

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

  
\_\_\_\_\_ Н.В.Лобов

« 04 » декабря 20 19 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** \_\_\_\_\_ Фотоника инфракрасного диапазона  
(наименование)

**Форма обучения:** \_\_\_\_\_ очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** \_\_\_\_\_ магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ 180 (5)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** \_\_\_\_\_ 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика  
(код и наименование направления)

**Направленность:** \_\_\_\_\_ Материалы и технологии волоконной оптики  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины «Фотоника инфракрасного диапазона» – приобретение знаний в области оптических явлениях в инфракрасном (ИК) диапазоне электромагнитного спектра, подходов к их описанию в различных физических (природных и технических) системах; формирование умений, навыков и компетенций по их анализу, исследованию и применению в технических системах; знакомство с основными методами изготовления заготовок световодов и вытяжки волокон; оборудованием, используемым при изготовлении оптических волокон, и контрольно-испытательным оборудованием; изучение и приобретение навыков использования методов математического и компьютерного моделирования при решении конструкторских и технологических задач в будущей профессиональной деятельности.

Задачи учебной дисциплины:

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- знать физику ИК - диапазона электромагнитного поля в ее взаимосвязи со всем спектром законов физики и пределы ее применимости;
- формировать умение пользоваться основными оптическими измерительными приборами, анализировать полученные экспериментальные данные и производить с их помощью расчеты характеристик оптических систем ИК - диапазона;
- формировать навыки применения положений оптической физики к научному анализу ситуаций в ИК - фотонике, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новой техники и новых технологий;
- владеть основными подходами, позволяющими описать оптические явления при решении современных и перспективных технологических задач при конструировании аппаратуры для ИК – диапазона электромагнитных волн;
- владеть основными теоретическими и экспериментальными подходами, позволяющими анализировать прочность и надежность технических систем, содержащих элементы ИК-фотоники;
- знать принципы работы, а также владеть навыками использования технологического оборудования (литографов, МСVD - оборудования), с которым инженеру приходится сталкиваться при создании техники ИК- диапазона;
- формирование умения разрабатывать технологию получения микроструктурированных оптических волокон (ОВ);
- формирование навыков расчета свойств специальных волоконных световодов.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- физические явления и процессы в ИК оптических системах;
- физические приборы для исследования ИК оптических систем;
- физические приборы, основанные на ИК оптических явлениях;
- методы исследования ИК оптических систем;
- принципы работы технологического оборудования для производства компонентов ИК - устройств фотоники;
- свойства телекоммуникационных и специальных волокон и области их применения в волоконно-оптических датчиках и устройствах.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.1	ИД-1ПК-2.1	<p>В результате освоения дисциплины студент знает:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. теоретические основы оптической физики ИК диапазона электромагнитного спектра, принципы математического описания опти-ческих явлений, концепции и модельные приближения;</li> <li>2. принципы работы, характеристики и параметры оптических ИК элементов, приборов и систем;</li> <li>3. условия эксплуатации ИК элементов, приборов и систем, требования эксплуатационной прочности и надежности;</li> <li>4. классификацию и основные характеристики специальных волоконных световодов, дисперсионные свойства различных ОВ, спектральные зависимости дисперсии в одномодовом ОВ;</li> <li>5. материалы и технологическое оборудование, применяемые при производстве оптических волокон, а также контроле свойств выпускаемых волокон.</li> </ol>	Знает физические принципы работы приборов фотоники; дисперсионные свойства различных ОВ; материалы и технологическое оборудование, применяемые при производстве оптических волокон	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	<p>По результатам обучения студент умеет:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. формулировать тематику перспективных исследований на основе современных мировых тенденций в развитии фотоники;</li> <li>2. принимать решения по прогнозным оценкам развития производства; аргументировать принятые решения;</li> <li>3. представлять результаты научно - исследовательской деятельности в форме профессиональных публикаций в специализированных журналах, а также в форме отчетов, рефератов, конференционных докладов;</li> <li>4. анализировать условия наблюдения и регистрации ИК эффектов и процессов;</li> <li>5. использовать измерительные приборы для исследования основных явлений ИК оптики, анализировать эмпирические данные.</li> </ol>	<p>Умеет принимать стратегические решения при выборе направлений и управлении исследовательскими работами в области фотоники</p>	Экзамен
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	<p>По результатам обучения студент владеет:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. методами постановки задачи и методикой проведения эксперимента с использованием элементов ИК оптики;</li> <li>2. навыками работы с реальными техническими устройствами, содержащими системы ИК оптики;</li> <li>3. навыками работы с измерительным и технологическим оборудованием, применяющимся при</li> </ol>	<p>Владеет навыками принятия решений о проведении исследовательских работ, направленных на оптимизацию технологических процессов производства приборов фотоники; утверждения плана исследовательских работ, направленных на оптимизацию имеющихся и внедрение новых технологических процессов</p>	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		разработке и производстве устройств ИК оптики; 4. оптической терминологией; 5. аналитическими и численными расчетными методами для определения количественных характеристик элементной базы устройств ИК фотоники; 6. навыками работы с современной научно-технической литературой в области ИК фотоники; 7. навыками принятия решений о проведении исследовательских работ, направленных на оптимизацию технологических процессов производства приборов фотоники.		

