

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОГЛАСОВАНО**

Заведующий кафедрой

Кафедра теоретической физики и  
волновых явлений  
(ТФВЯ\_ИИФР)

наименование кафедры

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий ОП ВО

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой

Кафедра теоретической физики и  
волновых явлений (ТФВЯ\_ИИФР)

наименование кафедры

профессор С.Г.Овчинников

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий дисциплину

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ОПТИКА ФОТОННЫХ  
КРИСТАЛЛОВ**

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 Оптика фотонных кристаллов

Направление подготовки /  
специальность 16.04.01 Техническая физика, программа  
16.04.01.02 Оптическая физика и квантовая  
электроника 2020г

Направленность  
(профиль)

Форма обучения

очная

Год набора

2020

Красноярск 2021

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по укрупненной группе

160000 «ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ»

Направление подготовки /специальность (профиль/специализация)

Направление 16.04.01 Техническая физика, программа 16.04.01.02

Оптическая физика и квантовая электроника 2020г.

Программу д.ф.-м.н., Профессор, С.Я.Ветров  
составили

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование у будущих магистров знаний о фундаментальных физических явлениях и законах, лежащих в основе функционирования одних из самых интересных объектов изучения в современной физике – фотонных кристаллов, а также формирование научного подхода при исследовании таких объектов и создании на их основе разнообразных оптических устройств.

### 1.2 Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести знания, умения и навыки, необходимые для его профессиональной деятельности. Магистрант должен иметь базовые представления о современных проблемах оптики фотонных кристаллов

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

<b>ОПК-1: способностью к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов</b>	
Уровень 1	физические явления и законы, лежащие в основе функционирования фотонных кристаллов
Уровень 1	применять знания в области оптики фотонных кристаллов в своей профессиональной области
<b>ОПК-2: способностью демонстрировать и использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук</b>	
Уровень 1	решать задачи оптики фотонных кристаллов
<b>ПК-5: способностью критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты</b>	
Уровень 1	исследовать фотонные кристаллы и создавать на их основе разнообразные оптические устройства
Уровень 1	методами исследования оптических свойств фотонных кристаллов
<b>ПК-11: способностью применять и разрабатывать новые образовательные технологии</b>	
Уровень 1	публично представлять информацию в области оптики фотонных кристаллов

1.4 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Обучение строится на основе курсов:

Нанофотоника

Техническая оптика

Нелинейная оптика

Освоение дисциплины необходимо для изучения:

НИР

Элементы и устройства оптоэлектроники и нанофотоники

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной  
квалификационной работы

Преддипломная практика

1.5 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

## 2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		3
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>4 (144)</b>	<b>4 (144)</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>0,89 (32)</b>	<b>0,89 (32)</b>
занятия лекционного типа	0,44 (16)	0,44 (16)
занятия семинарского типа		
в том числе: семинары		
практические занятия	0,44 (16)	0,44 (16)
практикумы		
лабораторные работы		
другие виды контактной работы		
в том числе: групповые консультации		
индивидуальные консультации		
иная внеаудиторная контактная работа:		
групповые занятия		
индивидуальные занятия		
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>2,11 (76)</b>	<b>2,11 (76)</b>
изучение теоретического курса (ТО)		
расчетно-графические задания, задачи (РГЗ)		
реферат, эссе (Р)		
курсовое проектирование (КП)	Нет	Нет
курсовая работа (КР)	Нет	Нет
<b>Промежуточная аттестация (Экзамен)</b>	<b>1 (36)</b>	<b>1 (36)</b>

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа (акад. час)	Занятия семинарского типа		Самостоятельная работа, (акад. час)	Формируемые компетенции
			Семинары и/или Практические занятия (акад. час)	Лабораторные работы и/или Практикумы (акад. час)		
1	2	3	4	5	6	7
1	Распространение электромагнитных волн в веществе	5	6	0	25	ОПК-1 ОПК-2 ПК-11 ПК-5
2	Фотонные кристаллы и их получение	5	6	0	25	ОПК-1 ОПК-2 ПК-11 ПК-5
3	Исследование оптических свойств фотонных кристаллов	6	4	0	26	ОПК-1 ОПК-2 ПК-11 ПК-5
Всего		16	16	0	76	

