

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

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан физического факультета

  
С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.



Рабочая программа дисциплины

**Физика лазеров**

по направлению подготовки  
**03.03.02 Физика**

Профиль подготовки «**Фундаментальная физика**»

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2021**

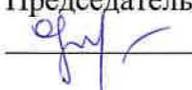
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.02.16

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК

  
О.М. Сюсина

Томск – 2021

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные в области физики лазеров;

– ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.2. Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе освоения лекционного курса и выполнения лабораторных работ по лазерной физике, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования.

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по лазерной физике, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить теоретические материалы о физических принципах работы лазера, типах и характеристиках лазерных систем, свойствах лазерного излучения, режимах работы лазеров;

– Владеть практическими навыками работы с современной лазерной техникой и юстировке резонаторов, освоить основы измерения параметров лазерного излучения.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

глш

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 8, зачет с оценкой.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Дифференциальные уравнения, Электричество и магнетизм, Оптика.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

– лекции: 24 ч.;

– лабораторные работы: 48 ч.

в том числе практическая подготовка: 48 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Лекции:

*Модуль 1 Основы физики лазеров*

Тема 1. Оптическое излучение. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучение. Принцип работы лазера. Энергетическая схема активной среды лазера

Свойства оптического излучения, волновая и квантовая теория света. Процессы поглощения и испускания света, понятие вынужденного испускания. Необходимое и достаточное условие работы лазера, принцип действия лазера. Трех и четырехуровневые энергетические схемы активной среды лазера.

Тема 2. Свойства лазерного излучения

Отличие лазерного излучения от обычного оптического. Основные параметры/характеристики лазерного излучения: монохроматичность, когерентность, поляризация, расходимость, яркость, мощность, временные характеристики.

*Модуль 2. Строение лазера, основные функциональные элементы*

Тема 3. Функциональная схема лазера. Классификация лазеров

Основные элементы лазера: резонатор, источник накачки, активная среда – их функции и особенности. Основные и дополнительные классификации лазеров по различным параметрам.

Тема 4. Оптический резонатор

Формирование излучения в резонаторе, моды резонатора, потери (виды потерь), добротность, конфигурации резонаторов, понятие устойчивости, оптические элементы резонатора, диэлектрические зеркала, просветляющие покрытия.

Тема 5. Способы накачки

Критерии выбора способа накачки. Виды накачки: Оптическая (некогерентная – ламповая, когерентная – лазерная, электрическая (газовый разряд, инжекция электронов в п/п, электронный пучок в газе), рентгеновская, химическая, газодинамическая, ядерная.

*Модуль 3. Типы лазеров*

Тема 6. Твердотельные лазеры

Матрицы твердотельных лазеров – кристаллы и стекла. Лазеры фиксированных частот – рубиновый, неодимовый, эрбиевый, иттербиевый, тулий-гольмиевый. Перестраиваемые твердотельные лазеры – титан-сапфировый лазер, лазер на александрите и другие твердотельные перестраиваемые лазеры. Волоконные лазеры.

Тема 7. Лазеры на красителях

Схема уровней и фотопроцессы в органических красителях, особенности работы лазеров на красителях, схемы накачки и перестройка длины волны при помощи дисперсионных элементов. Перспективы развития лазеров на красителях.

Тема 8. Полупроводниковые (инжекционные) лазеры

Физика процессов в полупроводниковом лазере, лазеры на гомопереходе, лазеры на гетеропереходах. Конструкция п/п лазера. Лазеры на квантовых ямах, квантовых нитях и квантовых точках. Квантово-каскадные лазеры.

Тема 9. Газовые лазеры

Классификация газовых лазеров, физика процессов в конкретных лазерных средах: Лазеры на нейтральных атомах (He:Ne, пары металлов), Ионные лазеры (Ar, Kr, пары ионов металлов), Молекулярные – колебательно-вращательные (CO, CO<sub>2</sub>, HF), электронно-колебательные (N<sub>2</sub>, эксимерные), вращательные (CH<sub>3</sub>F).

Тема 10. Другие типы лазеров

Лазеры с химической накачкой – HF и DF лазеры, йодный и кислород-йодный лазеры. Создание инверсии населенностей и конструкция. Лазеры с ядерной накачкой. Лазеры на свободных электронах – физические основы генерации синхротронного излучения. Рентгеновские лазеры – фотопроцессы и конструкция.

*Модуль 4. Динамика процессов и режимы работы лазеров*

Тема 11. Непрерывный режим работы лазера

Скоростные уравнения, четырех- и квазитрехуровневая схема, пространственно-независимый и пространственно-зависимый случаи. Распространение излучения в резонаторе, пороговые условия и выходная мощность, КПД. Оптимальная связь на выходе

лазера. Многомодовая генерация для сред с однородным и неоднородным уширением. Селекция мод. Флуктуации интенсивности.

