Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Лазерная техника

по направлению подготовки

12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Направленность (профиль) подготовки:
Приборы и устройства нанопотоники

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
А.П. Коханенко

Председатель УМК
А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблемы, формулировать задачи, определять пути их решения и оценивать эффективность выбора и методов правовой защиты результатов интеллектуальной деятельности с учетом специфики исследований и разработки приборов и систем, технологий производства оптических сред, материалов и устройств фотоники и оптоинформатики.

ПК-1 Способен к анализу состояния научно-технической проблемы, технического задания и постановке цели и задач проводимых научных исследований на основе подбора и изучения литературных и патентных источников.

ПК-3 Способность к выбору оптимального метода и разработке программ экспериментальных исследований, проведению оптических, фотометрических и электрических измерений с выбором технических средств и обработкой.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Представляет современную научную картину мира, выявляет естественнонаучную сущность проблемы

ИПК 1.3 Представляет информацию в систематизированном виде, оформляет научно-технические отчёты

ИПК 3.2 Обрабатывает и анализирует результаты исследований

ИПК 3.3 Составляет отчёт о проведённых исследованиях

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Лазерная техника» являются обладание магистрантами:

- 1) глубокими и современными знаниями по проблемам *лазерной физики и техники*, включая характеристики и особенности использования перспективных неорганических (твердотельных и др.), органических, биологических материалов нано- и оптоэлектроники;
- 2) способностями применять *эти* знания в междисциплинарном контексте для постановки, анализа, решения инновационных научно-исследовательских и инженерно-физических проблем *лазерной физики и техники* (с учётом комплекса внешних ограничений), включая создание и использование наноструктурированных материалов, и для проведения релевантных исследований, включая проведение сложных расчётов и экспериментов;
- 3) *основами* методологической культуры, *базовыми* нормами индивидуальной и командной деятельности, удовлетворяющей *элементарным* требованиям этики, личной, корпоративной, профессиональной, социальной ответственности (с учётом специфики нанотехнологий), включая ценности саморазвития.

2. Место дисциплины в структуре магистерской программы

Данная дисциплина относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули) профессионального цикла магистерской программы «Приборы и устройства нанофотоники».

Для освоения дисциплины «Лазерная техника» студент должен обладать:

- способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- способностью реализовать свой когнитивный потенциал, развивая свой интеллект и повышая профессиональный уровень;

- способностью владеть методикой разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере лазерной техники и фотоники;
- готовностью анализировать и оценивать проектные решения в области лазерной техники и фотоники;
- готовностью к профессиональному самообразованию, углублению и расширению научно-технической эрудиции;
- способностью идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере лазерной техники и фотоники;
- способностью планировать и проводить эксперименты с применением лазерной техники, обрабатывать и анализировать их результаты;
- способностью разрабатывать элементы и устройства лазерной техники, фотоники и оптоинформатики на основе существующей элементной базы.

Для освоения курса студентам необходимы знания курсов: «Общая физика», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Физика твёрдого тела», «Квантовая механика», «Квантовая радиофизика», «Физическая оптика», «Теория колебаний и волн», «Нелинейная оптика». Либо необходимы знания иных курсов аналогичных по содержанию. То есть студент должен знать: основные термины, понятия, законы, принципы, модели, методы указанных дисциплин, приобретённые в процессе бакалаврской подготовки.

Данная дисциплина является одной из ключевых в данной магистерской программе. Освоение дисциплины «**Лазерная техника**» необходимо для последующего изучения дисциплин «Современные проблемы фотоники», «Фотонные кристаллы и волокна», «Волоконно-оптические линии связи», «Принципы управления лазерным излучением», «Оптическая микро- и наноэлектроника», «Оптические системы лазеров», а также проведения научно-исследовательской работы в рамках подготовки магистерской диссертации.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Лазерная техника»:

- способность к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию (ОК-1);
- способность действовать в нестандартных ситуациях, нести ответственность за принятые решения (ОК-2);
- способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-3).
- способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки (ОПК-1);
- способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере (ОПК-3).
- готовность обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований (ПК-1);
- способность владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-2);
- способность владеть навыками компьютерного моделирования информационных сигналов и систем, синтеза кодов, количественного анализа характеристик информационных систем (ПК-4);
- способность применять современные методики исследования основных физико-химических свойств оптических стекол и кристаллов, методики прогнозирования оптических и физико-химических параметров новых материалов (ПК-7);
- способность разрабатывать фотонное устройство на основе элементной базы, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства (ПК-8);