#### 3.2 Занятия лекционного типа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме

1	1	<p>Введение в дисциплину «Оптика фотонных кристаллов». Уравнения электромагнитного поля</p> <p>Основы оптоэлектроники. Элементная база. Простейшие превращения в полупроводнике. Оптический компьютер – перспектива или утопия? Фотонные кристаллы. Уравнения Максвелла. Граничные условия. Различные типы сред. Волновое уравнение и монохроматические плоские волны. Некоторые параметры среды. Распространение лазерных импульсов, групповая скорость.</p>	2	0	0
2	1	<p>Поляризация световых волн. Электромагнитные волны в анизотропных средах</p> <p>Что такое поляризация? Поляризация монохроматических плоских волн. Линейная и круговая поляризации. Представление комплексного параметра. Вектор Джонса.</p> <p>Общие закономерности распространения электромагнитных волн в анизотропных средах. Распространение плоских волн в кристаллических средах. Оптические свойства кристаллов.</p>	2	0	0

3	1	<p>Распространение электромагнитных волн в периодических средах. Распространение волн в слоистых средах</p> <p>Периодические среды. Одномерные периодические среды. Слоистые среды. Блоховские волны и зонная структура. Брэгговское отражение.</p>	1	0	0
4	2	<p>Электрооптика. Управление спектром объемных и поверхностных электромагнитных волн в фотонных кристаллах. Электрооптический эффект. Линейный электрооптический эффект. Пример: электрооптический эффект в <math>\text{KN}_2\text{PO}_4</math>. Электрооптическая модуляция. Фазовая модуляция света. Электрооптические эффекты в жидких кристаллах. Эффект ориентации. Объемные электромагнитные волны в фотонном кристалле. Поверхностные электромагнитные волны в фотонном кристалле.</p>	2	0	0

5	2	<p>Теория связанных мод в среде с периодическим изменением диэлектрического тензора. Теория связанных мод для брэгговских отражателей  Метод вариации постоянных. Уравнение связанных мод. Связь между модами, распространяющимися в одном направлении. Связь между противоположно направленными модами. Постоянные связи. Коэффициент отражения.</p>	2	0	0
6	2	<p>Волноводное распространение электромагнитного излучения. Технология получения фотонных кристаллов  Общие свойства диэлектрических волноводов. ТЕ- и ТМ-моды в асимметричном волноводе. ТЕ- и ТМ-моды в планарном волноводе. Фотонно-кристаллические волокна. Волноводы в виде цепочки дефектов в фотонном кристалле. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Двумерные ФЗЗ-материалы. Синтез материалов с трехмерной ФЗЗ. Экспериментальные методы исследования ФК.</p>	1	0	0

7	3	<p>Локализованные электромагнитные моды и спектр пропускания одномерного фотонного кристалла с дефектами решетки.</p> <p>Локализованные электромагнитные моды и спектр пропускания одномерного фотонного кристалла с дефектами решетки</p> <p>Спектр собственных возбуждений одномерного ФК с дефектом решетки.</p> <p>Метод трансфер-матрицы. Частоты и коэффициенты затухания дефектных мод. Локализация поля вблизи дефектного слоя.</p> <p>Пик пропускания дефектной моды.</p> <p>Экспериментальное наблюдение расщепления дефектных мод в фотонном кристалле.</p>	2	0	0
---	---	--	---	---	---

8	3	<p>Экспериментальные угловые и температурные зависимости спектров пропускания одномерного фотонного кристалла с жидкокристаллическим дефектом. Спонтанное излучение и плотность электромагнитных мод в оптике фотонных кристаллов  Образец ФК и методика эксперимента. Угловые зависимости спектра пропускания ФК. Термооптическое переключение в одномерном ФК. Обсуждение экспериментальных результатов. Плотность фотонных состояний и зонная структура спектра для волн в двумерном фотонном кристалле. Метод получения точного выражения для плотности фотонных состояний плоскостной среды. Спонтанная эмиссия в сверхрешетках с фотонной запрещенной зоной.</p>	2	0	0
---	---	--	---	---	---

9	3	Нелинейные эффекты в фотонно-кристаллических средах. Самособирающиеся фотонные кристаллы с дефектами решетки Фотонные запрещенные зоны. Оптическое переключение. Оптический диод. Фотонные дефектные моды в холестерическом жидком кристалле, индуцируемые локальным изменением шага спирали. Биосенсоры на фотонно-кристаллических структурах.	2	0	0
Всего			16	0	0

### 3.3 Занятия семинарского типа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
1	1	Уравнения Максвелла. Граничные условия. Различные типы оптических сред.	1	0	0
2	1	Волновое уравнение и монохроматические плоские волны. Некоторые параметры среды. Распространение лазерных импульсов, групповая скорость.	1	0	0
3	1	Поляризация монохроматических плоских волн. Линейная и круговая поляризации. Представление комплексного параметра. Вектор Джонса.	1	0	0