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		3
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:		
- лекции (Л)	16	16
- лабораторные работы (ЛР)	32	32
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)		
- контроль самостоятельной работы (КСР)	6	6
- контрольная работа		
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	90	90
2. Промежуточная аттестация		
Экзамен	36	36
Дифференцированный зачет		
Зачет		
Курсовой проект (КП)		
Курсовая работа (КР)		
Общая трудоемкость дисциплины	180	180

#### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
3-й семестр				
Генерация ИК излучения	5	0	0	16
<p>Тема 1. ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ.            Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Энергетические состояния в полупроводниках. Оптические переходы. Квантоворазмерные структуры: квантовые ямы, проволоки и точки. Полупроводниковые гетеропереходы и инжекционная электролюминесценция.</p> <p>Тема 2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИК ЛАЗЕРЫ И УСИЛИТЕЛИ.            Полупроводниковые лазеры с электронной и оптической накачкой. Гетеролазеры с распределенной обратной связью. Инжекционные лазеры, лазерные линейки и решетки. Поверхностно-излучающие (планарные) инжекционные микролазеры. Каскадные лазеры. Волоконные лазеры и усилители. Генерация ультракоротких импульсов света.</p> <p>Тема 3. НАНОЛАЗЕРЫ ИК ДИАПАЗОНА.            ИК - лазеры и усилители на поверхностных плазмонах и локализованном плазмонном резонансе (спазеры). Волна Зоммерфельда - Ценнека. Поверхностный плазмон – поляритон. Поверхностный плазмонный резонанс. Локализованный плазмонный резонанс в металлических наночастицах. Плазмонные резонаторы. Линейки и решетки плазмонных резонаторов. Плазмонные метаматериалы. Нелинейная плазмоника (генерация второй и третьей гармоник, четырех - волновое смешение гармоник). Нанолазеры. Использование наноструктурированных форм углерода (графена и углеродных нанотрубок) в элементной базе ИК устройств.</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
ИК устройства для передачи информации	8	32	0	54
<p>Тема 4. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ИК КОМПОНЕНТЫ ВОЛОКОННО - ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРДАЧИ ИНФОРМАЦИИ.</p> <p>ИК - фотоприемники. Оптические разветвители, мультиплексоры и демультимплексоры, коммутаторы и изоляторы. Внешние оптические модуляторы. Оптические линии связи. Волоконные линии связи. Технологии спектрального (WDM) и временного (TDM) уплотнения информации в волоконных линиях связи. Модовое (угловое) уплотнение. Оптические солитоны в волоконно-оптических линиях связи. ИК – нановолноводы. Плазмонные волноводы “металл – диэлектрик – метал ” (МДМ) и ДМД типов.</p> <p>Тема 5. ПЛАНАРНАЯ ИК ОПТИКА.</p> <p>Реализация дифракционных решеток, линзовых, растровых и призматических элементов методами планарной технологии. Сумматоры и делители мощности, интерферометр Маха-Цендера на основе планарной технологии. Устройства обработки информации на основе интерферометрических схем, принципы резервуарных вычислений и их реализация планарными приборами. Устройства нелинейного преобразования излучения (конверсии частот) в области ближнего и среднего ИК диапазона. Метаповерхности из металлических наночастиц и их свойства в ИК диапазоне.