

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ОПТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
6	1	36	0	15	0		21	0	3
Итого	1	36	0	15	0	0	21	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются свойства устройств, играющих роль положительной обратной связи – оптических резонаторов, а также собственных типов колебаний электромагнитного поля в них – гауссовых пучков или мод резонатора. 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, расчет параметров резонатора, исходя из потребности в определенных свойствах лазерного излучения.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Оптические резонаторы» является формирование у студентов знаний и навыков, необходимых для успешной научной и профессиональной деятельности в различных областях лазерной физики, в частности для расчета параметров электромагнитных полей, генерирующихся в открытых оптических резонаторах (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, нелинейной оптикой, взаимодействием излучения с веществом, квантовой механикой, физикой твердого тела, лазерными технологиями и другими.

Для изучения данной дисциплины от студентов требуются знания в области оптики, электромагнетизма, квантовой механики, наличие базовых знаний об устройстве твердотельных, газовых и полупроводниковых лазеров, 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 лазеров и лазерного излучения.

Курс «Открытые резонаторы» входит в число базовых при подготовке современных специалистов по лазерной физике на уровне бакалавров.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательской			
Разработка лазерных и оптических технологий; анализ поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики; экспериментальные исследования в области фотоники и оптоинформатики новых явлений, материалов, систем и устройств	Лазерные технологии, элементы в составе лазерных систем, оптические материалы и детали, дифракционные оптические элементы, голограммы	ПК-1 [1] - способен к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004	З-ПК-1[1] - Знать современное состояние развития фотоники и оптоинформатики ; У-ПК-1[1] - уметь анализировать исходные требования при решении задач в области фотоники и оптоинформатики проводить поиск научнотехнической информации по теме решаемой задачи уточнять и корректировать требования к решаемой задаче в области фотоники и оптоинформатики ; В-ПК-1[1] - Владеть навыками анализа простых исследовательских задач в области фотоники и оптоинформатики
Разработка лазерных и оптических технологий; анализ поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики; экспериментальные исследования в области фотоники и оптоинформатики новых явлений, материалов, систем и	Лазерные технологии, элементы в составе лазерных систем, оптические материалы и детали, дифракционные оптические элементы, голограммы	ПК-2.1 [1] - Способен применять основы физической оптики, теории интерференции, дифракции, временной и пространственной когерентности, использовать знания о закономерностях распространения световых пучков в вакууме, линейных и нелинейных средах, об	З-ПК-2.1[1] - Знать особенности и области применения оптических методов обработки информации, физической оптики, информационной оптики, оптоэлектроники; У-ПК-2.1[1] - Уметь применять основное исследовательское

устройств		<p>оптической и цифровой голографии;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>оборудование и измерительные приборы в области оптических информационных технологий; В-ПК-2.1[1] - Владеть способностями анализа научных задач в области оптических информационных технологий</p>
<p>Разработка лазерных и оптических технологий; анализ поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики; экспериментальные исследования в области фотоники и оптоинформатики новых явлений, материалов, систем и устройств</p>	<p>Лазерные технологии, элементы в составе лазерных систем, оптические материалы и детали, дифракционные оптические элементы, голограммы</p>	<p>ПК-2.3 [1] - Способен владеть основами физики конденсированных сред и лазерной физики, использованию знаний об оптических кристаллах, материалах для фотоники и оптоинформатики, типах и характеристиках лазеров, готовностью к использованию методов исследования оптических свойств конденсированных сред;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.004</p>	<p>З-ПК-2.3[1] - Знать основную элементную базу и устройства фотоники, лазерной физики, оптических информационных систем; У-ПК-2.3[1] - Уметь проводить анализ решаемой задачи в области физики конденсированных сред, лазерной физики, фотоники и оптоинформатики и корректировать требования к ней; В-ПК-2.3[1] - Владеть основными методами и приемами проверки и контроля параметров устройств фотоники и оптических информационных систем</p>
<b>проектно-конструкторский</b>			
<p>Проектирование и конструирование оптических технологий передачи, приема, обработки, хранения и отображения информации; участие в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию</p>	<p>Элементная база фотоники и оптоинформатики и цифровые методы анализа</p>	<p>ПК-2.6 [1] - Способен производить основные расчёты при математическом моделировании оптических процессов, компьютерный синтез дифракционных оптических элементов, а также контролировать их</p>	<p>З-ПК-2.6[1] - Знать современные методы математического моделирования оптических процессов, методы компьютерного синтеза дифракционных оптических элементов;</p>

