

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЛАЗЕРНЫЕ ПУЧКИ И РЕЗОНАТОРЫ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
6	4	144	15	30	0		48	15	Э
Итого	4	144	15	30	0	0	48	15	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются свойства и принципы формирования лазерных пучков как за счет придания требуемых свойств собственным типам колебаний резонаторов, так и за счет использования внерезонаторных оптических элементов; методы измерения параметров лазерных пучков и управления ими; физические принципы и методы реализации положительной обратной связи в оптических квантовых генераторах, а также свойства собственных типов колебаний электромагнитного поля в них.

Самостоятельная работа студентов необходима для выработки у них умения применения полученных теоретических знаний для решения практических задач, таких как умение выбрать оптимальный оптический резонатор для решения конкретной задачи, рассчитать параметры резонатора, исходя из потребности в определенных свойствах пучка лазерного излучения, определить способ формирования лазерного пучка с заданными свойствами, измерить его параметры.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины является формирование у студентов знаний и навыков, необходимых для успешной научной и профессиональной деятельности в различных областях фотоники и лазерной физики. Изучение данной дисциплины необходимо для овладения теоретической базой и методами решения задач связанных с расчетами параметров лазеров и лазерного излучения. (спектральный состав поля, его пространственная конфигурация, расходимость и др.)

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими разделами физики: оптикой, радиофизикой, физической оптикой, квантовой механикой, физикой твердого тела, и другими.

Для изучения данной дисциплины от студентов требуются знания в области оптики, электромагнетизма, квантовой механики, наличие базовых знаний об устройстве генераторов, в том числе квантовых, знание основ дифференциального и интегрального исчисления, линейной алгебры, теорий рядов.

Изучение данной дисциплины необходимо для овладения теоретической базой и методами решения задач связанных с расчетами параметров лазерных пучков для различных применений..

Курс входит в число базовых при подготовке современных специалистов, чья профессиональная деятельность будет связана с применением лазерных пучков при разработке инновационных приборов и устройств.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1] – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	З-УК-1 [1] – Знать: методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа У-УК-1 [1] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников В-УК-1 [1] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач
УК-3 [1] – Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	З-УК-3 [1] – Знать: основные приемы и нормы социального взаимодействия; основные понятия и методы конфликтологии, технологии межличностной и групповой коммуникации в деловом взаимодействии У-УК-3 [1] – Уметь: устанавливать и поддерживать контакты, обеспечивающие успешную работу в коллективе; применять основные методы и нормы социального взаимодействия для реализации своей роли и взаимодействия внутри команды В-УК-3 [1] – Владеть: простейшими методами и приемами социального взаимодействия и работы в команде
УК-6 [1] – Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	З-УК-6 [1] – Знать: основные приемы эффективного управления собственным временем; основные методики самоконтроля, саморазвития и самообразования на протяжении всей жизни У-УК-6 [1] – Уметь: эффективно планировать и контролировать собственное время; использовать методы саморегуляции, саморазвития и самообучения В-УК-6 [1] – Владеть: методами управления собственным временем; технологиями приобретения, использования и обновления социо-культурных и профессиональных знаний, умений, и навыков; методиками саморазвития и самообразования в течение всей жизни

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Духовно-нравственное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование этического мышления и профессиональной ответственности ученого (В2)
Духовно-нравственное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование личностно-центрированного подхода в профессиональной коммуникации, когнитивно-поведенческих и практико-ориентированных навыков, основанных на общероссийских традиционных ценностях (В3)

Профессиональное и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование глубокого понимания социальной роли профессии, позитивной и активной установки на ценности избранной специальности, ответственного отношения к профессиональной деятельности, труду (B14)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21)

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>6 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6
2	Второй раздел	9-15	7/14/0		25	КИ-15	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6

