

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Теория лазерных резонаторов
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.А. Плешков, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой электроники 29.05.2020

Аннотация

Курс "Теория лазерных резонаторов" предусматривает ознакомление слушателей с основами теории лазерных резонаторов и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

Задачи курса:

- приобретение слушателями фундаментальных теоретических знаний по теории лазерных резонаторов, методам расчета резонаторов, физическим процессам в лазерных резонаторах, измерению параметров резонаторов и лазерного излучения, применению резонаторов в лазерах;
- создание у слушателей базиса к изучению смежных дисциплин квантовой электроники;
- приобретение навыков в применении методов расчета и измерения параметров лазерных резонаторов при построении лазерных систем.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- предмет специальности «Теория лазерных резонаторов», физические основы процессов в лазерных резонаторах, принципы построения и расчета лазерных резонаторов;
- методы расчета лазерных резонаторов и параметров формируемой в них моды излучения;
- конфигурации резонаторов, обеспечивающие требуемые параметры излучения лазера;
- виды резонаторов, используемые в лазерах.

Уметь:

- ☐ определять требуемую конфигурацию лазерного резонатора, обеспечивающую заданные параметры лазера;
- ☐ рассчитать резонатор с требуемыми параметрами моды излучения;
- ☐ определять основные параметры резонатора и моды излучения;
- ☐ рассчитать резонатор, используя правило ABCD преобразования гауссовых пучков;
- ☐ рассчитать резонатор, составив интегральное уравнение;
- ☐ определить конфигурацию резонатора, обеспечивающую динамическую стабильность;
- ☐ рассчитать резонатор при наличии астигматичных элементов;
- ☐ оценить целесообразность использования того или иного резонатора в лазере.

Владеть:

- ☐ методами теоретического описания формируемого поля в резонаторе лазера;
- ☐ методами расчета параметров резонатора, обеспечивающих заданные параметры излучения лазера;
- ☐ навыками использования необходимой литературы и других источников информации, таких как интернет, для решения задач о расчете и конструировании лазерного резонатора.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Роль резонатора в оптическом квантовом генераторе.
2. Открытый резонатор.
3. Гауссовы пучки, формируемые в оптических резонаторах.
4. Методы расчета резонаторов и гауссовых оптических систем на основе ABCD преобразования.
5. Расчет параметров моды для обобщенного сферического резонатора.
6. Эрмит-гауссов пучок как решение уравнений Максвелла для резонатора с гауссовыми оптическими элементами.
7. Установление модовой структуры излучения в резонаторе.
8. Высшие моды в лазерных резонаторах. Селекция мод.
9. Астигматичные гауссовы пучки и их преобразование в астигматичных гауссовых оптических элементах.
10. Астигматичные гауссовы пучки с вращением поля в поперечном сечении.

11. Резонаторы, обеспечивающие стабильные параметры выходного излучения при наличии возмущений в резонаторе.
12. Резонаторы, используемые в твердотельных лазерах.
13. Связанные лазерные резонаторы.
14. Метод расчета резонаторов на основе интегрального уравнения.
15. Оптические микрорезонаторы. Высокодобротные резонаторы на основе мод шепчущей галереи.
16. Волоконные резонаторы. Резонаторы с большой оптической длиной.
17. Кольцевые резонаторы.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление слушателей с основами теории лазерных резонаторов и подготовка к изучению других специализированных курсов по квантовой электронике.

Задачи дисциплины

- приобретение слушателями фундаментальных теоретических знаний по теории лазерных резонаторов, методам расчета резонаторов, физическим процессам в лазерных резонаторах, измерению параметров резонаторов и лазерного излучения, применению резонаторов в лазерах;
- создание у слушателей базиса к изучению смежных дисциплин квантовой электроники;
- приобретение навыков в применении методов расчета и измерения параметров лазерных резонаторов при построении лазерных систем.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- предмет специальности «Теория лазерных резонаторов», физические основы процессов в лазерных резонаторах, принципы построения и расчета лазерных резонаторов;
- методы расчета лазерных резонаторов и параметров формируемой в них моды излучения;
- конфигурации резонаторов, обеспечивающие требуемые параметры излучения лазера;
- виды резонаторов, используемые в лазерах.

