

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

Образовательно-научный институт ядерной энергетики
и технической физики им. академика Ф.М. Митенкова (ИЯЭиТФ)

УТВЕРЖДАЮ:

И.О.Директора института:

_____ Легчанов М.А.

22 июня 2022

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ОД.6 Интегральная квантовая фотоника
для подготовки магистров

Направление подготовки: 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность: Квантовые технологии в инфокоммуникациях

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2022

Выпускающая кафедра: ФТОС

Кафедра-разработчик: ФТОС

Объем дисциплины: 108 часов / 3 з.е.

Промежуточная аттестация: зачёт

Разработчик: Капустин С.А.

Нижний Новгород

2022

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.04.02. Инфокоммуникационные технологии и системы связи,

утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 22 сентября 2017 г. № 958 на основании учебного плана принятого УМС НГТУ протокол от 20 января 2022 г. № 9.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры протокол от 09 июня 2022 г. № 32.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н, профессор, Раевский А.С. _____

Программа рекомендована к утверждению советом ИЯЭиТФ, протокол от 22.06.2022 г. № 3.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 11.04.02-К-15.

Начальник МО _____ Н.Р. Булгакова

Заведующая отделом комплектования НТБ Н.И. Кабанина

Оглавление

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.1. Цель освоения дисциплины	4
1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля)	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	8
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ	8
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ	9
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	13
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	15
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА	15
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА	15
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ	15
7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	16
7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)	16
7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем	16
8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ	17
9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	17
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	18
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	18
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА	19
10.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ	19
10.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ	20
11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	21
11.1. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	21
11.2. ТИПОВЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	21
11.3. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ	22

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения дисциплины являются формирование необходимых компетенций для построения, сбора и анализа исходных данных и расчета различных пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов с учетом современных тенденций их микроминиатюризации, а так же овладение навыками проведения измерений параметров устройств оптического и квазиоптического диапазонов в интегральном исполнении.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

- ознакомление с принципами действия устройств интегральной квантовой фотоники;
- ознакомление с возможностями использования устройств, выполненных на принципах интегральной квантовой фотоники, в инфокоммуникационных системах и сетях различных типов передачи распределения, обработки и хранения информации;
- освоение современных методов расчета устройств интегральной квантовой фотоники;
- освоение численными методами, используемыми для математических моделей устройств интегральной квантовой фотоники;
- изучение теории рассеяния света, в том числе теории комбинационного рассеяния, теории рассеяния света в кристаллах, теории нелинейного взаимодействия света с веществом.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Интегральная квантовая фотоника» включена в обязательный перечень дисциплин вариативной части (формируемой участниками образовательных отношений), определяющий направленность ОП. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП.

Дисциплина базируется на дисциплине «Электромагнитные поля и волны» по программе бакалавриата.

Дисциплина «Интегральная квантовая фотоника» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Прикладная радиофотоника и квантовая оптоэлектроника», «Терагерцовая фотоника».

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов профессиональной компетенции, определяемой образовательной организацией самостоятельно, в соответствии с ОПОП ВО по направлению 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»:

ПКС-10 Способен выбирать и проводить сравнительный анализ вариантов проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов частот.

Формирование указанной компетенции размещено в таблице 1.

Таблица 1 – Формирование компетенции дисциплинами

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования компетенции дисциплинами			
	1	2	3	4
ПКС-10				
Получение волоконных световодов для квантовых коммуникаций				
Спецразделы квантовой физики				
Интегральная квантовая фотоника				
Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)				
Квантовая волоконно-оптическая связь				
Прикладная радиофотоника и квантовая оптоэлектроника				
Терагерцовая фотоника				
Выполнение и защита ВКР				
Преддипломная практика				