</p> <p>Тема 6. ТРЕХМЕРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИК УСТРОЙСТВА.</p> <p>ИК - наноантенны. Основы теории антенн. Отличие оптических наноантенн от их СВЧ - аналогов. Наноантенны на основе плазмонных материалов (благородных металлов и графена) и углеродных нанотрубок. Фотонные кристаллы и метаматериалы. Управление рефракцией и рассеянием света с помощью трансформационной оптики. Метаматериалы с близкими к нулю значениями диэлектрической и магнитной проницаемости для улучшения когерентности. Гиперболические метаматериалы. Оптические ловушки и оптическое управление движением наночастиц.</p> <p>Тема 7. ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ИК ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ И КОСМОСЕ.</p> <p>Распространение световых импульсов в свободном пространстве: дифракционная расходимость излучения, поглощение и рассеяние атмосферными газами и малыми частицами. Теория Рэлеевского рассеяния. Лидары и</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
дистанционное зондирование, лазерная космическая связь.				
Технологии производства в ИК – фотонике	3	0	0	20
Тема 8. MCVD (modified chemical vapor deposition) – технология (модифицированное химическое осаждение из газовой фазы). Методы получения чистого диоксида кремния для изготовления оптических волокон. Контроль осаждения химических компонентов при использовании метода. Методы снижения количества загрязняющих компонентов. Преимущества и недостатки MCVD – технологии по сравнению с другими технологиями (PCVD, OVD, VAD). Тема 9. Литография. Оптическая литография. Литографический процесс с экспонированием (облучением) фоторезиста «глубокий» (deep ultra violet— DUV) и «жестким» (extreme ultra violet — EUV) ультрафиолетовым излучением. Пределы технологических допусков получаемых функциональных элементов. Иммерсная нанолитография. Электронная литография. Безмасочная литография.				
ИТОГО по 3-му семестру	16	32	0	90
ИТОГО по дисциплине	16	32	0	90

### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
2	Генерация ИК излучения волоконным лазером
3	Плазмонные резонаторы. Сферический резонатор
3	Изучение распространения поверхностных плазмонов с помощью компьютерного моделирования
5	Интерферометры Фабри-Перо и Маха-Цандера. Принципы реализации резервуарных вычислений с помощью интерферометрических схем.
6	Метаматериал с отрицательной рефракцией. Обратные волны
6	Излучение ИК - наноматериалов. Диаграммы направленности
6	Гиперболические метаматериалы первого и второго рода
6	Цепочечные волноводы из сферических резонаторов
7	Дифракция ИК излучения на сферических частицах и частицах сложной формы



## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учебное пособие для вузов / А. Н. Игнатов. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2011.	3
2	Иродов И. Е. Волновые процессы. Основные законы : учебное пособие / И. Е. Иродов. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2006.	19
3	Иродов И. Е. Электромагнетизм. Основные законы : учебное пособие для вузов / И. Е. Иродов. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2007.	80
4	Климов В. В. Наноплазмоника / В. В. Климов. - Москва: Физматлит, 2009.	1
5	Паршаков А. Н. Введение в квантовую физику : учебное пособие для вузов / А. Н. Паршаков. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2010.	125

