

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

« 27 » ноября 20 20 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** \_\_\_\_\_ **Основы фотоники**  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ **288 (8)**  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** \_\_\_\_\_ **12.03.03 Фотоника и оптоинформатика**  
(код и наименование направления)

**Направленность:** \_\_\_\_\_ **Фотоника и оптоинформатика (общий профиль, СУОС)**  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Изучение законов физики, лежащих в основе работы источников и приемников излучения, устройств для контроля, передачи и преобразования оптических сигналов; формирование умений, навыков и компетенций, касающихся анализа характеристик перечисленных устройств и их применения будущей профессиональной деятельности.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Законы физики, описывающие распространение электромагнитного излучения и его взаимодействие с веществом; источники и приемники электромагнитного излучения; устройства управления электромагнитным излучением; основы волоконной оптики, компоненты волоконно-оптических линий

### 1.3. Входные требования

Изучение дисциплины базируется на знаниях полученных при изучении разделов дисциплин "Физика", "Оптическая физика".

## 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-1.1	ИД-1пк-1.1	Знает основные типы приборов фотоники, принципы их действия, характеристики и параметры; зависимости характеристик и параметров от условий эксплуатации, области применения; основы анализа и расчета приборов фотоники; основные технические и технологические решения в области фотоники.	Знает порядок разработки технологических процессов сборки и контроля изделий оптоэлектроники.	Тест

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-2пк-1.1	Умеет использовать элементную базу фотоники для построения приборов и устройств фотоники; экспериментально определять основные характеристики и параметры широко используемых приборов и устройств фотоники; решать задачи, связанные с явлениями фотоники, и применять принципы их решения для описания практически важных ситуаций; работать с технической литературой и технической документацией.	Умеет разрабатывать и вносить предложения по корректировке конструкторской документации.	Защита лабораторной работы
ПК-1.1	ИД-3пк-1.1	Владеет методами постановки задачи и методикой проведения эксперимента с использованием элементов фотоники; приемами и алгоритмами решения задач фотоники; методами исследовательской работы в области фотоники.	Владеет навыками анализа состояния технологий изготовления, сборки, юстировки и контроля современных оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.	Экзамен

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	6
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	124	36	88
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	62	14	48
- лабораторные работы (ЛР)	54	18	36
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	8	4	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	128	36	92
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36		36
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	288	72	216

