

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №13 от 02 июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«МИКРООПТИКА И ФОТОНИКА»

Направление: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Иванов Николай Аркадьевич
Дата подписания: 03.08.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Ченский Александр
Геннадьевич
Дата подписания: 22.09.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Ниндакова Лидия
Очировна
Дата подписания: 27.08.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Микрооптика и фотоника» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

| Код, наименование компетенции | Код индикатора компетенции |
|--|----------------------------|
| ПКР-6 Готовность разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и других нормативных документов | ПКР-6.4 |

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

| Код индикатора | Содержание индикатора | Результат обучения |
|----------------|--|--|
| ПКР-6.4 | Демонстрирует знания об основных эффектах в системах микрооптики и фотоники, о сущности протекающих физических процессов в системах микрооптики и фотоники. Демонстрирует знание о потенциальных возможностях материалов при проектировании систем микрооптики и фотоники. Умеет рассчитывать основные параметры систем микрооптики и фотоники. Способен использовать специальные знания о процессах и материалах микрооптики и фотоники в профессиональной деятельности | Знать Знать основные эффекты в системах микрооптики и фотоники сущность протекающих физических процессов в системах микрооптики и фотоники Уметь Уметь рассчитывать основные параметры систем микрооптики и фотоники Владеть Владеть экспериментальным аппаратом для решения задач исследования наноматериалов и нанообъектов |

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Микрооптика и фотоника» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Физика наносистем», «Физические основы микро- и наносистемной техники», «Квантовая и оптическая электроника»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Конструирование микро- и наносистем»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

| Вид учебной работы | Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа) | |
|--------------------|---|-------------|
| | Всего | Семестр № 8 |
| | | |

| | | |
|---|-------|-------|
| Общая трудоемкость дисциплины | 108 | 108 |
| Аудиторные занятия, в том числе: | 45 | 45 |
| лекции | 18 | 18 |
| лабораторные работы | 18 | 18 |
| практические/семинарские занятия | 9 | 9 |
| Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование) | 63 | 63 |
| Трудоемкость промежуточной аттестации | 0 | 0 |
| Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине) | Зачет | Зачет |

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 8

| № п/п | Наименование раздела и темы дисциплины | Виды контактной работы | | | | | | СРС | | Форма текущего контроля |
|-------|---|------------------------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|-------------------------|
| | | Лекции | | ЛР | | ПЗ(СЕМ) | | № | Кол. Час. | |
| | | № | Кол. Час. | № | Кол. Час. | № | Кол. Час. | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1 | Место микрооптики и фотоники в структуре дисциплин | 1 | 2 | | | | | | | Устный опрос |
| 2 | Фундаментальные ограничения в микрооптике | 2 | 2 | | | 3 | 3 | | | Устный опрос |
| 3 | Коэффициенты Эйнштейна и вероятности переходов. Спектральные линии перехода | 3 | 2 | | | 1 | 2 | 3 | 8 | Устный опрос |
| 4 | Усиление излучения в активных средах. Матричный элемент оператора перехода | 4 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 9 | Устный опрос |
| 5 | Оптические нелинейности в композитных оптических материалах | 5 | 2 | | | | | | | Устный опрос |
| 6 | Устройства микрооптики и фотоники. | 6 | 8 | 2, 3, 4 | 16 | | | 1, 4, 5 | 46 | Устный опрос |
| | Промежуточная аттестация | | | | | | | | | Зачет |
| | Всего | | 18 | | 18 | | 9 | | 63 | |

