Пассивные и активные резонаторы.

Раздел 7. Условие устойчивости открытых резонаторов.

Диаграмма устойчивости. Матрица передачи светового луча при обходе резонатора. Дифракционные потери в открытых резонаторах. Конфокальный резонатор. Эквивалентные резонаторы. Резонаторы с внутренней линзой и диафрагмой. Тепловая линза активной среды. Фокусное расстояние и главные плоскости тепловой линзы. Учет тепловой линзы в лазерных системах. Неустойчивые резонаторы. Потери в неустойчивых резонаторах. Резонаторы телескопического типа. Преимущества неустойчивых резонаторов.

Раздел 8. Гауссовы пучки.

Распространение гауссового пучка в пространстве. Пространственная форма гауссового пучка. Комплексные параметры гауссового пучка. Преобразование гауссовых пучков в квадратичной среде. Согласование гауссовых пучков. Гауссов пучок в резонаторе. Применение закона АВСД к рассмотрению поля внутри резонатора. Неопределенность каустики конфокального резонатора.

Раздел 9. Ширина линии генерации.

Пространственная неоднородность активной среды. Однородное и неоднородное уширение линии рабочего перехода. Причины уширения. Контур линии усиления. Влияние матрицы на спектр усиления. Пространственное существование мод. Выгорание дыр. Межмодовая конкуренция. Эффект затягивания частот.

Раздел 10. Методы перестройки частоты генерации.

Изменение спектральной полосы усиления внешним воздействием. Селекция продольных мод резонатора. Перестраиваемые одночастотные лазеры. Лазеры с призмными дисперсионными резонаторами. Лазеры с дифракционными решетками. Резонаторы с анизотропными элементами. Нелинейно-оптический метод селекции частот. Конденсация спектра излучения.

Раздел 11. Нестационарный режим генерации.

Причины нестационарного режима генерации. Режим свободной генерации. Скоростные уравнения Статца-Де Марса. Влияние скорости релаксации верхнего уровня рабочего перехода на динамику генерации. Пиковый режим генерации. Управление добротностью резонатора. Режим генерации гигантских импульсов. Активная модуляция добротности резонатора. Электрооптические модуляторы. Акустооптические модуляторы. Пассивная модуляция добротности резонатора. Синхронизация продольных мод резонатора. Пассивная и активная синхронизация мод. Лазеры с синхронной накачкой. Компрессия импульсов с фазовой модуляцией в линейной оптической среде. Диспергирующие нелинейные оптические среды. Измерение длительности сверхкоротких импульсов.

Раздел 12. Элементная база оптических квантовых генераторов.

Источники некогерентной накачки. Квантроны. Лазерные диоды, линейки и матрицы. Зеркала резонаторов. Оптические элементы из анизотропных кристаллов. Системы охлаждения лазеров. Источники питания.

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 обучающихся включает следующие виды:

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

Текущий контроль усвоения моделей и понятий проводится путем проведения тестовых опросов непосредственно в процессе изложения материала по вопросам промежуточной аттестации.

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:

Совпадают с вопросами промежуточной аттестации

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

Совпадают с вопросами промежуточной аттестации

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

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

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				

ения компет							
<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 ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы 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	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 оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	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».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	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. Инверсия-необходимое условие усиления. Показатель усиления. Сечение перехода. Квантовый выход.
2. Полный и дифференциальный коэффициенты полезного действия.
3. Двухуровневая схема накачки. 3-х и 4-х уровневые схемы накачки.
4. Зависимость начального коэффициента усиления от скорости накачки. Роль метастабильности верхнего уровня лазерного перехода в создании начального усиления. Влияние насыщения на величину усиления.
5. Электронный удар 1-го и 2-го рода. He-Ne лазер. Ионные лазеры .
6. Электроионизационный лазер.
7. Тепловая накачка. Молекулярные лазеры.
8. Лазеры, перестраиваемые по частоте.
9. Стационарный режим генерации. Условие порога генерации.
- 10..Оптимальная связь резонатора с внешней средой.
- 11.Продольные моды резонатора. Резонансные частоты. Добротность резонатора. Формирование спектра выходного излучения лазера.
- 12.Поперечные моды резонатора. Одномодовый режим генерации.
- 13.Избирательность заселения фотонных состояний. Лазер без резонатора.
- 14.Пространственная неоднородность активной среды.
- 15.Однородное и неоднородное уширение линии рабочего перехода.
- 16.Влияние матрицы лазерной среды на спектр усиления.
- 17.Пространственное существование мод. Межмодовая конкуренция. Эффект затягивания частот.
- 18.Причины нестационарного режима генерации. Режим свободной генерации. Скоростные уравнения Статца-Де Марса.

19. Режим генерации гигантских импульсов. Активная модуляция добротности резонатора.
Пассивная модуляция добротности резонатора.
20. Режим синхронизации продольных мод резонатора.
21. Режим разгрузки резонатора. Отрицательная обратная связь.
22. Элементная база оптических квантовых генераторов.

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

1. Сформулировать условия осуществления инверсии населённостей на рабочем переходе.
2. Зависимость начального коэффициента усиления от скорости накачки.
3. Насыщение усиления в непрерывном и импульсном режимах генерации.
4. Декремент затухания и инкремент усиления.
5. Самоограниченный переход. Лазер на парах меди. Лазер на кристаллах, легированных ионами Er^{3+} .
6. Тепловая накачка в газодинамических лазерах.
7. Селективные резонаторы. Дисперсионные, дифракционные, интерференционные селекторы.
8. Межионный перенос энергии с участием фононов матрицы.
9. Открытые оптические резонаторы, их роль в формировании лазерного излучения.
10. Режим модуляции вредных потерь. Активная модуляция добротности резонатора.
11. Продольная и поперечная схемы накачки.
12. Электрооптические затворы.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

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

Основная литература:

1. Карлов Николай Васильевич. Лекции по квантовой электронике : [для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1983. - 319 с. : ил. - 1.10., 63 экз.
2. Страховский Глеб Михайлович. Основы квантовой электроники : учеб. пособие для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики". - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1979. - 303 с. : ил. - 0.95., 41 экз.

Дополнительная литература:

1. Звелто Орацио. Принципы лазеров = Principles of Lasers : [монография] / пер. с англ. Д. Н. Козлова, С. Б. Созинова, К. Г. Адамович ; под науч. ред. Т. А. Шмаонова. - Изд. 4-е. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2008. - 720 с. : ил. - (Учебные пособия для вузов. Специальная литература). - На тит. л.: Рус. перевод перераб. и доп. при участии автора книги. - ISBN 978-5-8114-0844-3 : 235.00., 1 экз.
2. Звелто Орацио. Принципы лазеров / пер. с англ. под ред. Т. А. Шмаонова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир, 1984. - 395 с. : ил. - 2.00., 2 экз.
3. Дудкин Валентин Иванович. Квантовая электроника. Приборы и их применение : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Техническая физика". - М. : Техносфера, 2006. - 432 с. - (Мир электроники ; 7 - 21). - ISBN 5-94836-076-8 : 275.00., 2 экз.
4. Савикин Александр Павлович. Перестраиваемые лазеры на халькогенидах, легированных ионами группы железа : учебно-методическое пособие / А. П. Савикин, А. С. Егоров ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2014. - 55 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=850583&idb=0>.

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

Савикин А. П. Синтез керамических образцов ZBLAN: Ho³⁺ и ZBLAN: Ho³⁺ – Yb³⁺ и исследование антистоксовой люминесценции : учебно-методическое пособие / Савикин А. П., Гришин И. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2016. - 19 с. - <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730022&idb=0>

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 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Савикин Александр Павлович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.