способность участвовать в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов (ПК-17);

способность оценивать инновационно-технологические риски при внедрении новых технологий (ПК-21);

способность к анализу и применению стратегий технического обслуживания и ремонта приборов и систем фотоники и оптоинформатики, выбор оптимальных вариантов управления их эксплуатацией (ПК-30);

способность к организации работы коллективов исполнителей, к принятию организационно-управленческих решений в условиях различных мнений и оценке последствий принимаемых решений (ПК-33);

готовность обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований в области разработки и оптимизации технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурированных материалов, а также контроля их параметров (ПСК-1);

способность владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в области разработки и оптимизации технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурированных материалов, а также контроля их параметров (ПСК-2);

способность применять современные методики исследования и прогнозирования оптических и физико-химических свойств наноструктурированных материалов (ПСК-4);

способность разрабатывать фотонное устройство, использующее элементную базу на основе наноструктурированных материалов, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства (ПСК-5);

способность участвовать в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов, использующих элементную базу на основе наноструктурированных материалов (ПСК-7).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:**
 - принципы действия лазеров различных типов и механизмы влияния процессов в лазерах на их технические характеристики;
 - принципы многоуровневого описания распространения оптических полей в открытых резонаторах и процессов взаимодействия излучения с лазерной активной средой, оптическими элементами и системами;
 - модели процессов в лазерах как источниках излучения;
 - содержание понятий и терминов лазерной физики и техники;
 - элементную базу лазерной техники и особенности конструктивных элементов лазеров (включая базу нанофотоники);
 - способы измерения параметров лазерного излучения и управления ими;
 - принципы применения лазера в приборах и системах оптоинформатики;
 - современное состояние, тенденции и перспективы развития лазерной физики и техники, значение лазеров для оптической цивилизации.
- **Уметь:**
 - грамотно производить настройку и обслуживать лазерную технику с учётом требований техники безопасности и других ограничений;
 - проводить теоретические, модельные, экспериментальные и оптимизационные исследования (индивидуально и в коллективе) процессов в лазерах;
 - пользоваться метрологическими приборами, экспериментальными методиками и приёмами обработки данных измерений для определения параметров лазерного излучения;
 - оценивать технологический потенциал различных типов лазеров.
- **Владеть:**

- стереотипами проведения теоретических, модельных и экспериментальных исследований процессов в лазерах;
- навыками эффективной и безопасной работы с лазерной техникой;
- навыками определения параметров и характеристик лазерного излучения с учётом особенностей конкретных оптических систем;
- принципами использования лазерной техники в фотонике и оптоинформатике, включая нанофотонику.

4. Структура и содержание дисциплины

1. Введение.

Цели и задачи, предмет и содержание курса. Современное состояние и перспективы развития лазеров. Лазерная техника и оптическая цивилизация XXI столетия. Лазерная техника и нано-био-когно-социо-технологии (NBICS-t). Повышенные риски NBICS-t. Возросшая роль методологии научной деятельности, персональной и групповой ответственности учёных на этапе глобальной сингулярности (по Дьяконову и Винджу).

2. Свойства лазерного излучения.

Пространственно-временная когерентность. Монохроматичность, направленность, поляризованность, объёмная и спектральная плотность излучения. Способы получения этих свойств от обычных источников и их недостатки. Способы демонстрации и исследования указанных свойств. Преимущества лазера как источника излучения, вытекающие из рассмотренных свойств излучения.

3. Структурная схема лазера.

Основные элементы лазера и их роль. Лазер как преобразователь качества энергии. Лазер как усилитель с положительной обратной связью. Беззеркальные лазеры. Роль спонтанного излучения в развитии генерации.

4. Основы физики лазеров.

Энергетические уровни атомов, ионов и молекул. Оптические и неоптические переходы. Вероятности и скорости оптических переходов. Мощность спонтанного и вынужденного излучения. Кинетические уравнения.

Ширина и контур спектральных линий. Естественная ширина линий. Факторы, влияющие на уширение линий. Поперечная и продольная релаксации. Однородное и неоднородное уширение линий. Спектральная плотность мощности.