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 8

| № | Тема | Краткое содержание |
|---|---|--|
| 1 | Место микрооптики и фотоники в структуре дисциплин | Определение микрооптики и нанооптики в структуре дисциплин нанонаук. Микрофотоника как основа преобразования оптических сигналов с помощью микро- и нано- устройств. |
| 2 | Фундаментальные ограничения в микрооптике | Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Принцип запрета Паули. Дифракционные ограничения. Эффеты ближнего поля электромагнитной волны. Способы преодоления дифракционных ограничений. |
| 3 | Коэффициенты Эйнштейна и вероятности переходов. Спектральные линии перехода | Уровни энергии квантовых систем. Индуцированные и спонтанные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Когерентность индуцированного излучения. Соотношение неопределенностей энергия-время, естественная ширина линии. Ширина спектра спонтанного излучения. Лоренцева форма линий. Гауссова форма линии при доплеровском уширении. Однородное и неоднородное уширение. |
| 4 | Усиление излучения в активных средах. Матричный элемент оператора перехода | Поглощение и усиление. Активная среда. Сечение поглощения. Насыщение поглощения, плотность потока энергии насыщающего излучения. Энергия насыщения в импульсном режиме. Уравнение Шредингера и волновые функции стационарных состояний. Приближения теории возмущений. Суперпозиции волновых функций стационарных состояний. Матричный элемент оператора дипольного момента перехода. Осцилляции населенности верхнего уровня, частота Раби. |
| 5 | Оптические нелинейности в композитных оптических материалах | Диэлектрические оптические материала с металлическими наночастицами. Усиление электромагнитного поля в присутствии металлических наночастиц. Оптическая нелинейность в диэлектрических материалах. |
| 6 | Устройства микрооптики и фотоники. | Особенности конструирования устройств микрооптики и фотоники. Способы формирования элементов микрооптики и микрофотоники. |

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 8

| № | Наименование лабораторной работы | Кол-во академических часов |
|---|--|----------------------------|
| 1 | Изучение работы полупроводникового лазера | 2 |
| 2 | Изучение работы микроспектрометра | 6 |
| 3 | Изучение работы полупроводникового микролазера | 4 |

| | | |
|---|---|---|
| 4 | Регистрация спектра излучения светодиодов и лазерных диодов | 6 |
|---|---|---|

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 8

| № | Темы практических (семинарских) занятий | Кол-во академических часов |
|---|---|----------------------------|
| 1 | Устный опрос. Решение задач. | 2 |
| 2 | Устный опрос. Решение задач. | 4 |
| 3 | Устный опрос. Решение задач. | 3 |

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 8

| № | Вид СРС | Кол-во академических часов |
|---|---|----------------------------|
| 1 | Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам | 16 |
| 2 | Подготовка к зачёту | 9 |
| 3 | Подготовка к практическим занятиям | 8 |
| 4 | Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам) | 20 |
| 5 | Подготовка к сдаче и защите отчетов | 10 |

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Дискуссии. Компьютерные симуляции.

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Методические рекомендации к решению задач.

Как следует из любого курса естественных дисциплин, мы всегда имеем дело с тем или иным приближением, упрощением. Абсолютно точное решение иногда не имеет смысла в силу статистического характера понятий, неточной определенности задаваемых или конечной точности измеряемых величин, несоизмеримости стоимости получения большого количества знаков после запятой и реальной важности такого результата. Часто достаточно знать лишь порядок величины. Однако численная оценка весьма полезна для быстрого получения результата, анализа или прогноза ситуации, выбора средств и т.д. Физик, как никто другой, должен уметь делать численные оценки, в том числе в уме, аргументировано подходя к точности оценки. Сказанное относится и к решению задач по квантовой электронике. Дело тут не только в правилах округления или определения значащих цифр в конечном результате, но и в смысле получаемого результата. Например, число генерируемых мод не может «равняться 11,3» - это целая величина, а оценка минимальной мощности лампы накачки числом 6620 Вт бессмысленна по точности – значение имеет только порядок величины. Поэтому следует различать задачи на точные и оценочные.

Однозначное решение возможно при однозначной постановке условий задачи. При

недостаточности (на ваш взгляд) условий, ситуацию в разумных пределах можно использовать, задав недостающие параметры, например, в виде округленных значений. Если для вычислений необходима, но не указана длина волны излучения лазера, и ничто прямо не указывает на ее принадлежность к конкретному известному источнику, то вы можете для упрощения вычислений в задаче взять ее равной, например, 1 мкм. Если не указан показатель преломления – примите его равным единице. Любую неоднозначность условий вы в праве также использовать на свое усмотрение. Но! Обязательно оговорите все условия, сделайте их достаточными и однозначными, обоснуйте при необходимости свой выбор. Если, как и в реальной жизни, в условиях задачи дано избыточное количество исходной информации - используйте необходимую.