### 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	
5-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Физические основы фотоники.	14	18	0	36
Квантовая теория теплового излучения. Формула Планка для спек-тральной плотности энергии излучения абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Фотоэффект и концепция фотона. Эффект Комптона. Двухуровневая система в поле теплового излучения. Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. Полуклассическая теория Бора. Уровни энергии атома водорода. Дипольное излучение. Мощность дипольного излучения. Правила отбора при дипольном излучении. Сила осцилляторного атомного перехода. Причины уширения линий в спектрах. Естественная ширина спектральной линии. Уравнения Максвелла в среде. Граничные условия. Вывод уравнения электромагнитной волны. Вывод законов отражения и преломления электромагнитных волн. Явление полного внутреннего отражения. Вывод формул Френеля. Закон Брюстера. Спектр и его характеристики. Техника регистрации спектров. закон Бугера-Ламберта-Бера. Классификация спектроскопических методов. Вращательная спектроскопия. Колебательная спектроскопия. Спектроскопия электронных переходов в атомах и молекулах. Комбинационное рассеяние. Бриллюэновское рассеяние.				
ИТОГО по 5-му семестру	14	18	0	36
6-й семестр				
Источники и приемники электромагнитного излучения.	20	14	0	40
Классификация источников излучения электромагнитных волн. Тепловые источники. Эффективность излучения тепловых источников в видимом и УФ диапазонах. Дуговой и тлеющий разряды в газах. Газоразрядные лампы. Принцип действия и основные компоненты лазера. Активная среда. Трехуровневые и четырехуровневые лазерные системы. Основные типы лазеров и их характеристики. Применения лазеров. Условие инверсии населенностей. Пороговое условие генерации. Модовый состав излучения. Резонаторы с различными элементами селективного пропускания. Лазеры с перестройкой по частоте. Добротность резонатора. Модуляция добротности резонатора. Синхронизация мод. Лазеры ультракоротких импульсов. Светодиоды и инжекционные				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>полупроводниковые лазеры (ИПЛ). Зонные диаграммы и инжекция носителей через гомо- и гетеропереходы. Ватт-амперные и спектральные характеристики излучения ИПЛ. Квантово-размерные лазеры.</p> <p>Методы анализа излучения: визуальный, фотографический, тепловой, фотоэлектрический.</p> <p>Основные характеристики приемников излучения: порог чувствительности, коэффициент преобразования, постоянная времени и область спектральной чувствительности приемников излучения. Природа шумов в оптических приемниках.</p> <p>Фотографические приемники излучения. Тепловые приемники излучения: болометры, термоэлементы, оптико-акустические и пироэлектрические приемники. Фотоэмиссионные приемники излучения: фотоэлементы и фотоумножители.</p> <p>Фотоэлектрические полупроводниковые приемники излучения: фоторезисторы, фотодиоды, лавинные фотодиоды. Квантово-размерные фотоприемники. Светочувствительные матрицы. Микроболометры. Селекция излучения. Диспергирующие элементы. Призма. Дифракционная решетка. Просветляющие покрытия и интерференционные фильтры. Интерференционные спектральные приборы.</p>				
Основы волоконной оптики.	18	16	0	36
<p>Принцип работы волоконного световода. Профиль показателя преломления. Световоды со ступенчатым и градиентным профилем показателя преломления. Апертура световода. Ширина спектра пропускания сигнала (наибольшая частота модуляции).</p> <p>Постоянная распространения. Эффективный показатель преломления. Число мод в световоде. Волноводный параметр. Одномодовые световоды. Условие одномодового режима работы световода. Длина волны отсечки второй моды. Анизотропия в волоконных световодах. Световоды, сохраняющее поляризацию излучения. Двухлучепреломление. Эволюция поляризации по длине световода.</p> <p>Микроструктурные и фотонно-кристаллические волокна.</p> <p>Волновое уравнение для планарных и цилиндрических волоконных световодов. Граничные условия для векторов напряженности электрического и магнитного полей. Решения волнового уравнения для планарных и цилиндрических световодов. Диаметр поля моды. ТЕ- и ТМ-волны. Дисперсионное соотношение. Межмодовая и внутримодовая дисперсия.</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
Хроматическая дисперсия: материальная и волноводная. Длина волны нулевой хроматической дисперсии. Поляризация модовая дисперсия. Классификация потерь мощности излучения в оптических световодах. Потери на рассеяние и поглощение. Потери на макроизгибах и микроизгибах. Потери при соединении световодов. Измерение профиля показателя преломления. Измерение длины волны отсечки. Измерение дисперсии. Измерение диаметра поля моды. Методы измерения двулучепреломления и способности сохранять поляризацию. Измерение спектра оптических потерь в волоконных световодах. Импульсная оптическая рефлектометрия. Бриллюэновская рефлектометрия.				
Применение волоконных световодов. Устройства управления светом.	10	6	0	16
Активные волоконные световоды и принципы их работы в режиме генерации. Основные схемы волоконных лазеров и усилителей. Характеристики волоконных лазеров и усилителей. Волоконные ВКР-усилители. Датчики на основе интерферометров Фабри-Перо, Маха-Цандера и Майкельсона. Волоконно-оптические датчики на основе интерферометра Саньяка. Волоконно-оптический гироскоп. Волоконно-оптические датчики магнитного поля. Датчики на основе волоконно-оптических брэгговских решеток. Индустриальные приложения оптоволоконных датчиков. Волоконно-оптические линии связи. Основные принципы передачи информации при помощи электромагнитных волн. Преимущества волоконной оптики как коммуникационной среды. Спектральное уплотнение каналов. Устройства управления светом. Электрооптические и акустооптические световые затворы, жидкокристаллические и полупроводниковые транспаранты, устройства на основе фоторефрактивных сред. Модуляторы. Волоконно-оптические соединители и разветвители. Волоконно-оптические поляризаторы и деполаризаторы. Изоляторы. Мультиплексоры. Оптический транзистор.				
ИТОГО по 6-му семестру	48	36	0	92
ИТОГО по дисциплине	62	54	0	128

## Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Измерение длины волны красной границы фотоэффекта.
2	Измерение температуры и интегрального коэффициента излучения черного тела методом спектральных отношений.
3	Определение резонансного потенциала методом Франка и Герца.
4	Определение степени поляризации излучения полупроводникового лазера.
5	Светодиод. Определение постоянной Планка.
6	Фотодиод. Изучение фотодиодного и вентильного режимов работы.
7	Определение ширины щели и параметров одномерной и двумерной дифракционных решеток.
8	Методы создания сколов кварцевых волокон.
9	Соединение оптических волокон.
10	Измерение потерь излучения при изгибе оптоволокна.
11	Измерение поляризационной модовой дисперсии (ПМД) волоконного световода.
12	Рефлектометрический метод измерения потерь мощности излучения в волоконных световодах.

## 5. Организационно-педагогические условия

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

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором 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 установление 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 практическим занятиям, 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	Иванов Г. А. Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон : учебное пособие для вузов / Г. А. Иванов, В. П. Первадчук. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011.	10
2	Оптика. - Москва: , Физматлит, 2017. - (Общий курс физики / Д. В. Сивухин : учебное пособие для вузов : в 5 т.; Т. 4).	12
3	Т. 1. - Долгопрудный: , Интеллект, 2012. - (Оптика и фотоника. Принципы и применения : учебное пособие : в 2 т. : пер. с англ.; Т. 1).	5
4	Т. 2. - Долгопрудный: , Интеллект, 2012. - (Оптика и фотоника. Принципы и применения : учебное пособие : в 2 т. : пер. с англ.; Т. 2).	5
5	Цаплин А. И. Методы измерений в волоконной оптике : учебное пособие для вузов / А. И. Цаплин, М. Е. Лихачев. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011.	10
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Бейли Д. Волоконная оптика : теория и практика : учебно-справочное издание : пер. с англ. / Д. Бейли, Э. Райт. - Москва: КУДИЦ-ПРЕСС, 2008.	2
2	Бенуэлл К. Основы молекулярной спектроскопии : пер. с англ. / К. Бенуэлл. - Москва: Мир, 1985.	1
3	Волоконно-оптические датчики : вводный курс для инженеров и научных работников : пер. с англ. / Э. Удд [и др.]. - Москва: Техносфера, 2008.	3
4	Звелто О. Принципы лазеров : пер. с англ. - СПб: Лань, 2008.	1
5	Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А. Б. Иванов. - Москва: САЙРУС СИСТЕМС, 1999.	3
6	Листвин А. В. Оптические волокна для линий связи / А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков. - М.: ЛЕСАРпт, 2003.	3

7	Листвин А. В. Рефлектометрия оптических волокон / А. В. Листвин, В. Н. Листвин. - М.: ЛЕСАРпт, 2005.	3
8	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	Прикладная фотоника : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Пермский инновационный территориальный кластер волоконно-оптических технологий Фотоника ; Под ред. А. С. Куркова ; С. А. Бабина. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014 - .	
3	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	Методические указания для студентов по освоению дисциплин	<a href="http://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Metodicheskie_ukazaniya_dlya_studentov_po_osvoeniyu_disciplini.pdf">http://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Metodicheskie_ukazaniya_dlya_studentov_po_osvoeniyu_disciplini.pdf</a>	сеть Интернет; свободный доступ
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента	<a href="http://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Dlya_samostoyatelnoy_raboty_studenta.pdf">http://pstu.ru/files/2/file/kafedra/fpmm/of/Dlya_samostoyatelnoy_raboty_studenta.pdf</a>	сеть Интернет; свободный 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
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</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>
Виртуальный читальный зал Российской государственной библиотеки	<a href="https://dvs.rsl.ru/">https://dvs.rsl.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, ауд.252, гл. к.	1
Лекция	Проектор, экран (в мультимедийной учебной аудитории)	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  
«Основы фотоники»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

**Направление подготовки:** 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика

**Направленность (профиль)  
образовательной программы:** Волоконная оптика

**Квалификация выпускника:** «Бакалавр»

**Выпускающая кафедра:** Общая физика

**Форма обучения:** Очная

**Курс:** 3

**Семестр:** 5,6

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 8 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 288 ч.