опытных образцов изделий, узлов, элементов приборов и систем фотоники и оптоинформатики		соответствие исходным требованиям  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.017	У-ПК-2.6[1] - Уметь ставить задачи по проектированию оптических систем для применений в технологии, диагностике и научных исследованиях; использовать инновационные разработки фотоники и оптических информационных систем в технологических и измерительных задачах; В-ПК-2.6[1] - Владеть навыками моделирования и расчетов оптических процессов и дифракционных оптических элементов
---	--	---	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности

		отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
--	--	--

## 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	8-8	0/1/0		2	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-

							2.3, 3-ПК- 2.6, У- ПК- 2.6, В- ПК- 2.6
2	Второй раздел	9-15	0/14/0		48	КИ-15	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2.1, У- ПК- 2.1, В- ПК- 2.1, 3-ПК- 2.3, У- ПК- 2.3, В- ПК- 2.3, 3-ПК- 2.6, У- ПК- 2.6, В- ПК- 2.6
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		0/15/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 6 Семестр</b>				50	3	3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1, 3-ПК- 2.1, У- ПК- 2.1, В-

							ПК-2.1, 3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – 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
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	0	15	0
<b>8-8</b>	<b>Первый раздел</b>	0	1	0
	<b>Занятие 0</b> вводное занятие	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Второй раздел</b>	0	14	0
9	<b>Занятие 1</b> Общая схема резонатора. Почему открытые, почему $L \gg \lambda$ ? Функции оптического резонатора. Активные и пассивные резонаторы. Принципиальные схемы резонаторов – многозеркальные, кольцевые резонаторы - общие понятия. Вывод излучения из резонатора - принципиальные схемы. Самые короткие и самые длинные резонаторы. Частоты продольных мод резонатора. Добротность резонатора. Время жизни фотона в резонаторе. Спектральная ширина моды лазера.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0



10	<b>Занятие 2.</b> 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		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Занятие 3</b> 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		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Занятие 4.</b> 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		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Занятие 5.</b> Гауссовы пучки высших мод. Решения для прямоугольной и цилиндрической симметрии. Полиномы Лагерра и Эрмита. Поперечные картины поля. Каустики и расходимость высших мод	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Занятие 6.</b> 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.	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Занятие 7</b> Метод ЭКР, оценки потерь. Неустойчивые резонаторы. Как подбирать резонатор? Частоты активного резонатора. Преобразования гауссовых пучков. Матричный метод. Согласование резонаторов. Резкость. Интерферометры Гауссовы пучки в линзоподобных средах (световодах). Моды квадратичных сред. Моды в оптических волокнах	Всего аудиторных часов		
		0	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

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, 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)
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15
ПК-2.1	З-ПК-2.1	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.1	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.1	З, КИ-8, КИ-15
ПК-2.3	З-ПК-2.3	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.3	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.3	З, КИ-8, КИ-15
ПК-2.6	З-ПК-2.6	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.6	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.6	З, 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-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно,

			четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	В	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 44 Квантовая и оптическая электроника : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. 535 Д31 Современная лазерная спектроскопия : учебное пособие, Долгопрудный: Интеллект, 2014
3. 535 Б95 Лазерные резонаторы : , В. П. Быков, О. О. Силичев, Москва: Физматлит, 2004
4. 537 З-43 Принципы лазеров : , О. Звелто, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.37 X 69 Лазерные резонаторы и распространение пучков. Основы, современные понятия и прикладные аспекты : , Москва: ДМК Пресс, 2017

### 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 «Оптические резонаторы» необходимо 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 зачета сводится к ответу на вопросы билетов. Каждый билет содержит теоретические вопросы по программе лекционного курса. Для получения зачета необходимо также выполнить все домашние задания.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

В курсе изучаются свойства устройств, играющих роль положительной обратной связи – оптических резонаторов, а также собственных типов колебаний электромагнитного поля в них – гауссовых пучков или мод резонатора. 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, расчет параметров резонатора, исходя из потребности в определенных свойствах лазерного излучения.

Автор(ы):

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

Рецензент(ы):

Зубарев И.Г.