3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП

Таблица 2 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
					Текущего контроля	Промежуточной аттестации
ПКС-10. Способен выбирать и проводить сравнительный анализ вариантов проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов частот	ИПКС-10.1. Осваивает современные и перспективные направления систем связи квазиоптического и оптического диапазонов	Знать: – современные тенденции развития интегральной квантовой фотоники в области обработки и хранения информации; – теорию рассеяния света, в том числе теорию комбинационного рассеяния, теорию рассеяния света в кристаллах, теорию нелинейного взаимодействия света с веществом.	Уметь: – находить в периодической литературе и обновляемых интернет-ресурсах материалы по новым теоретическим и практическим исследованиям в областях интегральной квантовой фотоники и инфокоммуникационных технологий, базирующихся на передаче и обработке световых сигналов;	Владеть:	Контрольные работы, доклады.	Вопросы для устного собеседования: билеты
	ИПКС-10.2. Анализирует и выбирает варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов	Знать: – принципы действия устройств интегральной квантовой фотоники; – возможности использования устройств, выполненных на принципах интегральной квантовой фотоники, в инфокоммуникационных системах и сетях различных типов передачи распределения, обработки и хранения информации.	Уметь:	Владеть:		

	ИПКС-10.3. Использует современные инфокоммуникационные технологии и методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем связи оптического и квазиоптического диапазона	Знать: <ul style="list-style-type: none"> – современные методы расчета устройств интегральной квантовой фотоники; – численные методы, используемые для математических моделей устройств интегральной квантовой фотоники. 	Уметь: <ul style="list-style-type: none"> – использовать для выполнения инженерных расчетов в практических задачах физической оптики адекватный математический аппарат; – использовать современную вычислительную базу для обработки результатов физического эксперимента. 	Владеть: <ul style="list-style-type: none"> – навыками обобщения и анализа имеющихся экспериментальных данных и наблюдаемых физических явлений на базе современных теоретических моделей и представлений; – современными методами расчета и оптимизации сетей связи, устройств интегральной квантовой фотоники; – навыками работы с призмным монохроматором, оптическим гониометром, фазированной дифракционной решеткой и т.д.; – навыками юстирования оптических линеек, в том числе, установок, предназначенных для модуляции световых сигналов. 		
--	---	---	---	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. 108 часов, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час	
	Всего час.	В т.ч. по семестрам
		2 сем
Формат изучения дисциплины	очная	
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	108	108
1. Контактная работа:	55	55
1.1.Аудиторная работа, в том числе:	51	51
занятия лекционного типа (Л)	17	17
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др)	34	34
лабораторные работы (ЛР)	-	-
1.2.Внеаудиторная, в том числе	4	4
курсовая работа (КР) (консультация, защита)	-	-
текущий контроль, консультации по дисциплине	4	4
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	-	-
2. Самостоятельная работа (СРС)	53	53
курсовая работа (КР) (подготовка)	-	-
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям)	53	53
Подготовка к экзамену (контроль)	-	-

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 – Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
2 СЕМЕСТР								
ПКС-10 (ИПКС-1,2,3)	Раздел 1 Основные базовые элементы интегральной квантовой фотоники							
	Тема 1.1. Однородные планарные оптические волноводы.	1,0		3,0		Подготовка к лекциям и практическим занятиям [6.1.1] - [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п. Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».	
	Тема 1.2. Трехмерные (полосковые) волноводы. Пленочные волноводы, нагруженные полоской.	1,0		2,0				
	Тема 1.3. Гребневые волноводы. Профильно-пленочные волноводы.	1,0		2,0				
	Тема 1.4. Оптический направленный ответвитель.	1,0		2,0				
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела				10,0			
	Итого по 1 разделу	4,00	0,00	9,00	10,00			

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
2 СЕМЕСТР								
ПКС-10 (ИПКС-1,2,3)	Раздел 2. Фокусирующие элементы интегральной квантовой фотоники							
	Тема 2.1. Волноводные линзы Лунеберга.	1,0		1,0		Подготовка к лекциям и практическим занятиям [6.1.1] - [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п. Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».	
	Тема 2.2. Дискретные и аналоговые линзы Френеля.	1,0		1,0				
	Тема 2.3. Геодезические линзы.	1,0		1,0				
	Самостоятельная работа по освоению 2 раздела				8,0			
	Итого по 2 разделу	3,0	0,0	3,0	8,0			