6	Пихтин А. Н. Квантовая и оптическая электроника : учебник для вузов / А. Н. Пихтин. - Москва: Абрис, 2012.	2
7	Т. 1. - Долгопрудный: , Интеллект, 2012. - (Оптика и фотоника. Принципы и применения : учебное пособие : в 2 т. : пер. с англ.; Т. 1).	5
8	Т. 2. - Долгопрудный: , Интеллект, 2012. - (Оптика и фотоника. Принципы и применения : учебное пособие : в 2 т. : пер. с англ.; Т. 2).	5
9	Физические основы полупроводниковой оптоэлектроники. Когерентная оптоэлектроника. - Москва: , Янус-К, 2010. - (Оптоэлектроника; Ч. 1).	1
10	Щука А. А. Наноэлектроника : учебное пособие для вузов / А. А. Щука. - Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2012.	4
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Андреев В.А. Многомодовые оптические волокна: Теория и приложения на высокоскоростных сетях связи / В.А.Андреев,А.А.Бурдин. - М.: Радио и связь, 2004.	1
2	Беспрозванных В. Г. Нелинейные эффекты в волоконной оптике : учебное пособие для вузов / В. Г. Беспрозванных, В. П. Первадчук. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011.	10
3	Ильинский Ю. А. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом : учебное пособие для вузов / Ю. А. Ильинский, Л. В. Келдыш. - Москва: Изд-во МГУ, 1989.	4
4	Калитеевский Н.И. Волновая оптика : учебное пособие для вузов / Н.И. Калитеевский. - СПб: Лань, 2006.	3
5	Кухаркин Е. С. Электрофизика информационных систем : учебное пособие для вузов / Е. С. Кухаркин. - Москва: Высш. шк., 2001.	15
6	Пименов Ю. В. Техническая электродинамика : учебное пособие для вузов / Ю. В. Пименов, В. И. Вольман, А. Д. Муравцов. - Москва: Радио и связь, 2000.	15
7	Пименов Ю.В. Линейная макроскопическая электродинамика. Вводный курс для радиофизиков и инженеров : учебное пособие / Ю.В. Пименов. - Долгопрудный: Интеллект, 2008.	4
8	Термические сенсоры. Сенсоры оптического и инфракрасного излучения. - Новосибирск: , Изд-во НГТУ, 2006. - (Физика микросистем : учебное пособие; Ч. 2).	3
9	Фриман Р Волоконно-оптические системы связи : пер. с англ. / Р. Фриман. - М.: Техносфера, 2007.	10
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Квантовая электроника : журнал / Российская академия наук; Физический институт им. П. Н. Лебедева ; Институт общей физики им. А.М. Прохорова; Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет); Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Международный учебно-научный лазерный центр; Астрофизика; Научно-исследовательский институт лазерной физики; Российская академия наук. Сибирское отделение; Институт лазерной физики; Научно-исследовательский институт Полус им. М. Ф. Стельмаха. - Москва: Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева РАН, 1971 - .	
2	Оптика и спектроскопия : журнал / Российская академия наук. - Москва: Наука, 1956 - .	

3	Оптический журнал : научно-технический журнал / Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики; Оптическое общество им. Д.С. Рождественского. - Санкт-Петербург: ГОИ им. С.И. Вавилова, 1931 - .	
4	Фотоника : научно-технический журнал / Техносфера; Лазерная ассоциация; журнал Photonik и AT-Fachverlag GmbH. - Москва: Техносфера, 2007 - .	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Методические указания для студентов по освоению дисциплины	Барков Ф. Л. Оптика / Ф. Л. Барков, В. Г. Беспрозванных, Г. Н. Вотинов, О. М. Зверев, А. В. Перминов, В. С. Постников. - Пермь: Издательство ПНИПУ, 2017.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib4333">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib4333</a>	локальная сеть; авторизованный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Adobe Acrobat Reader DC. бесплатное ПО просмотра PDF
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Офисные приложения.	МойОфис Стандартный. , реестр отечественного ПО, необходима покупка лицензий.
Среды разработки, тестирования и отладки	Embarcadero Delphi 2007, лиц.№ 33948 , 137 лиц. ПНИПУ 2008 г.
Среды разработки, тестирования и отладки	Embarcadero Educational Borland Pascal 7.0, ПНИПУ 2008 г.