#### Тема 12. Импульсный режим работы лазера

Нестационарный режим работы лазера, релаксационные колебания. Модуляция добротности – активная и пассивная, практические способы модуляции. Модуляция добротности при непрерывной и импульсной накачке. Синхронизация мод: описание в частотном и временном представлении. Амплитудно- и частотно-модулированная синхронизация мод, пассивная и активная синхронизация мод. Практические схемы лазеров с синхронизацией мод.

### 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, выполнение заданий, составление и сдачу отчетов по лабораторным работам и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение лабораторных работ – максимальный балл 30. Контрольная точка посещаемости проводится не менее одного раза в семестр.

### 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

**Дифференцированный зачет** проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех основных вопросов и четвертого, дополнительного вопроса, который преподаватель задает по результатам выполнения учащимся лабораторных работ из списка вопросов к лабораторным работам. На основные вопросы учащийся дает развернутый ответ, на дополнительный – краткий. Продолжительность экзамена 2,5 часа.

На промежуточную аттестацию планируется не более 40 % рейтинга.

Результаты дифференцированного зачета определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка определяется исходя из результатов дифференцированного зачета и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 99-86 – «отлично»; 85-66 – «хорошо»; 65-45 – «удовлетворительно», менее 45 – «неудовлетворительно».

Первый основной вопрос выбирается из вопросов модулей 1 и 2, второй и третий вопросы – из модулей 3 и 4, соответственно. Основные вопросы проверяют ИОПК-2.2. и ИПК-1.1.

Примерный перечень теоретических вопросов:

Вопрос 1. Свойства лазерного излучения: монохроматичность, когерентность, направленность.

Вопрос 2. Лазеры на парах меди и золота.

Вопрос 3. Квazitрехуровневый лазер. Пространственно-зависимая модель, пороговые условия и выходная мощность.

Дополнительный вопрос.

Вопрос 1. Почему ЛК с поперечной накачкой имеет различную расходимость в вертикальной и горизонтальной плоскостях?

### 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22673>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен:

## Модуль 1

- 1.1. Оптическое излучение. Понятие световой волны: волновое и квантовое описание.
- 1.2. Поглощение и испускание света. Принцип работы лазера.
- 1.3. Переходы в активной среде, трех и четырехуровневая схема работы лазера.
- 1.4. Свойства лазерного излучения: монохроматичность, когерентность, направленность.
- 1.5. Энергетические и временные характеристики излучения.
- 1.6. Функциональная схема лазера.
- 1.7. Классификации лазеров.

## Модуль 2

- 2.1. Оптический резонатор. Моды открытого оптического резонатора.
- 2.2. Добротность резонатора.
- 2.3. Потери в резонаторе
- 2.4. Излучение на границе раздела диэлектриков. Диэлектрические зеркала и покрытия.
- 2.5. Оптическая накачка активной среды (когерентная и некогерентная).
- 2.6. Электрическая накачка и накачка электронным пучком.
- 2.7. Химическая и газодинамическая накачка.

## Модуль 3

- 3.1. Рубиновый лазер
- 3.2. Неодимовый лазеры
- 3.3. Иттербиевый, эрбиевый и иттербий-эрбиевые лазеры
- 3.4. Тулий-гольмиевый лазер.
- 3.5. Перестраиваемые твердотельные лазеры (александрит, хром-форстерит, титан-сапфир).
- 3.6. Лазеры на красителях.
- 3.7. Гелий-неоновый лазер.
- 3.8. Лазеры на парах меди и золота.
- 3.9. Ионный аргоновый лазер.
- 3.10. Лазеры на парах ионов металлов (He-Cd, He-Se лазеры).
- 3.11. CO<sub>2</sub> лазер, физика процессов.
- 3.12. Основные виды конструкций CO<sub>2</sub> лазеров.
- 3.13. CO лазер
- 3.14. Азотный лазер
- 3.15. Эксимерные (эксиплексные) лазеры, физика процессов
- 3.16. Конструкция эксимерных лазеров с накачкой электронным пучком и электрическим разрядом.
- 3.17. Полупроводниковые лазеры. Классификация, принцип действия лазеров на гомо- и гетеропереходах.
- 3.18. Лазеры на квантовых ямах, квантовых точках и квантовых нитях, квантово-каскадные лазеры.
- 3.19. Конструкции полупроводниковых лазеров, полосковые структуры, лазеры поверхностного излучения с вертикальным резонатором, лазеры с распределенной обратной связью (РОС).
- 3.20. Химические HF и DF лазеры.
- 3.21. Химические йодный и кислородно-йодный лазеры.
- 3.22. Лазеры с ядерной накачкой.
- 3.23. Рентгеновские лазеры и лазеры на свободных электронах

## Модуль 4

4.1. Непрерывный режим работы лазера. Четырехуровневая схема, пространственно-независимый случай, распространение излучения в резонаторе, динамика населенности, выходная мощность.

4.2. Непрерывный режим работы лазера. Квазитрехуровневая схема, пространственно-независимый случай, распространение излучения в резонаторе, динамика населенности, выходная мощность.

4.3. Четырехуровневая схема, пространственно-независимая модель, пороговые условия и выходная мощность, эффективность.