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
2 СЕМЕСТР								
ПКС-10 (ИПКС-1,2,3)	Раздел 3. Элементы и устройства для ввода и вывода излучения из волноводов.							
	Тема 3.1. Основы оптического согласования, параметры оптического согласования.	1,0		1,0		Подготовка к лекциям и практическим занятиям [6.1.1] - [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п. Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».	
	Тема 3.2. Призмённые устройства связи. Решеточные устройства связи.	1,0		1,0				
	Тема 3.3. Сужающиеся элементы связи.	1,0		1,0				
	Самостоятельная работа по освоению 3 раздела				10,0			
	Итого по 3 разделу	3,00	0,0	3,00	10,00			

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
2 СЕМЕСТР								
ПКС-10 (ИПКС-1,2,3)	Раздел 4. Волноводные преобразователи и селекторы мод. Тонкопленочные фильтры.							
	Тема 4.1. Модовый преобразователь на основе системы разветвляющихся волноводов.	1,0		1,0		Подготовка к лекциям и практическим занятиям [6.1.1] - [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п. Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».	
	Тема 4.2. Решеточный фильтр. Основные конструкции модовых преобразователей.	1,0		1,0				
	Тема 4.3. Фильтр на основе кольцевого резонатора. Интерференционный фильтр.	1,0		1,0				
	Самостоятельная работа по освоению 4 раздела				10,0			
	Итого по 4 разделу	3,0	0,0	3,0	10,0			

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (СРС), час			
		Лекции, час	Лабораторные работы, час	Практические занятия, час				
2 СЕМЕСТР								
ПКС-10 (ИПКС-1,2,3)	Раздел 5 Волноводные переключатели, модуляторы, дефлекторы.							
	Тема 5.1. Двухканальный электрооптический модулятор. Методы анализа и оптимизации двухканального электрооптического модулятора.	1,0		4,0		Подготовка к лекциям и практическим занятиям [6.1.1] - [6.1.5]	Презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, книг, компьютеров, цифровых проекторов и т.п. Дискуссия (обсуждение решения задач, выполненных студентом у доски); «мозговой штурм».	
	Тема 5.2. Электрооптические модуляторы, использующих отражение излучения. Электрооптические модуляторы типа Маха-Цандера.	1,0		4,0				
	Тема 5.3. Акустооптический эффект. Акустооптические модуляторы на основе дифракции Рамана-Ната.	1,0		4,0				
	Тема 5.4. Акустооптические модуляторы Брэгга. Преобразователи акустооптических модуляторов.	1,0		4,0				
	Самостоятельная работа по освоению 5 раздела				15,0			
	Итого по 5 разделу	4,00	0,00	16,00	15,00			
	ИТОГО ЗА 2 СЕМЕСТР	17,00	0,00	34,00	53,00			
	ИТОГО по дисциплине	17,00	0,00	34,00	53,00			

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы и примеры заданий для контрольных работ.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме зачёта во 2 семестре.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Физика и техника оптической связи».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле и оценка выполнения лабораторных работ приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле и оценка выполнения лабораторных работ

Шкала оценивания	Шкала оценивания лабораторных и контрольных работ	Зачет
$40 < R \leq 50$	Отлично	зачет
$30 < R \leq 40$	Хорошо	
$20 < R \leq 30$	Удовлетворительно	
$0 < R \leq 20$	Неудовлетворительно	незачет

При промежуточной аттестации успеваемость студентов оценивается как «зачет» / «незачет».