**Форма промежуточной аттестации:**

Зачет: 5 семестр Экзамен: 6 семестр

Пермь 2020

**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 двух семестров (5-го и 6-го семестра учебного плана) и разбито на 4 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, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам, сдаче отчетов по индивидуальным заданиям, зачета в 5-ом семестре и экзамена в 6-ом семестре. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР, ОИЗ	Т/КР	Зачет	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>З.1</b> Знать основные типы приборов фотоники, принципы их действия, характеристики и параметры; зависимости характеристик и параметров от условий эксплуатации, области применения; основы анализа и расчета приборов фотоники; основные технические и технологические решения в области фотоники.	С	ТО		Т1 Т2	ТВ	ТВ
<b>Освоенные умения</b>						
<b>У.1</b> Уметь использовать элементную базу фотоники для построения приборов и устройств фотоники; экспериментально определять основные характеристики и параметры широко используемых приборов и устройств фотоники; решать задачи, связанные с явлениями фотоники, и применять принципы их решения для описания практически важных ситуаций; работать с технической литературой и технической документацией.	С		ОЛР ОИЗ	КР		ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>						

В.1 Владеть методами постановки задачи и методикой проведения эксперимента с использованием элементов фотоники; приемами и алгоритмами решения задач фотоники; методами исследовательской работы в области фотоники			ОЛР ОИЗ			КЗ
---	--	--	------------	--	--	----

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторной работе; ОИЗ – отчет по индивидуальным заданиям; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание билета; КЗ – комплексное задание билета.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине в 5-ом семестре является зачёт, а в 6-ом семестре – экзамен. Зачет и экзамен проводятся 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 бланочного 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, защиты индивидуальных заданий и рубежных тестирований.

### 2.2.1. Защита лабораторных работ

Всего запланировано 12 лабораторных работ, из них 4 работы в 5-ом семестре и 8 работ в 6-ом семестре. 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. Защита индивидуальных заданий

Защита индивидуальных заданий проводится индивидуально каждым студентом. Типовые примеры индивидуальных заданий:

1. Естественный свет падает из воздуха ( $n=1,5$ ) на границу раздела стекло-воздух.  
1) Определите угол Брюстера. 2) Определите долю проходящей и отраженной интенсивности света при нормальном падении на поверхность стекла. 3) Определите долю проходящей и отраженной интенсивности при падении света под углом Брюстера.
2. Согласно теории теплового излучения энергия каждого полевого осциллятора частоты  $\omega$ :  $E=N\hbar\omega$ , где  $N$  – целое число, характеризующее степень возбуждения полевого осциллятора. Определите частоту полевых осцилляторов  $\omega$ , для которых при комнатной температуре  $T\approx 300$  К среднее значение степени возбуждения  $\langle N \rangle = 1$ . Определите плотность состояний таких осцилляторов.
3. Мощность излучения для атомного перехода  $2 \rightarrow 1$  в атоме водорода составляет  $6,4$  ГэВ/с. Определите время жизни возбужденного состояния  $2$ , коэффициент Эйнштейна  $A_{21}$  и естественную ширину линии (выраженную в м) для данного перехода.
4. Определите спектральное расстояние между продольными модами резонатора лазера для длины волны  $1$  мкм при длине резонатора  $40$  см.
5. Пусть синхронизовано по фазе  $100$  продольных мод непрерывного лазера с длиной резонатора  $1$  м. Определите период генерации и длительность полученных импульсов.
6. Пусть основным источником шума некоторого приемника является тепловой шум Найквиста. Уровень шума равен  $10$  мкВ/Гц<sup>1/2</sup>. Прием сигналов производится в полосе частот от  $2$  кГц до  $5$  кГц. Коэффициент преобразования приемника составляет  $12$  В/Вт. Какую минимальную мощность сигналов можно измерить? Постоянная времени очень мала.
7. Волоконный лазер использует в качестве активной среды волокно с разностью показателей преломления  $\Delta n = 0.01$  и имеет выходную мощность  $10$  Вт. Считая диаметр волокна пренебрежимо малым и распределение мощности ступенчатым,

определить какая мощность может попасть в зрачок диаметром 4 мм на расстояниях 30 см и 1 м.

8. Диаметр волоконного световода равен 8,5 мкм. Показатель преломления сердцевины 1,465. При каком показателе преломления оболочки данный световод будет одномодовым для длины волны 1,55 мкм? Решите ту же задачу для плоского световода и световода с градиентным профилем показателя преломления.