Взаимодействие излучения с инверсной средой. Условия усиления электромагнитных волн в идеальной среде. Закон Бугера для нормальной и инверсной сред. Ненасыщенный показатель усиления, зависимость его от частоты.

Усиление света в реальной среде. Коэффициент потерь. Активная часть контура усиления. Насыщение усиления. Усиление с учётом эффекта насыщения. Деформация контура усиления в случаях однородного и неоднородного уширения линий. Зависимость потока излучения от пути в усиливающей среде. Сужение спектра при прохождении излучения через усиливающую среду.

Модель лазерной активной среды с дисперсией и потерями. Границы её применимости. Условия генерирования лазерного излучения (фазовое и амплитудное).

Способы получения инвертированных сред. Общие принципы создания инверсии.

Методы заселения и расселения уровней. Способы создания инверсии в различных средах. Механизмы процессов в лазерном веществе, приводящих к созданию инверсии населённостей.

Эффективность преобразования энергии и условия возникновения инверсии населённостей для четырёхуровневой схемы активного центра.

Непрерывный и импульсный режимы работы лазера с точки зрения условий создания инверсии населённостей. Самоограниченные и связанно-свободные лазерные переходы.

5. Оптические резонаторы. Модели лазерных пучков.

Особенности лазерного излучения. Параметры двухзеркального резонатора. Резонатор как оптический волновод. Потери излучения и добротность резонатора, резонансные свойства. Моды резонатора и их обозначение. Разновидности открытых оптических резонаторов.

Приближения в теории открытого резонатора. Оптический резонатор с активной средой. Основные процессы, происходящие в активном резонаторе: усиление и потери мощности, формирование модового состава излучения, спектральных характеристик, конкуренция мод и деформация спектра мод. Явление выгорания «провалов», термооптические явления, генерация волноводных мод и мод «шепчущей галереи» в твердотельных активных элементах. Роль дополнительных отражающих поверхностей в резонаторе.

Методы геометрической, матричной, волновой, оптики в описании пучка лазерного излучения.

Приближение геометрической оптики. Матрица переноса луча. Расчёт преобразования пучков с помощью лучевых матриц. G-параметры и понятие устойчивости резонатора. Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Диаграмма устойчивости. Плоский, конфокальный, концентрический резонаторы и их свойства. Понятие эквивалентного конфокального резонатора. Анизотропные резонаторы.

Модель гауссова пучка. Особенности распространения гауссова пучка в свободном пространстве. Основные параметры гауссова пучка, формируемого в устойчивом резонаторе. Параметры Когельника. Конфокальный параметр пучка. Дальняя и ближняя зоны. Особенности распространения многомодовых лазерных пучков. Выражение для резонансных частот поперечных мод. Гаусс-эрмитовский, лагерр-гауссов, гомоцентрический пучки.

Приближение квазиоптики (волновое приближение). Интегральное уравнение Фокса–Ли для открытого резонатора. Дифракционные потери и фазовый сдвиг. Моды открытого резонатора как решения уравнения Фокса–Ли. Особенности поведения дифракционно-ограниченных лазерных пучков.

6. Устройства и элементы вывода излучения из резонатора лазера. Полупрозрачные зеркала. Элемент с отверстием связи. Вывод излучения через края одного из отражателей. Использование (для вывода излучения) полупрозрачной пластинки, помещаемой внутрь полости резонатора. Конструктивные особенности лазеров на полупроводниковых гетероструктурах и на квантовых ямах.

7. Методы описания процессов в лазерах.

Лазер как динамическая система (методологический аспект). Системные принципы. Особенности лазера как системы. Принцип плюрализма описания системы. Иерархия теоретических методов и моделей описания процессов в лазерах. Феноменологический (вероятностный), полуклассический и квантовый методы. Основные положения. Феноменологические (вероятностные) модели. Полуклассическая модель. Квантово-электродинамическая модель. Процессы в лазере и хаковская версия синергетики. Фотонная модель процессов в одномодовом лазере. Основные приближения. Физическое содержание модели Статца-Де Марса.

Анализ фотонной модели. Квазистатическое приближение. Особенности динамики плотности фотонов и инверсии населённости.

8. Режимы работы лазеров.