Таблица 6 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
		Оценка «незачет»	Оценка «зачет»
ПКС-10. Способен выбирать и проводить сравнительный анализ вариантов проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов частот	ИПКС-10.1. Осваивает современные и перспективные направления систем связи квазиоптического и оптического диапазонов	Не знает современные тенденции развития интегральной квантовой фотоники в области обработки и хранения информации; теорию рассеяния света, в том числе теорию комбинационного рассеяния, теорию рассеяния света в кристаллах, теорию нелинейного взаимодействия света с веществом. Не умеет находить в периодической литературе и обновляемых интернет-ресурсах материалы по новым теоретическим и практическим исследованиям в областях интегральной квантовой фотоники и инфокоммуникационных технологий, базирующихся на передаче и обработке световых сигналов.	Знает современные тенденции развития интегральной квантовой фотоники в области обработки и хранения информации; теорию рассеяния света, в том числе теорию комбинационного рассеяния, теорию рассеяния света в кристаллах, теорию нелинейного взаимодействия света с веществом. Умеет находить в периодической литературе и обновляемых интернет-ресурсах материалы по новым теоретическим и практическим исследованиям в областях интегральной квантовой фотоники и инфокоммуникационных технологий, базирующихся на передаче и обработке световых сигналов.
	ИПКС-10.2. Анализирует и выбирает варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов	Не знает принципы действия устройств интегральной квантовой фотоники; возможности использования устройств, выполненных на принципах интегральной квантовой фотоники, в инфокоммуникационных системах и сетях различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации.	Знает принципы действия устройств интегральной квантовой фотоники; возможности использования устройств, выполненных на принципах интегральной квантовой фотоники, в инфокоммуникационных системах и сетях различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации.
	ИПКС-10.3. Использует современные инфокоммуникационные технологии и методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем связи оптического и квазиоптического диапазона	Не знает современные методы расчета устройств интегральной квантовой фотоники; численные методы, используемые для математических моделей устройств интегральной квантовой фотоники. Не умеет использовать для выполнения инженерных расчетов в практических задачах физической оптики адекватный математический аппарат; использовать современную вычислительную базу для обработки результатов физического эксперимента. Не владеет навыками обобщения и анализа имеющихся экспериментальных данных и наблюдаемых физических явлений на базе современных теоретических моделей и представлений; современными методами расчета и оптимизации сетей связи, устройств интегральной квантовой фотоники; навыками работы с призматическим монохроматором, оптическим гониометром, фазированной дифракционной решеткой и т.д.	Знает современные методы расчета устройств интегральной квантовой фотоники; численные методы, используемые для математических моделей устройств интегральной квантовой фотоники. Умеет использовать для выполнения инженерных расчетов в практических задачах физической оптики адекватный математический аппарат; использовать современную вычислительную базу для обработки результатов физического эксперимента. Владеет навыками обобщения и анализа имеющихся экспериментальных данных и наблюдаемых физических явлений на базе современных теоретических моделей и представлений; современными методами расчета и оптимизации сетей связи, устройств интегральной квантовой фотоники; навыками работы с призматическим монохроматором, оптическим гониометром, фазированной дифракционной решеткой и т.д.

Таблица 7 – Критерии оценивания

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку « отлично » заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку « хорошо » заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку « удовлетворительно » заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку « неудовлетворительно » заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

- 6.1.1. Панов М.Ф. Физические основы интегральной оптики/ М.Ф.Панов, А.В. Соломонов, Ю.В. Филатов,- М.: Академия, 2010
- 6.1.2. Киселев Г. Л. Квантовая и оптическая электроника/ Г. Л.Киселев- СПб.: Лань, 2011
- 6.1.3. Бударагин Р. В. Интегральная оптика/ Р. В. Бударагин, В.К. Майстренко, А.В. Назаров, С.Б. Раевский- НГТУ, Н.Новгород, 2013
- 6.1.4. Шредер Г. Техническая оптика: Пер. с нем/ Г. Шредер, Х. Трайбер -М.: Техносфера, 2006
- 6.1.5. Калитеевский Н.И. Волновая оптика/ Н.И. Калитеевский СПб.: Лань 2006

6.2. Справочно-библиографическая литература

- 6.2.1. Журнал «Техническая физика»
- 6.2.2. Письма в журнал «Техническая физика»
- 6.2.3. Журнал «Российские нанотехнологии»
- 6.2.4. Журнал «Успехи физических наук»
- 6.2.5. Журнал «Физика твердого тела»
- 6.2.6. Журнал «Радиотехника и электроника»

6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных занятий по дисциплине «Интегральная квантовая фотоника» находятся на кафедре «ФТОС».

6.3.1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы по дисциплине «Интегральная квантовая фотоника».

6.3.2. Методические рекомендации по организации и планированию практических занятия по дисциплине «Интегральная квантовая фотоника».