#### **6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

#### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Комплект оборудования по фотонике (согл. описи)	1
Лекция	Комплект мультимедийного оборудования	1

#### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе
------------------------------

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»

### **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«ИК – Фотоника»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	Материалы и технологии волоконной оптики
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Магистр»
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Общая физика
<b>Форма обучения:</b>	Очная

**Курс: 2**

**Семестр: 3**

**Трудоёмкость:**

- кредитов по рабочему учебному плану:	5 ЗЕ
- часов по рабочему учебному плану:	180 ч

**Форма промежуточной аттестации:**

Экзамен: 3 семестр

Пермь 2019

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### **1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (3-го семестра учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций знать, уметь, владеть, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и зачете. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля			
	Текущий	Рубежный		Промежуточный
	С, ТО	КР	ОЛР	Экзамен
<b>Усвоенные знания. Знает:</b>				
<b>3.1.</b> теоретические основы оптической физики ИК диапазона электромагнитного спектра, принципы математического описания оптических явлений, концепции и модельные приближения;	С, ТО	КР2 КР1		ТВ, ПЗ
<b>3.2.</b> принципы работы, характеристики и параметры оптических ИК элементов, приборов и систем;	С, ТО	КР3 КР2 КР1	ОЛР	ТВ
<b>3.3.</b> условия эксплуатации ИК элементов, приборов и систем, требования эксплуатационной прочности и надежности;	С, ТО		ОЛР	ТВ

<p><b>3.4.</b> структуру и типы волн простейших волноводных систем: прямоугольного волновода с идеально отражающими стенками, прямоугольного и круглого диэлектрических волноводов с анизотропным заполнением, градиентных волноводов;</p> <p><b>3.6.</b> простейшие виды резонаторов и классификацию колебаний в них;</p> <p><b>3.7.</b> основные типы лазеров, применяющихся в ИК диапазоне;</p> <p><b>3.9.</b> явления в метаматериалах, разрабатываемых в фотонике (отрицательная рефракция, обратные волны, гиперболический закон дисперсии).</p>	С, ТО		ОЛР	ТВ
	С, ТО			ТВ
	С, ТО	КР1	ОЛР	ТВ, ПЗ
	С, ТО			ТВ
<b>Освоенные умения. Умеет:</b>				
<b>У.1.</b> принимать стратегические решения при выборе направлений и управлении исследовательскими работами в области фотоники;	С		ОЛР	ПЗ
<b>У.2.</b> принимать решения по прогнозным оценкам развития производства; аргументировать принятые решения;	С		ОЛР	ПЗ
<b>У.3.</b> анализировать условия наблюдения и регистрации ИК эффектов и процессов;		КР1	ОЛР	ПЗ
<b>У.4.</b> использовать измерительные приборы для исследования основных явлений ИК оптики, анализировать эмпирические данные;		КР1		ПЗ
<b>У.5.</b> использовать измерительные приборы для исследования динамики и прочности конструкций ИК устройств.		КР1	ОЛР	ПЗ
<b>Приобретенные владения. Владеет:</b>				
<b>В.1.</b> методами постановки задачи и методикой проведения эксперимента с использованием элементов ИК оптики;	С		ОЛР	КЗ
<b>В.2.</b> навыками работы с реальными техническими устройствами, содержащими системы ИК оптики;	С		ОЛР	КЗ
<b>В.3.</b> навыками работы с измерительным и технологическим оборудованием, применяющимся при разработке и производстве устройств ИК оптики;	С		ОЛР	КЗ
<b>В.4.</b> оптической терминологией;	С			
<b>В.5.</b> аналитическими и численными расчетными методами для определения количественных характеристик элементной базы устройств ИК фотоники;	С,ТО			КЗ

<b>В.6.</b> навыками работы с современной научно-технической литературой в области ИК фотоники.	С			
<b>В.7.</b> навыками работы с измерительным оборудованием, применяющимся при разработке и производстве устройств фотоники.	С			

С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной работе; КР – рубежная контрольная работа; ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание.

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения.**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланчного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.



## 2.1. Текущий контроль усвоения материала.

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 2.2. Рубежный контроль.

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### 2.2.1. Защита лабораторных работ.