Режим свободной генерации. Режим модуляции добротности резонатора. Режим синхронизации мод. Многомодовый, одномодовый и одночастотный режимы генерации лазера. Динамический хаос и условия его появления в лазерах.

9. Классификация и типы лазеров.

Классификация лазеров по различным основаниям. Газовые лазеры. Общие особенности. Обеспечение инверсии в газовых лазерах. Лазеры на нейтральных атомах. Ионные лазеры.

Молекулярные лазеры. Лазеры на эксимерах. Электроионизационные, газодинамические и химические.

Жидкостные лазеры. Общие особенности. Лазеры на растворах неорганических соединений редкоземельных элементов. Лазеры на растворах органических красителей. Управление спектром излучения жидкостных лазеров.

Полупроводниковые лазеры. Общие особенности. Создание инверсии в полупроводниках.

Инжекционные лазеры. Лазеры на полупроводниковых гетероструктурах и на квантовых ямах.

Твердотельные лазеры. Общие особенности. Системы оптической накачки.

Твердотельные лазеры с накачкой лазерными диодами и светодиодами. Активные среды.

Трехуровневые и четырехуровневые лазеры. Перестраиваемые твердотельные лазеры.

Твердотельные микролазеры и волоконные лазеры.

Механизмы получения инверсии в химических лазерах.

Механизмы получения инверсии в газодинамических лазерах

Рентгеновские, гамма-лазеры и лазеры на свободных электронах. Основные особенности, проблемы и тенденции развития.

10. Параметры и характеристики лазерного излучения.

Энергетические, временные спектральные и пространственно-угловые характеристики лазерного излучения. Расходимость излучения, длина волны, понятие ближней и дальней зоны, размер пучка, форма волнового фронта. Эксплуатационные параметры лазеров.

11. Методы расчёта основных элементов лазерных систем.

Оценка мощности излучения лазера. Расчёт оптимального коэффициента полезных потерь лазера. Методика расчёта систем оптической накачки лазеров. Расчёт КПД лазера.

12. Элементы источников накачки лазерных активных сред.

Элементы систем накачки твердотельных лазеров: лампы накачки, осветители, полупроводниковые лазеры и светодиоды в системах накачки.

Элементы систем накачки газовых лазеров. Элементы систем накачки жидкостных лазеров. Элементы накачки полупроводниковых лазеров, включая устройства с наноструктурированными материалами.

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 8 зачётных единиц – 288/164 часов

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	Лаб. работы	семинары	Самост. работа	
1	Введение	1	1	1	–	–	–	
2	Свойства лазерного излучения	1	1	2	–	–	8	Письменный опрос
3	Структурная схема лазера	1	1-2	3	–	–	4	Устный опрос
4	Основы физики лазеров	1	2-4	8	–	2	10	Письменный опрос. Доклад на семинаре
5	Оптические резонаторы.	1	5-6	4	–	2	8	Доклад на семинаре

	Модели лазерных пучков							
6	Устройства и элементы вывода излучения из резонатора лазера	1	6-7	2	–	2	6	Доклад на семинаре
7	Методы описания процессов в лазерах	1	7-8	4	–	2	8	Доклад на семинаре
8	Режимы работы лазеров	1	9-11	4	–	4	8	Устный опрос. Доклад на семинаре
9	Классификация и типы лазеров	1	12–13	2	–	2	8	Письменный опрос. Доклад на семинаре
10	Параметры и характеристики лазерного излучения	1	14–15	1	–	2	12	Доклад на семинаре
11	Методы расчёта основных элементов лазерных систем	1	15-18	2	–	4	8	Доклад на семинаре
12	Элементы источников накачки лазерных активных сред	1	18-19	1	–	2	8	Устный опрос. Доклад на семинаре
13	Лаборатория по лазерной технике	1	1-18	–	-	–	108	Защита отчётов по лабораторным работам
14	Итоговый контроль по дисциплине	1	21	–	–	–	36	Экзамен
ИТОГО: 288				34	-	22	232	

5. Образовательные технологии

При реализации дисциплины используются проблемные лекции, лекции-полилоги, групповые дискуссии, приёмы стимулирования когнитивной активности. При проведении семинаров предусматривается участие ведущих специалистов НОЦ «Функциональные материалы радио- и оптоэлектроники», НОЦ «Сильноточная электроника», руководителей магистрантов.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Видами самостоятельной работы обучающегося по данной дисциплине являются:

- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- подготовка докладов на семинарах;
- подготовка рефератов;
- подготовка и проведение лабораторных работ;
- подготовка к экзамену.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

а) Контрольные вопросы

1. Каково значение нано-био-когно-социо-технологий (NBICS-t) и в чём состоят порождаемые ими риски?
2. Как повлияла лазерная техника на развитие цивилизации XX века?
3. Почему на этапе глобальной сингулярности возросла роль методологии научной деятельности, персональной и групповой ответственности учёных?
4. В чём состоит роль оптического резонатора в лазере?
5. Каков физический смысл модели лазерной активной среды с дисперсией и потерями?
6. Каковы границы её применимости модели лазерной активной среды с дисперсией и потерями?
7. Как вывести фазовое и амплитудное условия генерирования лазерного излучения?
8. Как вывести условия возникновения инверсии населённостей для четырёхуровневой схемы активного центра?
9. Каковы основные аспекты содержания понятия самоограниченный лазерный переход?
10. Каковы основные аспекты содержания понятия связанно-свободный лазерный переход?
11. Каковы основные механизмы процессов, приводящих к созданию инверсии населённостей в лазерном веществе твердотельных лазеров?
12. Каковы основные механизмы процессов, приводящих к созданию инверсии населённостей в лазерном веществе газовых лазеров?
13. Каковы основные механизмы процессов, приводящих к созданию инверсии населённостей в лазерном веществе плазменных лазеров?
14. Каковы основные механизмы процессов, приводящих к созданию инверсии населённостей в лазерном веществе жидкостных лазеров?
15. Каковы основные механизмы процессов, приводящих к созданию инверсии населённостей в лазерном веществе полупроводниковых лазеров?
16. Каковы основные механизмы процессов, приводящих к созданию инверсии населённостей в лазерах на свободных электронах?
17. Каковы типичные классификация лазеров?
18. Каковы основные аспекты содержания понятия моды открытого резонатора?
19. Каковы типичные приближения в теории открытого резонатора?
20. Каково содержание приближения геометрической оптики?
21. Каковы основные аспекты содержания понятия устойчивости резонатора. и диаграммы устойчивости?
22. Каково содержание модели гауссова пучка?
23. В чём смысл и практическое значение ABCD-теоремы?
24. Каковы принципы согласования гауссовых пучков?
25. Каково содержание приближения квазиоптики?
26. Каковы принципы получения уравнения Фокса- Ли?
27. Каково содержание системных принципов?
28. Каковы особенности лазера как системы?
29. Каковы типичные модели в теории процессов в лазере?
30. Каково содержание феноменологических моделей?
31. Каково содержание полуклассической модели?
32. Каково содержание квантово-электродинамической модели?
33. Каков смысл тезиса Г. Хакена: «лазер – прототип в синергетике»?
34. Каковы принципы построения фотонной модели процессов в одномодовом лазере?
35. Каково физическое содержание модели Статца-Де Марса и границы её применимости?

36. Каковы принципы анализа модели Статца-Де Марса в квазистатическом приближении?
37. Каковы особенности динамики плотности фотонов и инверсии населённости, предсказываемые моделью Статца-Де Марса?
38. Каковы физические основы работы поверхностных лазеров с вертикальным резонатором и лазеров на механически напряжённых структурах?
39. Каковы особенности работы лазеров на квантовых точках?
40. Каковы принципы работы лазеров на полупроводниковых гетероструктурах и на квантовых ямах?

б) Задания для самостоятельной работы (примерная тематика рефератов)