Типичной ошибкой при решении задач, расчетах является несоблюдение одинаковых размерностей величин. Во всех разделах физики, наряду с системными, используются внесистемные, принятые в данной области науки, техники единицы. В оптике, спектроскопии, квантовой электронике – это волновые числа (вместо частоты) в см⁻¹, длина волны в ангстремах, нанометрах, микрометрах (миллимикронах), сечения вынужденных переходов в см², показатель усиления или поглощения в см⁻¹, объемные плотности энергии, концентрации и т.п. в соответствующих единицах, отнесенных к см³. Необходимо знать системы единиц, основные и производные единицы и правильно ими пользоваться. Но в то же время надо уметь профессионально оперировать внесистемными, общепринятыми в данной области и понятными специалистам величинами. Крайне желательно вместе с цифровыми вычислениями проводить проверку размерности окончательного результата по известному правилу

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Общий порядок выполнения лабораторных работ:

По дисциплине «Квантовая и оптическая электроника» запланированы лабораторные занятия в объеме 9 ч.

Выполнение работ может опережать лекционный курс, поэтому описанию практических задач предшествуют краткие теоретические сведения, вводящие обучающихся в суть изучаемых вопросов. На первом лабораторном занятии студенты должны быть ознакомлены с правилами безопасности и строго выполнять их во время проведения занятий.

Подготовка к выполнению лабораторной работы включает:

1. Чтение теоретического раздела;
2. Выделение цели работы и методики эксперимента;
3. Ознакомление с оборудованием;
4. Ознакомление с порядком предлагаемых действий;
5. Ответы на контрольные вопросы к лабораторной работе.

Выполнение лабораторной работы включает несколько этапов:

1. Получение допуска к эксперименту.
2. Проведение эксперимента.
3. Получение результатов и их обсуждение.
4. Оформление отчета.
5. Защита выполненной работы.

Результаты эксперимента представляются в виде отчета, содержащего таблицы, графики и выводы. Обсуждение результатов и выводов проводится сначала в малой группе, выполняющей работу, затем с преподавателем. Возможен дискуссионный характер обсуждения, связанный с определением свойств новых, экспериментальных материалов. Требования к отчетным материалам: отчеты по каждой лабораторной работе должны представляться студентом лично в печатной или рукописной форме. Отчет должен соответствовать стандарту ИрНИТУ СТО -027 – 2009, который устанавливает

требования к лабораторным занятиям, проводимым по различным образовательным программам высшего профессионального образования ИрННТУ, определяет состав и содержание организационных и учебно-методических мероприятий, осуществляемых в процессе их подготовки и проведения, а также ответственность в рамках данного процесса.

В отчете должны быть указаны номер и название лабораторной работы, группа и фамилия студента. Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие разделы: цель работы, задание, использованные приборы и принадлежности, краткие теоретические сведения, ход работы, выводы. В экспериментальной части приводятся полученные данные и их объяснение на основе теоретических сведений к работе. Представление экспериментальных данных по выполнению каждого задания должно быть последовательным. Там, где необходимо, данные должны быть представлены в виде таблиц, графиков, рисунков или спектров. Формы таблиц и вид рисунков приведены в описании работы. Каждое число в таблице должно содержать столько значащих цифр, сколько позволяет точность опытных данных. Расчетные данные следует предварять соответствующими уравнениями с указанием обозначений физических величин. Выводы должны быть изложены четко и кратко.

При этом все спектры, графики должны быть либо выведены на печать из программы, поставляемой с прибором, либо экспортированы в MS Excel или аналогичный редактор. Допускается построение графиков от руки на миллиметровой бумаге.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Самостоятельная работа включает себя изучение лекционного материала с привлечением учебных пособий, подготовку к лабораторным работам, решение задач, подготовку к защите отчетов по лабораторным работам, подготовку к экзамену.

9.2 Перечень контрольных вопросов по СРС

1. Основные принципы возникновения вынужденного излучения в конденсированных средах.
2. Каким образом форма линии излучения влияет на усиление света?
3. Каковы особенности взаимодействия электромагнитного излучения с веществом?
4. Какова роль резонатора в возникновении генерации лазерного излучения?
5. Какие типы резонаторов используются в оптическом диапазоне?
6. Методы синхронизации мод и модуляции добротности резонатора лазеров.
7. Типы лазеров по виду используемых активных сред.
8. В чем особенность генерации лазерного излучения в твердотельных лазерах?
9. Принципы селекции частот и перестройки частоты лазерного излучения.
10. Условия генерации лазерного излучения в полупроводниковых структурах.
11. Методы преобразования частот лазерного излучения.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 8 | Устный опрос

Описание процедуры.