Всего запланировано 9 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД. Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### 2.2.2. Рубежная контрольная работа.

Согласно РПД запланировано 3 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР проводится по содержанию модуля 1 (Тема 3) «Поверхностные плазмон - поляритоны», КР № 2 – по модулю 2 (Тема 4) «Плазмонные волноводы», КР № 3 – по модулю 2 (Тема 6) «Основы теории антенн».

#### Типовые задания КР № 1 «Поверхностные плазмон - поляритоны».

1. Записать выражение закона Ома  $\{j\}=[\sigma]\{E\}$  для плазмы с учетом столкновений ее частиц в переменном электрическом поле. Для этого воспользоваться уравнением движения заряда в форме:

$$m(d\mathbf{v}_t/dt) = q\mathbf{E}_t - m\omega_{rel}\mathbf{v}_t.$$

2. Записать выражение закона Ома  $\{j\}=[\sigma]\{E\}$  для плазмы с учетом столкновений ее частиц в скрещенных полях: переменном электрическом и постоянном магнитном. Для этого воспользоваться уравнением движения заряда в форме:

$$m (d\mathbf{v}_i^{\mathbf{r}}(t)/dt) = q\dot{\mathbf{E}}_i(t) + q\mathbf{v}_i^{\mathbf{r}}(t) \times \dot{\mathbf{B}}_0 - m\omega_{rel}\mathbf{v}_i^{\mathbf{r}}(t).$$

3. Из уравнения Друде и системы уравнений Максвелла найти вид функции диэлектрической проницаемости плазмонного металла.
4. Установить выражение волнового вектора поверхностного плазмон – поляритона возникающего на одиночной границе раздела сред “метал – диэлектрик”.
5. Вывести форму условия прижатия электромагнитной энергии в поверхностном плазмон - поляритоне к границе раздела сред “метал – диэлектрик”:  $|\epsilon_{1r} + \epsilon_{2r}| \rightarrow 0$ .

### Типовые задания КР № 2 «Плазмонные волноводы».

1. Записать выражение низшей ТМ – волны плазмонного волновода, выполненного по схеме “метал – диэлектрик – металл” (МДМ).
2. Записать дисперсионное уравнение плазмонного МДМ волновода для случая двух разных металлов, прилегающих к диэлектрическому слою.
3. Записать дисперсионное уравнение плазмонного МДМ волновода для случая двух одинаковых металлов, прилегающих к диэлектрическому слою.
4. Доказать отсутствие критической частоты для плазмонного МДМ волновода.

### Типовые задания КР № 3 «Основы теории антенн».

Задание КР: найти изображение в плоскости 4 (рис.1), формируемое оптической антенной, расположенной в плоскости 1 и обтекаемой заданным током  $j(x, y, \omega)$  (обозначение  $\sigma(t)$  соответствует функции Хэвисайда).

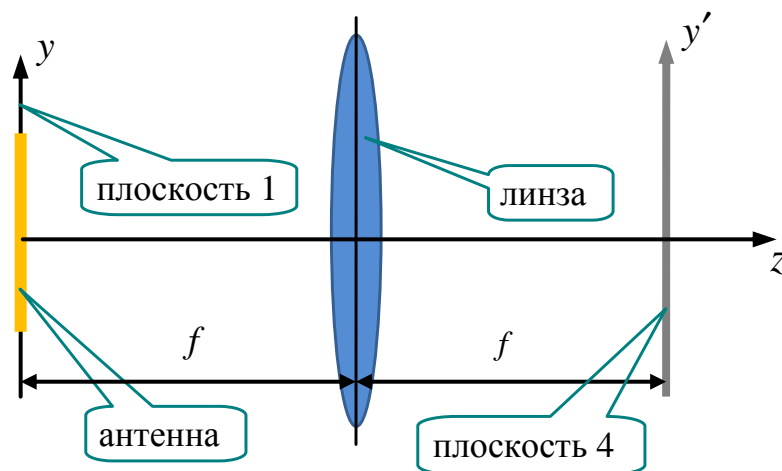


Рис.1. Геометрия задачи.