1. Роль методологии научной деятельности, персональной и групповой ответственности учёных на этапе глобальной сингулярности.
2. Процессы в лазерах на СО.
3. Голографические лазеры: принцип действия, резонаторы, активные среды.
4. Процессы в лазерах на неорганических жидкостях, особенности их конструкции и параметры излучения.
5. Процессы в ионных лазерах.
6. Процессы в плазменных лазерах.
7. Свип-лазеры.
8. Солитонные лазеры.
9. Полупроводниковые лазеры с электронной накачкой и квантоскопы на их основе.
10. Бистабильные полупроводниковые лазеры.
11. Температурные эффекты в активных элементах лазеров.
12. Влияние термооптических искажений на излучение лазеров.
13. Отклик излучения газовых лазеров на возмущение тока разряда.
14. Проблема создания гамма-лазеров и пути её решения.
15. Проблема создания рентгеновских лазеров и пути её решения.
16. Процессы в мощных лазерных усилителях на СО₂.
17. Шумы в лазерных усилителях и лазерах.
18. Методы получения сверхкоротких импульсов лазерного излучения.
19. Неустойчивые резонаторы: геометрия, потери, спектр частот.
20. Особенности резонаторов мощных ионных лазеров.
21. Методы управления параметрами лазерного излучения.
22. Принципы лазерной спектроскопии.
23. Принципы лазерной оптоакустики.
24. Принципы лазерной теплофизики.
25. Принципы лазерной фотохимии.
26. Принципы создания лазерной среды без инверсии.
27. Принципы работы лазеров на полупроводниковых гетероструктурах и на квантовых ямах.
28. Принципы работы поверхностных лазеров с вертикальным резонатором и лазеров на механически напряжённых структурах.
29. Принципы работы лазеров на квантовых точках.

в) Задания для самостоятельной работы (примерная тематика семинаров)

1. Процессы в лазерах на алюмоиттриевом гранате с неодимом и на стекле с неодимом.
2. Процессы в электроразрядных и электроионизационных лазерах на СО₂.
3. Процессы в лазерах на самоограниченных переходах в парах Си.
4. Процессы в эксимерных и эксиплексных лазерах.
5. Процессы в лазерах на красителях.
6. Лазеры на квантовых точках: принцип действия, процессы в них, их преимущества.

7. Принципы расчёта параметров и согласование гауссова пучка с резонатором посредством линзы.
8. Селекция поперечных и продольных мод в лазере.
9. Синхронизация продольных мод в лазере.

в) Задания для самостоятельной работы (примерная тематика лабораторных работ)

Лабораторные работы:

1. Сравнение спектров поглощения и люминесценции кристалла рубина и алюмоиттриевого граната, допированного ионами неодима.
2. Пространственно-угловые и частотные характеристики лазерного излучения, формируемого открытым резонатором.
3. Энергетические и поляризационные характеристики излучения He-Ne лазера. Пространственная и временная когерентность лазерного излучения.
4. Энергетические, спектральные и пространственно-угловые характеристики излучения инжекционного гетеролазера.
5. Энергетические, временные и пространственно-угловые характеристики излучения рубинового лазера в режиме свободного генерирования.
6. Энергетические, временные и пространственно-угловые характеристики излучения рубинового лазера в режиме модуляции добротности резонатора.
7. Энергетические и спектральные характеристики излучения азотного лазера.
8. Энергетические, временные и пространственно-угловые характеристики излучения жидкостного лазера на красителе.
9. Энергетические, временные и пространственно-угловые характеристики излучения твердотельного лазера на органическом красителе.
10. Распространение лазерного излучения в анизотропном кристалле в присутствии электрического поля. Характеристики электрооптического модулятора интенсивности лазерного излучения.
11. Распространение лазерного излучения в анизотропном кристалле в присутствии магнитного поля. Характеристики магнитооптического модулятора интенсивности лазерного излучения.
12. Генерирование второй гармоники лазерного излучения в анизотропном кристалле. Характеристики умножителя частоты лазерного излучения.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Схема лазера на связанных переходах и роль оптического резонатора.
2. Понятие устойчивости открытого резонатора и факторы, влияющие на него.
3. Процессы в лазерах на центрах окраски.
4. Модель активной среды лазера на связанных переходах с учётом дисперсии и потерь.
5. Приближение геометрической оптики в теории открытого резонатора и границы его применимости.
5. Процессы в гелий-неоновом лазере.
6. Условия генерирования лазерного излучения (вывод и интерпретация).
7. Модель гауссова пучка и границы её применимости.
8. Процессы в лазерах на красителях.
9. Эффективность преобразования энергии и условие инверсии для 4-уровневой схемы функционирования активного центра.
10. Параметры гауссова пучка, формируемого в открытом резонаторе.
11. Процессы в эксимерных лазерах.
12. Влияние режима работы лазера на условия создания инверсии.