уметь:

- ☐ определять требуемую конфигурацию лазерного резонатора, обеспечивающую заданные параметры лазера;
- ☐ рассчитать резонатор с требуемыми параметрами моды излучения;
- ☐ определять основные параметры резонатора и моды излучения;
- ☐ рассчитать резонатор, используя правило ABCD преобразования гауссовых пучков;
- ☐ рассчитать резонатор, составив интегральное уравнение;
- ☐ определить конфигурацию резонатора, обеспечивающую динамическую стабильность;
- ☐ рассчитать резонатор при наличии астигматичных элементов;
- ☐ оценить целесообразность использования того или иного резонатора в лазере.

владеть:

- ☐ методами теоретического описания формируемого поля в резонаторе лазера;
- ☐ методами расчета параметров резонатора, обеспечивающих заданные параметры излучения лазера;
- ☐ навыками использования необходимой литературы и других источников информации, таких как интернет, для решения задач о расчете и конструировании лазерного резонатора.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Роль резонатора в оптическом квантовом генераторе.	2			
2	Открытый резонатор.	2			
3	Гауссовы пучки, формируемые в оптических резонаторах.	2			1
4	Методы расчета резонаторов и гауссовых оптических систем на основе ABCD преобразования.	2			1
5	Моды для сферического резонатора.	2			1
6	Эрмит-гауссов пучок.	2			1
7	Излучения в резонаторе.	2			1
8	Селекция мод.	2			1
9	Астигматичные гауссовы пучки.	2			1
10	Гауссовы пучки с вращением поля.	2			1
11	Резонаторы, обеспечивающие стабильные параметры.	2			1
12	Резонаторы, используемые в твердотельных лазерах.	2			1
13	Связанные лазерные резонаторы.	2			1
14	Метод расчета резонаторов на основе интегрального уравнения.	1			1
15	Оптические микрорезонаторы.	1			1
16	Волоконные резонаторы.	1			1
17	Кольцевые резонаторы.	1			1
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

1. Роль резонатора в оптическом квантовом генераторе.

Роль резонатора в оптическом квантовом генераторе. Уравнения, описывающие генерацию в лазере.

2. Открытый резонатор.

Открытый резонатор. Основные характеристики лазерных резонаторов: добротность, число Френеля, критерий устойчивости. Параметры лазерных пучков: расходимость, параметр качества пучка M^2 .

3. Гауссовы пучки, формируемые в оптических резонаторах.

Гауссовы пучки, формируемые в оптических резонаторах. Гауссов пучок как решение волнового уравнения в параксиальном приближении. Моды высшего порядка. Мода высшего порядка.

4. Методы расчета резонаторов и гауссовых оптических систем на основе ABCD преобразования.

Методы расчета резонаторов и гауссовых оптических систем на основе ABCD преобразования. Понятие лучевых матриц. Правило ABCD преобразования гауссовых пучков.

5. Моды для сферического резонатора.

Расчет параметров моды для обобщенного сферического резонатора.

6. Эрмит-гауссов пучок.

Эрмит-гауссов пучок как решение уравнений Максвелла для резонатора с гауссовыми оптическими элементами.

7. Излучения в резонаторе.

Установление модовой структуры излучения в резонаторе.

8. Селекция мод.

Высшие моды в лазерных резонаторах.

9. Астигматичные гауссовы пучки.

Астигматичные гауссовы пучки и их преобразование в астигматичных гауссовых оптических элементах.

10. Гауссовы пучки с вращением поля.

Астигматичные гауссовы пучки с вращением поля в поперечном сечении. Кольцевые непланарные резонаторы.

11. Резонаторы, обеспечивающие стабильные параметры.

Резонаторы, обеспечивающие стабильные параметры выходного излучения при наличии возмущений в резонаторе. Динамически стабильный резонатор.

12. Резонаторы, используемые в твердотельных лазерах.

Резонаторы, используемые в твердотельных лазерах. Основные типы и применение.