Входной контроль (ВК)

Описание процедуры: Пять контрольных вопросов

Пример:

1. Что означает аббревиатура LASER?

2. Какие материалы могут использоваться для активных лазерных сред?
3. Какие свойства лазерного излучения?
4. Какие режимы работы лазеров?
5. Что означает расходимость лазерного излучения?

Критерии оценки: Количество правильных ответов

6.1.2 Устный опрос

Тема (раздел): Лазерные резонаторы.

Описание процедуры: вопрос-ответ

Вопросы для контроля:

1. Что такое лазерный резонатор?
2. Какие функции выполняет лазерный резонатор?
3. Что означает юстировка лазерного резонатора?
4. Какие типы лазерных резонаторов существуют?
5. Специальные резонаторы?

Критерии оценки: Количество правильных ответов

Критерии оценивания.

Критерии оценки: Количество правильных ответов

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

| Индикатор достижения компетенции | Критерии оценивания | Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации |
|---|--|--|
| ПКР-6.4 | Демонстрирует знания об основных эффектах в системах микрооптики и фотоники, о сущности протекающих физических процессов в системах микрооптики и фотоники. Демонстрирует знание о потенциальных возможностях материалов при проектировании систем микрооптики и фотоники. Умеет рассчитывать основные параметры систем микрооптики и фотоники. Способен использовать специальные знания о процессах и материалах микрооптики и фотоники в профессиональной деятельности | Устное собеседование по теоретическим вопросам и/или выполнение практических заданий. Зачет. |

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 8, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Если к концу семестра у студента нет задолженностей по лабораторным работам, то студент допускается к сдаче экзамена. Время и место сдачи определяется расписанием. Форма сдачи экзамена состоит в том, что студенту предлагается ответить на один или несколько контрольных вопросов, примеры представлены в п. 6.2.2. В оценку знаний входит оценка по теории путем тестирования по контрольным вопросам (до 50 %), по результатам защиты лабораторных работ (до 40 %), и дополнительные поощрительные баллы (до 10 %) за примерную посещаемость, активность и др.

1. Описание оптических переходов в квантовых системах с использованием коэффициентов Эйнштейна.
2. Соотношения неопределенности и естественная ширина линий излучения.
3. Поглощение и излучение в квантовых системах. Излучение в активных средах.
4. Уравнение Шредингера в приближении теории возмущения. Матричные элементы переходов.
5. Условия усиления излучения в активных средах.
6. Условия генерации лазерного излучения в открытых резонаторах.
7. Уравнение открытого резонатора. Моды резонатора. Типы резонаторов.
8. Особенности лазеров на конденсированных средах.
9. Сферы применения источников лазерного излучения.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

| Зачтено | Не зачтено |
|--|--|
| Обучающийся раскрыл содержание материала в объеме, предусмотренном программой, изложил материал грамотным языком в определенной логической последовательности, точно используя терминологию данного предмета как учебной дисциплины; отвечал самостоятельно без наводящих вопросов преподавателя | Выставляется в случаях, если студентом не раскрыто основное содержание вопроса; обнаружено незнание или неполное понимание обучающимся большей или наиболее важной части учебного материала; допущены грубые ошибки при ответах на вопросы, которые не исправлены после наводящих вопросов преподавателя |

7 Основная учебная литература

1. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике / Н. В. Карлов, 1988. - 334.
2. Звелто Орацио. Принципы лазеров / О. Звелто; пер. с англ. Е. В. Сорокина и др., под ред. Т. А. Шмаонова, 1990. - 558.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике : для физических специальностей вузов / Н. В. Карлов, 1983. - 319.
2. Звелто Орацио. Принципы лазеров : монография / О. Звелто, 2008. - 719.
3. Пихтин Александр Николаевич. Оптическая и квантовая электроника : учеб. для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / А. Н. Пихтин, 2001. - 572.
4. Пихтин А. Н. Физические основы квантовой электроники и оптоэлектроники : учебное пособие для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики" / А. Н. Пихтин, 1983. - 304.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Лицензионное программное обеспечение Системное программное обеспечение
2. Лицензионное программное обеспечение Пакет прикладных офисных программ
3. Лицензионное программное обеспечение Интернет-браузер

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебная аудитория для проведения лекционных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.

2. Учебная аудитория для проведения лабораторных/практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.