13. Преобразование гауссова пучка и согласование пучков в двух резонаторах. Границы применимости ABCD-теоремы.
14. Процессы в рубиновом лазере в режиме модуляции добротности оптического резонатора.
15. Поглощение света и спонтанное испускание: их роль в осуществлении накачки лазера.
16. Приближение квазиоптики в теории открытого резонатора и границы его применимости. Обоснование модовой структуры поля лазерного излучения в открытом резонаторе.
17. Процессы в лазере на самоограниченных переходах в парах меди.
18. Эффективность преобразования энергии и условие инверсии для 3-уровневой схемы функционирования активного центра. Зависимость инверсии от скорости накачки лазера.
19. Приближения в теории открытого резонатора и границы его применимости.
20. Факторы, влияющие на временную и пространственную когерентность лазерного излучения.
21. Неупругие столкновения с электронами и с вспомогательными частицами как механизм накачки лазера.
22. Параметры двухзеркального резонатора.
23. Синхронизация продольных мод в лазере: механизм и модель.
24. Химическое возбуждение и девозбуждение: их роль в осуществлении накачки лазера.
25. Невозможность использования замкнутых резонаторов в оптическом диапазоне. Моды оптического поля в открытом резонаторе
26. Процессы в электроразрядных и электроионизационных лазерах на CO_2 .
27. Возбуждение нагревом и передача энергии коллективным движениям в среде: их роль в осуществлении накачки лазера.
28. Понятие устойчивости открытого резонатора и факторы, влияющие на неё.
29. Принципы селекции поперечных (угловых) и продольных (осевых) мод в лазере.
30. Рекомбинация электронов и ионов в плазме как механизм накачки лазера.
31. Невозможность использования замкнутых резонаторов в оптическом диапазоне. Моды оптического поля в открытом резонаторе
32. Лазер как система (методологический аспект).
33. Инжекция носителей заряда в p - n переход и условие инверсии населённостей.
34. Иерархии моделей процессов в лазере.
35. Синхронизация продольных мод в лазере: механизм и модель.
36. Группировка релятивистских электронов в поле волны (классическая модель).
37. Параметры двухзеркального резонатора.
38. Иерархии моделей процессов в лазере.
39. Способы создания колебательного движения релятивистского электрона.
40. Модель гауссова пучка и границы её применимости.
41. Процессы в инжекционном гетеролазере.
42. Усиление электромагнитного излучения при воздействии внешней силы на релятивистский электрон (квантово-электродинамическая интерпретация).
43. Параметры гауссова пучка, формируемого в открытом резонаторе.
44. Сопоставительный анализ лазеров на рубине и на стекле (или на алюмо-иттриевом гранате) с неодимом.
45. Классификации лазеров.
46. Фотонная модель одномодового лазера (двухуровневое упрощение) и границы её применимости.
47. Процессы в лазерах на красителях.
48. Влияние режима работы лазера на условия создания инверсии.
49. Элементарный анализ фотонной модели лазера.
50. Принципы селекции поперечных (угловых) и продольных (осевых) мод в лазере.

51. Эффективность преобразования энергии и условие инверсии для 3-уровневой схемы функционирования активного центра. Зависимость инверсии от скорости накачки лазера.
52. Преобразование гауссова пучка и согласование пучков в двух резонаторах. Границы применимости ABCD-теоремы.
53. Принцип работы лазеров на квантовых точках и их особенности.
54. Сопоставительный анализ лазеров на рубине и на стекле (или на алюмо-иттриевом гранате) с неодимом.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. **Тарасов Л.В.** Физика лазера. – М.: ЛИБРОКОМ, 2011. – 456 с.;
2. **Киселёв Г.Л.** Квантовая и оптическая электроника: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2011. – 320 с.
3. **Тарасов Л.В.** Четырнадцать лекций о лазерах. – М.: ЛИБРОКОМ, 2014. – 176 с.
4. **Айхлер Ю., Айхлер Г.И.** Лазеры. Исполнение, Управление, Применение. – М.: Техносфера, 2012. – 496 с.
5. **Вакс Е.Д., Миленский М.Н., Сапрыкин Л.Г.** Практика прецизионной лазерной обработки. – М.: Техносфера, 2013. – 696 с.
6. **Измайлов И.В., Пойзнер Б.Н.** О науке, событиях в истории изучения света, колебаний, волн, об их исследователях, а также глоссы и этимоны: учеб. пособие / под ред. А.В. Войцеховского. – Томск: ИД ТГУ, 2015. – 410 с.;
7. **Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н.** Осмысленная научная деятельность: диссертанту – о жизни знаний, защищаемых в форме положений / под ред. А.В. Войцеховского. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2015. – 148 с. – www.dx.doi.org/10.12737/5737.