Типовые шкала и критерии оценки выполнения индивидуальных заданий приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### 2.2.3. Рубежное тестирование

Согласно РПД запланировано 2 рубежных тестирования после освоения студентами первого и третьего учебных модулей дисциплины. Первое тестирование по модулю 1 «Физические основы фотоники», второе тестирование – по модулю 3 «Основы волоконной оптики».

#### Типовые задания первого теста:

1. При увеличении абсолютной температуры черного тела в 2 раза плотность энергии излучения

- 1) увеличивается в 2 раза
- 2) увеличивается в 4 раза
- 3) увеличивается в 8 раз
- 4) **увеличивается в 16 раз**

2. Температура первого шара равна 300 К, температура второго шара 900 К. Радиус первого шара 1 см, радиус второго шара 2 см. Во сколько раз суммарная мощность теплового излучения второго шара больше, чем первого? Шары считать черными телами.

- 1) 36
- 2) 12
- 3) **324**
- 4) 6

3. При какой температуре максимум спектральной плотности излучения приходится на длину волны 1,45 мкм?

- 1) **2000 К**
- 2) 300 К
- 3) 3000 К
- 4) 200 К

4. Длина волны падающего на металл излучения уменьшается в 2 раза. Как при этом изменится работа выхода электронов из металла?

- 1) **не изменится**
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) уменьшится в 2 раза
- 4) уменьшится в 4 раза

5. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетающих из металла под действием света равна 1 эВ. Работа выхода электронов из металла равна 2 эВ. Длину волны падающего на металл света увеличивают в два раза. Чему будет равна кинетическая энергия вылетающих из металла электронов?

- 1) 3 эВ
- 2) 4 эВ
- 3) 6 эВ
- 4) **фотоэффекта не будет**

6. Некоторый полупроводниковый фотоприемник может зафиксировать излучение с максимальной длиной волны 2,5 мкм. Определите ширину запрещенной зоны полупроводника, на основе которого сделан фотоприемник.

- 1) 1 эВ      2) 0,5 эВ      3) 2 эВ      4) 1,5 эВ

7. Мощность спонтанного излучения пропорциональна

- 1) первой степени частоты  
2) второй степени частоты  
3) третьей степени частоты  
**4) четвертой степени частоты**

8. Вероятность спонтанного излучения за единицу времени первого перехода в 2 раза больше, чем второго. Частоты переходов одинаковы. Тогда коэффициент Эйнштейна вынужденного излучения для первого перехода по сравнению со вторым переходом

- 1) в 4 раза больше    2) в 4 раза меньше    3) в 2 раза меньше    **4) в 2 раза больше**

9. Определите отношение длин волн излучений при переходах электрона в атоме водорода с четвертой боровской орбиты на первую и со второй боровской орбиты на первую ( $\lambda_{41}/\lambda_{21}$ ).

- 1) 1,5      2) 2      **3) 1,25**      4) 4

10. Радиоволны нормально падают на поверхность озера. Какая часть энергии радиоволн проникает в воду? Диэлектрическая проницаемость воды равна 81.

- 1) 9 %    **2) 36 %**    3) 2 %    4) 81 %

### Типовые задания второго теста:

1. Показатель преломления сердцевины оптического световода равен 1,48, а показатель преломления оболочки – 1,45. Под каким максимальным углом к оси световода может распространяться излучение?

- 1) **11,5°**      2) 5,5°      3) 15°      4) 18,5°

2. Показатель преломления сердцевины оптического световода 1,47, а показатель преломления оболочки 1,46. Под каким максимальным углом к оси световода можно вводить излучение из воздуха, чтобы оно распространялось вдоль его сердцевины?

- 1) **2°**      2) 9,8°      3) 5,4°      4) 1°

3. Определите ширину спектра пропускания оптического световода, если его длина 3 км, показатель преломления сердцевины 1,47, а оболочки – 1,46.

- 1) 30 МГц      2) 60 МГц      3) 20 МГц      **4) 10 МГц**

4. Определите количество мод, которые могут распространяться по плоскому оптическому световоду с апертурой 0,15, если диаметр световода  $d=8\lambda$ , где  $\lambda$  - длина волны излучения.