13. Связанные лазерные резонаторы.

Связанные лазерные резонаторы. Их использование при генерации сверхкоротких импульсов.

14. Метод расчета резонаторов на основе интегрального уравнения.

Метод расчета резонаторов на основе интегрального уравнения. Основные подходы.

15. Оптические микрорезонаторы.

Оптические микрорезонаторы. Высокодобротные резонаторы на основе мод шепчущей галереи.

16. Волоконные резонаторы.

Волоконные резонаторы. Резонаторы с большой оптической длиной.

17. Кольцевые резонаторы.

Кольцевые резонаторы. Резонаторы используемые в лазерных гироскопах. Непланарные резонаторы.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Быков В.П., Силичев О.О. Лазерные резонаторы. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2004.
2. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного резонатора. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979
3. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. - М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990
4. Силичев О.О. Основы оптики гауссовых пучков: учебное пособие. - М.: МФТИ, 1991

Дополнительная литература

1. Гончаренко А.М. Гауссовы пучки света. - Москва: КомКнига, 2005
2. Джеррард А., Бёрч Дж. М. Введение в матричную оптику. - Москва: Мир, 1978

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://www.elibrary.ru>
2. <http://www.quantum-electron.ru>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

- 1) посещение всех лекций, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра квантовой электроники
курс:	4
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.А. Плешков, канд. техн. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория лазерных резонаторов» обучающийся должен:

знать:

- предмет специальности «Теория лазерных резонаторов», физические основы процессов в лазерных резонаторах, принципы построения и расчета лазерных резонаторов;
- методы расчета лазерных резонаторов и параметров формируемой в них моды излучения;
- конфигурации резонаторов, обеспечивающие требуемые параметры излучения лазера;
- виды резонаторов, используемые в лазерах.

уметь:

- ☐ определять требуемую конфигурацию лазерного резонатора, обеспечивающую заданные параметры лазера;
- ☐ рассчитать резонатор с требуемыми параметрами моды излучения;
- ☐ определять основные параметры резонатора и моды излучения;
- ☐ рассчитать резонатор, используя правило ABCD преобразования гауссовых пучков;
- ☐ рассчитать резонатор, составив интегральное уравнение;
- ☐ определить конфигурацию резонатора, обеспечивающую динамическую стабильность;
- ☐ рассчитать резонатор при наличии астигматичных элементов;
- ☐ оценить целесообразность использования того или иного резонатора в лазере.

владеть:

- ☐ методами теоретического описания формируемого поля в резонаторе лазера;
- ☐ методами расчета параметров резонатора, обеспечивающих заданные параметры излучения лазера;
- ☐ навыками использования необходимой литературы и других источников информации, таких как интернет, для решения задач о расчете и конструировании лазерного резонатора.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы для подготовки к дифференцированному зачету:

1. Роль резонатора в оптическом квантовом генераторе.
2. Открытый резонатор.
3. Гауссовы пучки, формируемые в оптических резонаторах.
4. Методы расчета резонаторов и гауссовых оптических систем на основе ABCD преобразования.
5. Расчет параметров моды для обобщенного сферического резонатора.

6. Эрмит-гауссов пучок как решение уравнений Максвелла для резонатора с гауссовыми оптическими элементами.
7. Установление модовой структуры излучения в резонаторе.
8. Высшие моды в лазерных резонаторах. Селекция мод.
9. Астигматичные гауссовы пучки и их преобразование в астигматичных гауссовых оптических элементах.
10. Астигматичные гауссовы пучки с вращением поля в поперечном сечении.
11. Резонаторы, обеспечивающие стабильные параметры выходного излучения при наличии возмущений в резонаторе.
12. Резонаторы, используемые в твердотельных лазерах.
13. Связанные лазерные резонаторы.
14. Метод расчета резонаторов на основе интегрального уравнения.
15. Оптические микрорезонаторы. Высокочастотные резонаторы на основе мод шепчущей галереи.
16. Волоконные резонаторы. Резонаторы с большой оптической длиной.
17. Кольцевые резонаторы.

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;
- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);

- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;

- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.