б) дополнительная литература

1. Базовые лекции по электронике (в 2-х т.). Т. 1: Электровакуумная, плазменная и квантовая электроника / Общ. ред. В.М. Пролейко. – М.: Техносфера, 2009. – С. 275–310, 357–377.
2. **Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Рueda Ф.** Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. – М.: Техносфера, 2009. – 368 с.
3. Энциклопедия низкотемпературной плазмы: Серия Б: Справочные приложения, базы и банки данных: Т. XI-4. Газовые и плазменные лазеры / Под ред. С.И. Яковленко. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 820 с.
4. Оптические и лазерные технологии: Сб. ст. / Под ред. В.Н. Васильева. СПб.: РИО СПбГИТМО, 2001. 252 с.
5. **Пойзнер Б.Н.** Физические основы лазерной техники: Уч. пособие. – Томск: Томский государственный университет, 2006. – 210 с.
6. **Штыков В.В.** Квантовая радиофизика. М.: ИЦ «Академия», 2009. 336 с.
7. **Пихтин А.Н.** Оптическая и квантовая электроника: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2001. 573 с.
8. **Тарасенко В.Ф., Пойзнер Б.Н.** Импульсные лазеры на плотных газах: физика процессов и экспериментальная техника. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1992. 143 с.
9. **Григорьянц А.Г., Казарян М.А., Лябин Н.А.** Лазеры на парах меди.- М.: Физматлит, 2005. 134 с.
10. Фотоника: Словарь терминов / Т.Е. Ковалевская, В.Н. Овсяук, В.М. Белоконев, Е.В. Дегтярев; Под ред. В.Н. Овсяюка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 242 с.
11. Терминология квантовой электроники и лазерной техники в диссертациях, дипломных и курсовых работах: Методические материалы и указатель нормативно установленных терминов / Сост. Б.Н. Пойзнер, А.М. Решетов, В.В. Сичкарёв. - Томск, 1988. 52 с.

12. Методы и приборы управления лазерным излучением. Учебный словарь / Сост. М.Э. Вышеткевич, Б.Н. Пойзнер. - Томск, 1992. 51 с.
13. **Гусев В.Г., Пойзнер Б.Н.** Лабораторный практикум по физике лазеров. - Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1992. 239 с.
14. Handbook of solid-state lasers. Materials, systems and applications (Eds. B. Denker, E. Shklovsky). Woodhead Publishing, 2013. 660 p. (Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials: Number 35).
15. Springer Handbook of Lasers and Optics (Ed. F. Träger). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. 1694 p.
16. **Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н.** Лазерная модель творчества (от теории доминанты к синергетике культуры). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1997. 136 с.
17. **Соснин Э.А., Пойзнер Б.Н.** Путь в науку XXI века. – М.: СИНТЕГ, 2000. 88 с.
18. Как начать работать в научном сообществе / Г.С. Евтушенко, Б.Н. Пойзнер, Э.А. Соснин, В.Ф. Тарасенко. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998. – 140 с.

в) Интернет-ресурсы:

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
2. Электронная библиотека ТГУ: <http://www.lib.tsu.ru/ru/>;
3. Электронный ресурс SPIE Digital Library: <http://www.spiedigitallibrary.org/>;
4. Электронный ресурс Optics Infobase: <http://www.opticsinfobase.org/>;
5. Электронный ресурс SpringerLink: <http://link.springer.com/>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

При освоении дисциплины используются презентации по отдельным разделам дисциплины, компьютерные классы РФФ ТГУ с доступом к указанным выше Интернет-ресурсам.

Проведение лабораторных работ обеспечивается наличием учебной лаборатории лазерной техники, оборудованной различными типами лазеров и измерительных приборов, а также библиотекой методических пособий, разработанных преподавателями кафедры квантовой электроники и фотоники.

При выполнении вычислительных экспериментов в дисплейных классах используются персональные компьютеры с доступом в локальную сеть РФФ, где размещены методические рекомендации по выполнению этих экспериментов и моделирующие программы.