4.4. Четырехуровневая схема, пространственно-зависимая модель, пороговые условия и выходная мощность.

4.5. Квазитрехуровневый лазер. Пространственно-независимая модель, пороговые условия и выходная мощность.

4.6. Квазитрехуровневый лазер. Пространственно-зависимая модель, пороговые условия и выходная мощность.

4.7. Оптимальная связь на выходе лазера, четырехуровневая схема, пространственно-независимая модель.

4.8. Многомодовая генерация.

4.9. Флуктуации интенсивности излучения. Нестационарные (импульсные) режимы работы лазера.

4.10. Модуляция добротности резонатора. Общие сведения, методы модуляции.

4.11. Электрооптическая и акустооптическая модуляция добротности.

4.12. Пассивная модуляция добротности. Режимы работы лазеров с модуляцией добротности.

4.13. Синхронизация мод, общие сведения, описание во временном представлении.

4.14. Активная синхронизации мод: амплитудно-модулированная и частотно-модулированная синхронизация мод.

4.15. Пассивная синхронизация мод. Характеристики лазеров с синхронизацией мод. Примеры схем синхронизации мод - на сталкивающихся импульсах в кольцевом резонаторе и на основе керровской линзы.

в) Методические указания по проведению лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ:

Лабораторные работы:

Лабораторная работа № 1 Лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом. Режим свободной генерации

Лабораторная работа № 2 He-Ne лазер. Пространственно-энергетические, поляризационные характеристики и пространственная когерентность излучения

Лабораторная работа № 3 Исследование характеристик полупроводникового инжекционного лазера на двойном гетеропереходе

Лабораторная работа № 4 Исследование характеристик лазера на красителях с когерентной накачкой

Лабораторная работа № 5 Режим активной модуляции добротности лазерного резонатора

Лабораторная работа № 6 Режим активной модуляции добротности лазерного резонатора

Лабораторная работа № 7 Перестройка длины волны генерации лазера на красителях с когерентной накачкой

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке лекционным занятиям и лабораторным работам;

- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- обработку результатов практических заданий, выполненных на лабораторных работах и составление отчета
- подготовку к дифференцированному зачету.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

### а) основная литература:

- Звелто О., Принципы лазеров / Пер. под науч. ред. Т.А. Шмаонова. 4-ое изд. – СПб.: Изд-во «Лань», 2008. – 720 с. (Либо 3-е изд., 1990 г.)
- Тарасов Л.В., Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения / М.: Радио и связь, 1981. – 440 с.
- Борейшо А. С., Ивакин С. В. Лазеры: устройство и действие: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016. — 304 с.
- Ханин Я.И., Основы динамики лазеров / М.: Наука, 1999. 356 с.
- Малышев В.А., Основы квантовой электроники и лазерной техники / М.: Изд-во Высшая школа, 2005. - 543 с.

### б) дополнительная литература:

- Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники / 2-е изд., Киев: Высшая школа. 1988. 383 с.
- Тарасов Л.В., Четырнадцать лекций о лазерах / Изд.-во: Либерком, 2011. – 174 с.
- Айхлер Ю., Лазеры. Исполнение, управление, применение / Пер. с нем. Л. Н. Казанцевой. М.: Изд.-во Техносфера, 2008. – 438 с.
- Пойзнер Б.Н., Физические основы лазерной техники / Учебное пособие, под ред. А.В. Войцеховского. – Томск: Изд.-во: ТГУ, 2006. – 208 с.
- Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике / Учеб. пособие для физ. спец. вузов. – М.: Наука, 1983. – 319 с.

### в) к лабораторным работам:

- Гусев В.Г., Пойзнер Б.Н. Лабораторный практикум по физике лазеров // Учебное пособие. – Изд. 2-е. – Томск: Изд.-во ТГУ, 1992. – 239 с.
- Толстик А.Л., Агишев И.Н., Мельникова Е.А. Лазерная физика: лабораторный практикум // Минск: Изд-во БГУ, 2006. – 91 с.
- Светличный В.А. Исследование характеристик лазера на красителях с когерентной накачкой // Методические указания, Томск: Изд-во ТГУ, 2006 – 22 с.

### г) ресурсы сети Интернет:

- открытые онлайн-курсы по лазерной физике
- Журнал «Квантовая электроника» – <https://www.quantum-electron.ru>
- Информационный бюллетень лазерной ассоциации «Лазер-информ» <https://bibl.laser.nsc.ru/lazer-inform/>

## 13. Перечень информационных технологий

### а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

в) профессиональные базы данных:

– Scopus – <https://www.scopus.com/>

– Web of Science – <https://clarivate.com/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Специализированная аудитория (аудитории) для проведения лабораторных работ, оснащенная стендами с соответствующим лазерным и метрологическим оборудованием, оптомеханикой, расходными материалами.

#### **15. Информация о разработчиках**

Светличный Валерий Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра оптики и спектроскопии физического факультета ТГУ, доцент.