

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 № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика лазеров

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Информационные системы и технологии

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.02 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 собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования подходов, решений и выводов по соответствующим научным и профессиональным проблемам	<p>ПК-1.1: Знает методы обработки и интерпретации данных научных исследований</p> <p>ПК-1.2: Умеет собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований</p> <p>ПК-1.3: Имеет практический опыт сбора, обработки и интерпретации данных научных исследований</p>	<p>ПК-1.1: Знать способы методов сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области физики лазеров</p> <p>ПК-1.2: Уметь решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационно-коммуникационных технологий.. Уметь формировать выводы по научным исследованиям в области физики лазеров</p> <p>ПК-1.3: Владеть опытом решения стандартных задач профессиональной деятельности в области физики лазеров. Владеть опытом формирования выводов по научным исследованиям в области физики лазеров</p>	Опрос	Зачёт: 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):	
- занятия лекционного типа	22
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- 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/лабораторные работы), часы	Всего	
0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	
Лазерная среда.	5	2	0	2	3
Атомарные и ионные лазеры.	5	2	0	2	3
Химические лазеры	3	1	0	1	2
Молекулярные лазеры.	4	1	0	1	3
Твердотельные лазеры.	10	4	0	4	6
Активная среда в резонаторе.	6	2	0	2	4
Условие устойчивости открытых резонаторов.	6	2	0	2	4
Гауссовы пучки.	6	2	0	2	4
Ширина линии генерации.	6	2	0	2	4
Методы перестройки частоты генерации.	10	2	0	2	8
Нестационарный режим генерации.	10	2	0	2	8
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	22	0	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. Алюмоиттриевый гранат с неодимом. Рубин. Алюмоиттриевый 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 - 3 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.

Савикин А.П., Егоров А.С. Перестраиваемые лазеры на халькогенидах, легированных ионами группы железа: Учебно-методическое пособие. // Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 55с. (Фонд электронных ресурсов ННГУ, № 815.14.04)

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 - Опрос) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Спонтанное и вынужденное излучения. Вероятности переходов.
2. 3-х и 4-х уровневые схемы накачки.

3. Эффективные сечения излучения и поглощения.
4. Усиление. Насыщение усиления.
5. Продольные моды резонатора. Спектр генерации.
6. Поперечные моды резонатора. Расходимость лазерного пучка.
7. Однородное, неоднородное уширение линии рабочего перехода.
8. Активная среда. Газовые атомные и молекулярные лазеры.
9. Оптическая накачка. Когерентная и некогерентная накачка. Продольная и поперечная схемы накачки.
10. Твердотельные лазеры. Безызлучательная релаксация.
11. Лазеры с широкой полосой спектра усиления. Методы перестройки частоты генерации.
12. Стационарный режим генерации. Условие порога генерации.
13. Гауссовы пучки. Условие устойчивости резонатора.
14. Дифракционные потери. Неустойчивые резонаторы.
15. Нестационарный режим генерации. Скоростные уравнения Статца-де Марса.
16. Методы управления временными характеристиками генерации.
17. Элементная база оптических квантовых генераторов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Опрос)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Знание основных моделей физики лазеров с не принципиальными погрешностями или без них
не зачтено	Наличие грубых ошибок в знании моделей физики лазеров или отсутствие знаний в этой области на требуемом уровне.

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 ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие	При решении	Продемонс	Продемонс	Продемонс	Продемонс	Продемонс

	минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	трированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	трированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	трированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	трированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	трированы 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 и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми и 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	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

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Вероятности переходов спонтанного и вынужденного излучения и поглощения. Эффективные сечения переходов.
1. Распределение населённости по энергетическим состояниям атомов (ионов) при термодинамическом равновесии.
2. Уравнения баланса населённости 3-х уровневой схемы рабочих переходов.
3. Квантовый выход. Дифференциальный коэффициент полезного действия лазеров.
4. Насыщение в лазере с однородно уширенным контуром усиления.
5. Продольные и поперечные моды резонатора. Временная и пространственная когерентность лазерного излучения.
6. Вероятность внутри центровых безызлучательных переходов в ионах.
7. Резонатор Фабри-Перо. Основные характеристики.
8. Пиковый режим генерации. Причины нестационарного режима генерации.
9. Модуляция добротности резонатора.
10. Преобразование частоты генерации в нелинейных кристаллах.
11. Оптические системы управления пространственными характеристиками лазерного излучения.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Знание основных моделей физики лазеров с не принципиальными погрешностями или без них
не зачтено	Наличие грубых ошибок в ответах на контрольные вопросы или отсутствие знаний в области физики лазеров на требуемом уровне.

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. Физика лазеров / пер. с англ. под ред. Т. А. Шмаонова. - М. : Мир, 1979. - 373 с. : ил. - 1.90., 2 экз.
2. 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.

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

Савикин А. П. Синтез керамических образцов ZBLAN: Ho_3^+ и ZBLAN: $\text{Ho}_3^+ - \text{Yb}_3^+$ 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, компьютерами.

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.11.2024, протокол № 06/24.