4	1	Общие закономерности распространения электромагнитных волн в анизотропных средах. Распространение плоских волн в кристаллических средах. Оптические свойства кристаллов.	1	0	0
5	1	Распространение оптических волн в периодических средах. Одномерные периодические среды.	1	0	0
6	1	Периодические слоистые среды. Блоховские волны и зонная структура. Брэгговское отражение.	1	0	0
7	2	Электрооптический эффект. Линейный электрооптический эффект. Пример: электрооптический эффект в $\text{KN}_2\text{PO}_4$ . Электрооптическая модуляция. Фазовая модуляция света. Электрооптические эффекты в жидких кристаллах. Эффект ориентации.	1	0	0
8	2	Объемные электромагнитные волны в фотонном кристалле. Поверхностные электромагнитные волны в фотонном кристалле. Управление спектром объемных и поверхностных электромагнитных волн в фотонных кристаллах.	1	0	0

9	2	Теория связанных мод в среде с периодическим изменением диэлектрического тензора. Метод вариации постоянных. Уравнение связанных мод. Связь между модами, распространяющимися в одном направлении.	1	0	0
10	2	Связь между противоположно направленными модами. Теория связанных мод для брэгговских отражателей. Постоянные связи. Коэффициент отражения.	1	0	0
11	2	Волноводное распространение электромагнитного излучения. Общие свойства диэлектрических волноводов. ТЕ- и ТМ-моды в асимметричном волноводе. ТЕ- и ТМ-моды в планарном волноводе.	1	0	0
12	2	Фотонно-кристаллические волокна. Волноводы в виде цепочки дефектов в фотонном кристалле.	1	0	0
13	3	Локализованные электромагнитные моды и спектр возбуждения одномерного фотонного кристалла с дефектами решетки.	1	0	0
14	3	Локализованные электромагнитные моды и спектр пропускания одномерного фотонного кристалла с дефектами решетки.	1	0	0
15	3	Спонтанное излучение и плотность электромагнитных мод в оптике фотонных кристаллов.	1	0	0

16	3	Распространение интенсивного лазерного излучения в нелинейных фотонно-кристаллических средах, Самособирающиеся фотонные холестерические жидкие кристаллы, Распространение света в холестерических жидких кристаллах с дефектами решетки	1	0	0
Всего			16	0	0

### 3.4 Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
Всего					

## 4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Ветров С. Я., Тимофеев И.В., Тимофеев В. П.	Оптика фотонных кристаллов: учебно-методическое пособие [для студентов напр. 223200 «Техническая физика» по программе «Оптическая физика и квантовая электроника»]	Красноярск: СФУ, 2013

## 5 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

## 6 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

6.1. Основная литература			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Салех Б. Е. А., Тейх М. К.	Оптика и фотоника. Принципы и применения: Т. 1: [учебное пособие : в 2-х томах] : перевод с английского	Долгопрудный: Интеллект, 2012

Л1.2	Салех Б. Е. А., Тейх М. К.	Оптика и фотоника. Принципы и применения: Т. 2: [учебное пособие : в 2-х томах] : перевод с английского	Долгопрудный: Интеллект, 2012
Л1.3	Агравал Г. П., Денисюк И. Ю.	Применение нелинейной волоконной оптики: учеб. пособие для студентов вузов	Санкт-Петербург: Лань, 2011
Л1.4	Кульчин Ю. Н.	Современная оптика и фотоника нано- и микросистем	Москва: Физматлит, 2016
6.2. Дополнительная литература			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Шабанов В. Ф., Ветров С. Я., Шабанов А. В., Слабко В. В.	Оптика реальных фотонных кристаллов. Жидкокристаллические дефекты, неоднородности: монография	Новосибирск: СО РАН, 2005
Л2.2	Кившарь Ю. С., Агравал Г. П.	Оптические солитоны. От волоконных световодов к фотонным кристаллам: пер. с англ.	Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005
Л2.3	Третьяков Ю. Д.	Нанотехнологии. Азбука для всех: науч.-попул. изд.	М.: Физматлит, 2010
Л2.4	Игнатов А. Н.	Оптоэлектроника и нанофотоника: учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по направлениям "Электроника и наноэлектроника", "Телекоммуникации"	Санкт-Петербург: Лань, 2011
Л2.5	Шабанов В. Ф., Зырянов В. Я.	Фотонные кристаллы и нанокompозиты: структурообразование, оптические и диэлектрические свойства	Новосибирск: Издательство СО РАН, 2009
Л2.6	Стафеев С. К., Боярский К. К., Башнина Г. Л.	Основы оптики: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям "Физика" (510400), "Прикладные математика и физика" (511600), "Оптехника" (551900), "Приборостроение" (551500) и другим физическим и техническим направлениям подготовки	Санкт-Петербург: Лань, 2013
Л2.7	Розеншер Э., Винтер Б., Ермаков О. Н.	Оптоэлектроника: пер. с фр.	Москва: Техносфера, 2004
6.3. Методические разработки			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Ветров С. Я., Тимофеев И.В., Тимофеев В. П.	Оптика фотонных кристаллов: учебно-методическое пособие [для студентов напр. 223200 «Техническая физика» по программе «Оптическая физика и квантовая электроника»]	Красноярск: СФУ, 2013