1. Задан двумерный вещественный сигнал  
$$j(x, y, \omega) = \left[ \sigma\left(x + \frac{A}{2}\right) - \sigma\left(x - \frac{A}{2}\right) \right] \left[ \sigma\left(y + \frac{B}{2}\right) - \sigma\left(y - \frac{B}{2}\right) \right] e^{-\omega^2}$$
 со следующими

параметрами:  $A > 0$  и  $B > 0$  – линейные размеры антенны по координатным осям  $X$  и  $Y$ , соответственно;  $\omega$  – частота ( $\text{сек}^{-1}$ ).

2. Задан двумерный вещественный сигнал  
$$j(x, y, \omega) = \left[ \sigma\left(x + \frac{A}{2}\right) - \sigma\left(x - \frac{A}{2}\right) \right] \left[ \sigma\left(y + \frac{B}{2}\right) - \sigma\left(y - \frac{B}{2}\right) \right] \cos(\xi_x x) \cos(\xi_y y) e^{-\omega^2}$$

со следующими параметрами:  $A > 0$  и  $B > 0$  – линейные размеры ( $m$ ) антенны по координатным осям  $X$  и  $Y$ , соответственно;  $\omega$  – частота ( $\text{сек}^{-1}$ ),  $\xi_x$  и  $\xi_y$  – пространственные частоты.

3. Задан двумерный вещественный сигнал  
$$j(x, y, \omega) = \left[ \sigma\left(x + \frac{A}{2}\right) - \sigma\left(x - \frac{A}{2}\right) \right] e^{-\alpha_y y^2} e^{-\omega^2}$$
 со следующими параметрами:

$A > 0$  – линейный размер ( $m$ ) антенны по координатной оси  $X$ ,  $\omega$  – частота ( $\text{сек}^{-1}$ ),  $\alpha_y > 0$  – некоторая константа.

4. Задан двумерный вещественный сигнал  
$$j(x, y, \omega) = \left[ \sigma\left(x + \frac{A}{2}\right) - \sigma\left(x - \frac{A}{2}\right) \right] \cos(\xi_x x) e^{-\alpha_y y^2} e^{-\omega^2}$$
 со следующими

параметрами:  $A > 0$  – линейный размер ( $m$ ) антенны по координатной оси  $X$ ,  $\omega$  – частота ( $\text{сек}^{-1}$ ),  $\xi_x$  – пространственная частота,  $\alpha_y > 0$  – некоторая константа.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### 2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль).

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена (3 сем.) по дисциплине устно по билетам. Экзаменационный билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех

заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине.**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний.**

1. Комплексная диэлектрическая проницаемость плазмы с учетом столкновений (без учета магнитного поля). Уравнение Друде. Газ коллективизированных электронов в металле. Плазмоны.
2. Поверхностные плазмоны и волна Зоммерфельда – Ценнека.
3. Метаматериалы с близкими к нулю значениями диэлектрической и магнитной проницаемости для улучшения когерентности.
4. Обратные волны и отрицательная рефракция в среде Веселаго. Задача о падении плоской волны из идеального однородного изотропного диэлектрика на плоскую границу раздела с «дважды отрицательной» средой. Коэффициенты отражения и преломления.
5. Линза Веселаго – Пендри. Резонатор Энгета.
6. Гиперболический метаматериал и его тензор диэлектрической проницаемости. Дисперсионные уравнения в гиперболическом материале.
7. Принцип работы квантовых усилителей и генераторов. Возбуждение активного вещества (накачка). Оптические резонаторы. Диэлектрические микрорезонаторы различной формы (сферические, прямоугольные, сложной формы). Проходные резонаторы.
8. Элементы сферического анализа. Ряды Ми. Теория сферических диэлектрических резонаторов.
9. Технологии спектрального (WDM) и пространственного (SDM) уплотнения информации в волоконных линиях связи. Модовое (угловое) уплотнение.
10. Мультиплексирование, демultipлексирование оптических сигналов с помощью линейных и нелинейных интерферометрических схем на основе интерферометров Маха-Цандера. Принципы построения резервуарных компьютеров с помощью интерферометрических схем.
11. Элементарный электрический излучатель (ЭЭИ). ЭМ поле ЭЭИ в частотной области. Диаграмма направленности ЭЭИ (по электрическому и магнитному полю, по мощности и энергии).
12. Элементарный электрический излучатель и его ЭМ поле во временной области.
13. Характеристики антенн: коэффициент направленного действия (КНД), коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент усиления (КУ).
14. ЭМ поле произвольной объемной антенны (объемного распределения сторонних токов и зарядов) в частотной области.
15. ЭМ поле произвольной объемной антенны (объемного распределения сторонних токов и зарядов) во временной области.
16. Оборудование для методов наружного осаждения (OVD и VAD).
17. Оборудование для методов внутреннего осаждения (MCVD и PCVD).