6.3.3. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «Интегральная квантовая фотоника».

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
3. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. – Загл. с экрана.
4. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
5. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
6. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	http://www.studentlibrary.ru/
2	Лань	https://e.lanbook.com/
3	Юрайт	https://biblio-online.ru/

В таблице 9 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 9 - Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОС-СТАНДАРТ	https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	https://cyberpedia.su/21x47c0.html

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к лицам с ограниченными возможностями их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 10 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 2210 – 11 компьютеров, ауд. 6119 – 9 компьютеров);
- читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
- ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

Для проведения лекционных демонстраций имеется мультимедийный проектор.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Интегральная квантовая фотоника», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ФТОС» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях, практических занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на лабораторных занятиях, практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom. Иницируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачёта с учетом текущей успеваемости.

Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Результат обучения считается несформированным, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с

большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

10.2. Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.3. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях

Практические занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях.

Практические занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- получение умений и навыков решения задач;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины.

10.5. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ФТОС».

11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится комплексная оценка знаний, включающая теоретический опрос и защиту отчетов по лабораторным работам.

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине: зачёт во 2 семестре.

11.1. Типовые вопросы для лабораторных работ

Контрольные вопросы для лабораторных работ приведены в учебно-методических пособиях по проведению лабораторных работ.

11.2. Типовые вопросы для промежуточной аттестации

1. Лучевая модель планарного оптического волновода (ПОВ).
2. Характеристическое уравнение ПОВ.
3. Классификация собственных волн ПОВ.
4. Особенности спектра собственных волн симметричного ПОВа.
5. Особенности спектра собственных волн слабонаправляющей пленки.
6. Полевая модель ПОВа.
7. Причины затухания в планарных волноводах.
8. Упрощенная модель полоскового волновода. Особенности спектра собственных волн полоскового волновода.
9. Полевые модели полосковых волноводов. Их достоинства и недостатки.
10. Необходимость использования пленочного волновода, нагруженного полоской.
11. Достоинства пленочного волновода, нагруженного полоской.
12. Гребневые волноводы. Спектр собственных волн
13. Профильно-пленочные волноводы, условия реализации одномодового режима в профильно-пленочном волноводе.
14. Принцип действия направленного ответвителя.
15. Анализ направленного ответвителя методом связанных волн.
16. Профильно-пленочные волноводы. Спектр собственных волн.
17. Электродинамический анализ профильно-пленочного волновода.
18. Волноводные линзы Лунеберга. Основные виды конструкций.
19. Рабочие характеристики линз
20. Принцип действия дискретных линз Френеля
21. Принцип действия аналоговых линз Френеля
22. Геодезические линзы. Основные виды конструкций.
23. Рабочие характеристики линз
24. Виды оптического согласования при вводе излучения в ИОС.
25. Необходимость поперечного ввода излучения.
26. Параметры оценки согласования
27. Необходимость использования призмы при вводе излучения.
28. Анализ эффективности ввода излучения через призму методом связанных волн. Недостатки призмных устройств связи.
29. Влияние зазора между гранью призмы и поверхностью волновода на работу призмного устройства связи.
30. Решеточные устройства связи с равномерным шагом. Принцип действия.
31. Решеточные устройства связи с «блеском». Принцип действия .
32. Сужающиеся элементы связи. Принцип действия .
33. Сравнения различных элементов связи при вводе-выводе излучения в ИОС.
34. Модовый преобразователь на основе системы разветвляющихся волноводов. Принцип действия.