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

Э1	Электронная естественнонаучная библиотека	<a href="http://bib.tiera.ru">http://bib.tiera.ru</a>
----	---	---

## 8 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В отличие от аудиторной работы, которая всегда коллективна, самостоятельная работа является строго индивидуальной. В ней особенно четко проявляются личные качества студента (дисциплинированность, настойчивость, внимательность, наблюдательность, вдумчивость и т.д.), а также его навыки и умения (работать с книгой, сосредотачиваться, логически рассуждать, излагать свои мысли, владеть пером и грамотой письма и т.д.). Отдавая должное обоим видам работ, авторы все же считают самостоятельную работу более важной составляющей учебного процесса. Еще древние говорили, что научить нельзя, можно только научиться.

В данном случае этот вид работы фактически состоит из двух частей.

1. Первая включает в себя выполнение домашнего задания и подготовку к очередному аудиторному занятию.

Выполнение домашнего задания следует начинать с теоретической подготовки, которая включает в себя проработку лекционного материала. Авторы настоятельно рекомендуют не ограничиваться только этим, а прорабатывать еще литературу, которая рекомендована лектором. Во-первых, этим у студента вырабатывается умение работать с книгой, а во-вторых, в лекциях невозможно раскрыть материал во всей полноте; лекции дают лишь «скелет» дисциплины, который еще надо снабдить «мышцами», роль которых и играет работа с дополнительной литературой. Все это расширяет профессиональный кругозор будущего магистра, прибавляя ему уверенности в себе.

После теоретической подготовки следует переходить к решению задач домашнего задания, выданного на семинаре. Авторы рекомендуют начинать эту процедуру с разбора решений аналогичных задач, приведенных в методических указаниях к практическим занятиям по дисциплине «Оптика фотонных кристаллов». Сам же процесс решения следует разделить на несколько этапов (авторы рекомендуют пять). На первом из них надо внимательно прочесть текст задачи, как можно глубже вникнуть в ее условие и понять, что требуется определить. На втором этапе это понимание надо изобразить в виде эскиза или рисунка, который при грамотном исполнении помогает еще глубже вникнуть в суть задачи. На третьем этапе

определяются те законы, которыми эта задача может быть описана, и составляются соответствующие уравнения. Здесь же выясняется, достаточно ли этих уравнений для получения однозначного решения. Если нет, то система уравнений дополняется. Четвертый этап состоит в математическом решении задачи. На пятом необходимо проверить правильность размерности полученных в решении величин и их физическую корректность (например, если требовалось определить энергию импульса, то она уж никак не должна быть меньше энергии одного фотона!). Добавим сюда общую рекомендацию: при письменном оформлении домашней работы поясняйте свои действия словами и объясняйте, почему для решения задачи были выбраны именно эти уравнения, а не другие, указывайте область их действия и т.д. Следите за письменной грамотой и стилем изложения. Помните, кто ясно мыслит, тот ясно излагает.

2. Вторая часть самостоятельной работы заключается в выполнении задания, которое выдается студентам уже в начале изучения дисциплины. Оно состоит из трех задач, которые необходимо решить в течение всего семестра по мере освоения соответствующего материала, т.к. темы задач относятся к различным ее модулям. Результаты этой работы сдаются преподавателю в письменной форме до конца семестра, время которых указано в графике учебного процесса и самостоятельной работы студентов. После ее проверки работа может быть возвращена студенту на доработку, если в ней были обнаружены какие-либо недочеты. Методика решения этих шести задач такая же, как изложенная выше.

Положительное заключение преподавателя о результатах решения задач является обязательным условием допуска студента к сдаче экзамена.

## **9 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

### **9.1 Перечень необходимого программного обеспечения**

9.1.1	1. Microsoft Office.
9.1.2	2. Adobe Reader.

### **9.2 Перечень необходимых информационных справочных систем**

9.2.1	Доступ к библиотечному фонду (в сети СФУ, раздел «Библиотека», <a href="http://bik.sfu-kras.ru/">http://bik.sfu-kras.ru/</a> ).
-------	---

## **10 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Занятия проводятся в учебных аудиториях для занятий лекционного и семинарского типа. Аудитории должны быть укомплектованы техническими средствами обучения.