	<i>Итого за 6 Семестр</i>		15/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 6 Семестр				50	Э	З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	15	30	0
1-8	Первый раздел	8	16	0
1 - 2	Тема 1 Основные свойства лазерных пучков - монохроматичность, когерентность, направленность, высокая спектральная яркость. Спектральные, энергетические, временные, пространственные и поляризационные параметры лазерных пучков. Генерация лазерного излучения. Условие самовозбуждения. Усиление света в активной среде лазера. Создание инверсной населенности. Индуцированные и спонтанные переходы, коэффициенты Эйнштейна. Когерентность индуцированного излучения. Вероятность индуцированных переходов при монохроматическом излучении. Однородное и неоднородное уширение. Эффект насыщения усиления. Стабильность и перестройка частоты лазеров.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Тема 2 Общая схема резонатора. Функции оптического резонатора. Резонансные элементы радио и СВЧ диапазонов. Переход к открытым резонаторам в оптическом диапазоне. Активные и пассивные резонаторы. Металлические и интерференционные зеркала, расчет коэффициентов отражения. Принципиальные схемы резонаторов – многозеркальные,	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	кольцевые резонаторы - общие понятия. Примеры использования в резонаторах призм, дифракционных решеток, световодов, эталонов. Вывод излучения из резонатора - принципиальные схемы. Резонатор в установке LIGO. Резонатор полупроводникового лазера, микрорезонаторы			
4	Тема 3 Частоты продольных мод резонатора. Добротность резонатора. Время жизни фотона в резонаторе. Спектральная ширина моды лазера. Виды потерь в пассивном резонаторе. Потери на пропускание зеркал. Дифракционные потери. Числа Френеля. Метод Фокса и Ли. Интеграл Френеля-Кирхгофа. Условие самосогласованности поля. Задача для прямоугольных и круглых зеркал. Сведение задачи к интегральным уравнениям с разделением переменных. Понятие моды ТЕМ. Сравнительные дифракционные потери основной поперечной моды и мод высших порядков. Основные выводы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Тема 4 Гауссов пучок – решение уравнений Максвелла. Скалярное волновое уравнение. Вектор Герца. Параболическое уравнение. Комплексный параметр q . Решение параболического уравнения для гауссова пучка основной моды	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Тема 5 Основные понятия и параметры гауссова пучка основной моды: эффективный радиус поперечного сечения, радиус кривизны волнового фронта, угол расходимости, каустика, оценка энергии в поперечных сечениях пучка. Условия применимости параболического уравнения.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Тема 6 Гауссовы пучки высших мод. Решения для прямоугольной и цилиндрической симметрии. Полиномы Лагерра и Эрмита. Поперечные картины поля. Суперпозиция мод. Каустики и расходимость высших мод	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Тема 7 Гауссов пучок – собственная функция резонатора: условия. Параметры гауссова пучка в зависимости от параметров резонатора. Положение перетяжки для разных гауссовых пучков. Собственные частоты резонатора (прямоугольная и цилиндрическая симметрия). Расстояние между модами. Вырождение мод. Условие устойчивости. Диаграмма устойчивости. Некоторые резонаторы. Частоты активного резонатора	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Второй раздел	7	14	0
9	Тема 8 Неустойчивые резонаторы. Приближение геометрической и волновой оптики. Постейшие методы селекции мод. Метод ЭКР, оценки потерь. Преобразования гауссовых пучков. Матричный метод. Теорема ABCD.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Тема 9	Всего аудиторных часов		

	Гауссовы пучки в линзоподобных средах. Моды квадратичных сред. Моды в оптических волокнах. Резонаторы с полыми диэлектрическими, металлодиэлектрическими и металлическими волноводами. Типы колебаний в них. Согласование резонаторов. Сканирующий интерферометр. Фактор качества пучка излучения.	1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Тема 10 Резонаторы с распределенной обратной связью, брэгговскими отражателями. Резонаторы волоконных лазеров. Резонаторы с несколькими активными элементами, с внутренними оптическими линейными и нелинейными элементами.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
12	Тема 11 Моды шепчущей галереи. Микрорезонаторы. Прямоугольные, в виде микростолбиков, микродисков, микроторов. Микросферические резонаторы. Фотонно-кристаллические микрорезонаторы	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
13	Тема 12 Измерение параметров лазерных пучков Измерение мощности и энергии излучения Измерение ширины спектральной линии Измерение длительности лазерного импульса Измерение качества пучка Параметр качества пучка. Анализ профиля пучка. Измерение распределения интенсивности по сечению пучка. Измерение расходимости излучения .. Измерение поляризации. Измерение параметров резонатора - потерь, усиления и эффективности, параметров термической линзы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
14	Тема 13 Управление параметрами лазерных пучков. Модуляция параметров лазерных пучков. Электрооптические, магнитооптические, акустооптические, оптико-механические модуляторы. Амплитудная и фазовая модуляция . Сканеры, пространственные переключатели, фильтры, преобразователи частоты. Пространственные модуляторы света, направленные ответвители. Преобразование профилей лазерных пучков. Шейперы	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
15	Тема 14 Негауссовы пучки. Понятие квазигауссова пучка, его параметры. Бесселевы пучки, их получение и применения. Пучки Матье, параболические пучки, пучки Фурье-Бесселя	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы

Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия в виде лекций и практических занятий, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в выполнении домашнего задания и повторения ранее пройденного материала.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
УК-1	З-УК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УК-1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УК-1	Э, КИ-8, КИ-15
УК-3	З-УК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УК-3	Э, КИ-8, КИ-15
УК-6	З-УК-6	Э, КИ-8, КИ-15
	У-УК-6	Э, КИ-8, КИ-15
	В-УК-6	Э, КИ-8, КИ-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			

ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«не зачтено»	F
---------	---------------------------	--------------	---

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 44 Квантовая и оптическая электроника : , Киселев Г. Л., Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. 621.37 X 69 Лазерные резонаторы и распространение пучков. Основы, современные понятия и прикладные аспекты : , Ходгсон Н., Вебер Х., Москва: ДМК Пресс, 2017
3. ЭИ Б 82 Лазеры: устройство и действие : , Ивакин С. В., Борейшо А. С., Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. ЭИ С 78 Основы оптики : , Башнина Г. Л., Стафеев С. К., Боярский К. К., Санкт-Петербург: Лань, 2022
5. 537 3-43 Принципы лазеров : , Звелто О., Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б 95 Лазерные резонаторы : учебное пособие, Силичев О. О., Быков В. П., Москва: Физматлит, 2004

2. ЭИ Г 70 Оптические микрорезонаторы с гигантской добротностью. : учебное пособие, Городецкий М. Л., Москва: Физматлит, 2011

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса необходимо после каждого занятия прорабатывать пройденный материал, выполнять домашние задания. Для успешного освоения курса нужно понять принцип генерации лазера, методы формирования лазерных пучков как за счет придания требуемых свойств собственным типам колебаний резонаторов, так и за счет использования внerezонаторных оптических элементов, хорошо разбираться в вопросах, связанных с определением параметров электромагнитного поля (частота, пространственная конфигурация, расходимость гауссовых пучков) в зависимости от конфигурации резонатора того либо иного типа.

Сдача экзамена сводится к ответу на вопросы билетов. Каждый билет содержит два теоретических вопроса по программе курса. К экзамену допускаются студенты, аттестованные по двум разделам. Аттестация первого раздела проводится по результатам написания студентами теста, второго раздела – на основе оценки реферата.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В курсе изучаются свойства и принципы формирования лазерных пучков как за счет придания требуемых свойств собственным типам колебаний резонаторов, так и за счет использования внerezонаторных оптических элементов; методы измерения параметров лазерных пучков и управления ими; физические принципы и методы реализации положительной обратной связи в оптических квантовых генераторах, а также свойства собственных типов колебаний электромагнитного поля в них.

На основе общих законов прохождения когерентных световых пучков через оптические системы надо рассмотреть процессы формирования когерентного излучения в оптических резонаторах различного типа; проанализировать факторы, определяющие пространственную структуру лазерного излучения; дать рекомендации по выбору типа и параметров резонаторов; привести сведения о различных методах воздействия на характеристики излучения путем видоизменения резонаторов и внесения в них дополнительных элементов. Основное внимание

надо уделить способам повышения пространственной когерентности излучения и уменьшения его расходимости.

Наряду с линейными и кольцевыми резонаторами следует рассмотреть резонаторы волноводного типа, резонаторы с распределенной обратной связью, брэгговскими отражателями, микрорезонаторы, резонаторы с несколькими активными элементами, с внутренними оптическими, в том числе и нелинейными элементами.

Последние занятия следует посвятить негауссовым пучкам и их применениям.

При преподавании данного курса необходимо акцентировать внимание студентов на том, как в зависимости от параметров резонатора меняются свойства генерируемых электромагнитных полей – пространственная конфигурация поля, спектральный состав поля, расходимость, возможность или невозможность наличия стационарных полей в резонаторе и т. д.

Самостоятельная работа студентов необходима для выработки у них умения применения полученных теоретических знаний для решения практических задач, таких как умение выбрать оптимальный оптический резонатор для решения конкретной задачи, рассчитать параметры резонатора, исходя из потребности в определенных свойствах пучка лазерного излучения, определить способ формирования лазерного пучка с заданными свойствами, измерить его параметры.

Автор(ы):

Чириков Сергей Николаевич, к.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

Петровский В.Н.