35. Использование решеточных устройств для преобразования мод в ПОВ.
36. Виды и типы преобразователей мод на основе решеточных устройств связи.
37. Селектор мод на основе волновода переменной толщины.
38. Селекторы мод с резистивными включениями в пленке и на поверхности волновода. Принцип действия.
39. Фильтр на основе кольцевого резонатора. Фильтр на основе кольцевого резонатора. Принцип действия.
40. Принцип действия интерференционного фильтра на основе призмного устройства связи.
41. Электрооптический эффект. Его разновидности.
42. Двухканальный электрооптический модулятор Принцип действия .
43. Конструкция электрооптического модулятора, использующего отражение излучения. Принцип действия.
44. Конструкция Электрооптические модуляторы типа Маха-Цандера. Принцип действия.
45. Анализ двухканального электрооптического модулятора методом связанных волн.
46. Зависимость модуляционных характеристик двухканального электрооптического модулятора от геометрических параметров модулятора.
47. Зависимость модуляционных характеристик двухканального электрооптического модулятора от параметров вещества из которого изготовлен модулятор.
48. Условие существования акустооптического эффекта .
49. Акустооптический эффект при дифракции Рамана-Ната.
50. Акустооптический эффект при дифракции Брэгга.
51. Акустооптические модуляторы на основе дифракции Рамана-Ната. Рабочие характеристики модуляторов Рамана-Ната.
52. Анализ и расчет модуляторов Рамана-Ната.
53. Принцип действия модуляторов Брэгга.
54. Рабочие характеристики модуляторов и дефлекторов Брэгга.
55. Преобразователи встречно- штырьвого типа. Конструкция, функциональное назначение.
56. Чирп- преобразователи.
57. Методы увеличения полосы частот модуляторов.

11.3. Типовые задания для текущего контроля

1. Какой фазовый сдвиг Гуса-Хенкена будет, если угол отсечки приближается к углу распространения волноводной оптической моды в планарном оптическом волноводе.
2. Определить изменения в показателе преломления в волноводе из кварца толщиной 3 мкм и шириной 100 мкм под действием акустической волны мощностью 1 Вт.
3. Определить изменение показателя преломления Δn одного из волноводов двухканального направленного ответвителя для расчета величины необходимой для полного аннулирования перекачки энергии. Волновой вектор k , длина связи L В течение семестра на практических занятиях проводятся две одночасовые контрольные работы.
4. Призма из титаната стронция ($n=2.32$) используется в качестве выходного элемента связи для вывода излучения из волновода на основе Ta_2O_5 ($n=2.09$) ($n=2.09$). Три «m- линии» наблюдаются под углами $36,5^\circ, 30,2^\circ, 24,6^\circ$ относительно поверхности волновода. Выходная поверхность призмы составляет угол 60° с поверхностью волновода, а длина волны излучения $\lambda_0 = 9050 \text{ А}$. Найти постоянную распространения для этих трех мод.

5. Решеточный элемент связи с периодом $\Lambda = 0,4$ мкм, расположенный на плоском волноводе из GaAs, используется для введения излучения лазера ($\lambda_0 = 1,15$ мкм). Если постоянная распространения для моды наименьшего порядка в волноводе $\beta_0 = 3,6$ к, какой угол должен составить луч лазера с поверхностью волновода для связи на этой моде?. Принять, что связь осуществляется в первом порядке.

6. Модулятор Брэгга изготовлен на основе плоского волновода из $LiNbO_3$ способного пропускать свет только на моде наименьшего порядка длиной волны 6328 Å. Этой моде соответствует $\beta = 2,058 \cdot 10^5$ см⁻¹. Объемный показатель преломления $LiNbO_3$ на этой волне соответствует 2,295, длина волны акустического излучения в этом волноводе 2,5 мкм, а длина взаимодействия 2 мм. Определить угол по отношению к направлению акустического излучения, под которым следует вводить пучок света, чтобы достичь максимальной эффективности дифракции.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института ИЯЭиТФ

_____ Хробостов А.Е.

“___” _____ 20__ г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины
Б1.В.ОД.6 Интегральная квантовая фотоника**

для подготовки магистров

Направление подготовки: 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность (программа): Квантовые технологии в инфокоммуникациях

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 20__ г.

Курс 1

Семестр 2

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20__ г. и 20__ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

- 1)
- 2)
- 3)

Разработчик (и): Капустин С.А.

«__» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ФТОС

_____ протокол № _____ от «__» _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____

Лист актуализации принят на хранение:

Заведующий выпускающей кафедрой ФТОС _____ «__» _____ 20__ г.

Методический отдел УМУ: _____ «__» _____ 20__ г.