## **Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений**

1. Записать выражение поверхностного плазмон – поляритона, возникающего на одиночной границе раздела сред “металл – диэлектрик”.
2. Доказать отсутствие критической частоты для плазмонного МДМ волновода.
3. При каких параметрах тензора диэлектрической проницаемости дисперсионная поверхность гиперболического метаматериала имеет вид двуполостного гиперболоида?
4. При каких параметрах тензора диэлектрической проницаемости дисперсионная поверхность гиперболического метаматериала имеет вид однополостного гиперболоида?
5. Записать нелинейное уравнение эволюции резервуара резервуарного вычислителя.
6. С помощью каких элементов и устройств выполняются нелинейные преобразования над оптическими сигналами в фотонных трактах резервуарных компьютеров?

### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений.**

1. Установить при каких параметрах функции диэлектрической проницаемости Друде возможно появление поверхностных плазмон – поляритонов на границах раздела сред металл – диэлектрик. Записать выражение электромагнитного поля поверхностного плазмон – поляритона для этого случая.
2. Установить при каких параметрах функции диэлектрической проницаемости Друде возможно появление поверхностных плазмон – поляритонов в системе металл – диэлектрик – металл. Записать выражение электромагнитного поля поверхностного плазмон – поляритона для этого случая.
3. Найти плотность потока электромагнитной энергии  $\dot{p}$  длинного простого импульса со структурой волны  $H_{10}$ , распространяющегося по прямоугольному волноводу с идеально отражающими стенками..
4. Найти плотность потока электромагнитной энергии  $\dot{p}$  длинного простого импульса со структурой волны простейшего поверхностного плазмон – поляритона, распространяющегося вдоль границы раздела сред металл – диэлектрик.

### **2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене.**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем

выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются следующие критерии.

$$OЗ = 0.5 * OЗЗ + 0.3 * OЗР + 0.2 * OЗТ,$$

где OЗ – общая оценка уровня сформированности знаний, OЗЗ – оценка знаний при ответе на билет, OЗР – средняя оценка знаний при рубежных тестированиях, OЗТ – оценка знаний при текущем контроле  
(Все оценки по 4-х балльной шкале 2,3,4,5)

$$OУ = 0.4 * OУР + 0.6 * OУЛ,$$

где OУ - общая оценка уровня сформированности умений, OУР – средняя оценка умений, полученная при рубежных тестированиях, OУЛ – оценка

умений по итогам защиты лабораторных работ

$$ОВ = ОВЛ,$$

где ОВ – общая оценка уровня сформированности владений, ОВЛ – оценка владений по итогам защиты лабораторных работ.

$$ИО = (ОЗ + ОУ + ОВ)/3,0,$$

где ИО – итоговая оценка.

Если ИО оказывается не ниже 3.0 балла, по дисциплине выставляется оценка 3.0, 4.0 либо 5.0 с использованием общеизвестных правил округления до целого: если дробная десятичная часть ИО больше 0.5, то в большую сторону, иначе – в меньшую. Если какая-то из оценок ОЗ, ОУ, ОВ меньше 3.0 балла, ставится оценка 2.0 (неудовлетворительно).