- 1) 2      2) 1      **3) 3**      4) 4

5. Как изменится волноводный параметр оптического световода, если его апертуру увеличить в 2 раза, а также в 2 раза увеличить его диаметр?

1) не изменится

**2) увеличится в 4 раза**

3) увеличится в 2 раза

4) уменьшится в 2 раза

6. Как изменится ширина полосы пропускания волоконного световода, если ширину спектра источника излучения увеличить в 2 раза?

1) не изменится

2) увеличится в 2 раза

3) увеличится в 4 раза

**4) уменьшится в 2 раза**

7. Величина хроматической дисперсии составляет 15 пс/нм·км. Определите уширение импульса спектральной шириной 10 нм после прохождения 100 км световода.

1) 15 пс

**2) 15 нс**

3) 30 пс

4) 30 нс

8. Величина поляризационной модовой дисперсии длинного отрезка волоконного световода составляет 1 пс. Чему будет равна величина поляризационной модовой дисперсии для двух таких соединенных отрезков?

**1) 1,4 пс**

2) 1 пс

3) 4 пс

4) 2 пс

9. Оптические потери 20 дБ означают, что

1) мощность излучения уменьшилась в 2 раза

2) мощность излучения уменьшилась в 20 раз

**3) мощность излучения уменьшилась в 100 раз**

4) мощность излучения уменьшилась в 10 раз

10. При увеличении длины волны в 2 раза оптические потери за счет рэлеевского рассеяния

1) уменьшаются в 2 раза

2) увеличиваются в 2 раза

**3) уменьшаются в 16 раз**

4) увеличиваются в 4 раза

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежного тестирования приведены в общей части ФОС образовательной программы.

#### **2.2.4. Контрольная работа**

Согласно РПД запланирована одна контрольная работа по окончании четвертого модуля. Контрольная работа включает в себя темы второго модуля «Источники и приемники электромагнитного излучения», третьего модуля «Основы волоконной оптики» и четвертого модуля «Применение волоконных световодов. Устройства управления светом».

## Типовой вариант контрольной работы:

1. В лазерной системе генерация осуществляется по четырехуровневой схеме. Разница энергий между самым высоким уровнем 4 и уровнями 1, 2 и 3 составляет:  $E_{41}=3,5$  эВ,  $E_{42}=3$  эВ,  $E_{43}=1$  эВ. Определите длину волны накачки и длину волны лазерного перехода.
2. Уровень затухания сигнала, распространяющегося по волоконному световоду, составляет 0,2 дБ/км. Ретранслятор (усилитель сигнала) установлен в линии в том месте, где мощность сигнала уменьшается в 12 раз. На каком расстоянии от начала линии установлен ретранслятор?
3. Плоский световод представляет собой кварцевую пластинку, показатель преломления сердцевины которой равен 1,46, а оболочки, легированной примесями, - 1,41. Источник излучения находится в воздухе на оси симметрии пластинки и расположен практически вплотную к пластинке так, что свет от источника падает на левый торец пластинки под всевозможными углами в диапазоне 0-90°. Длина пластины 2 м, ширина её сердцевины 1 см. Какое максимальное число отражений от боковых граней пластинки может испытать луч от источника, выходящий через правый торец пластинки?
4. По планарному волноводу распространяется излучение с длиной волны 1,55 мкм. Пятая мода (без учета удвоения мод за счет состояний поляризации) распространяется так, что угол падения лучей на границу сердцевина – оболочка практически равен критическому углу 85°. Показатель преломления оболочки световода 1,475. Определите толщину волновода.
5. Настройки некоторого рефлектометра - время импульса и время усреднения – можно изменять в диапазонах от 10 нс до 10 мкс и от 10 с до 3 мин соответственно. Максимальный динамический диапазон рефлектометра 37 дБ. Для экономии времени экспериментатор выбрал время усреднения равным 20 с измерил рефлектограмму некоторого волоконного световода длиной 10 км на длине волны 1,55 мкм с максимальным пространственным разрешением. Корректно ли экспериментатор провел измерения, если средние потери мощности в волокне составляют 0,3 дБ/км? На какое пространственное разрешение рассчитывал экспериментатор?

Типовые шкала и критерии оценки выполнения 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, индивидуальных заданий и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в 5-ом семестре в виде зачета, а в 6-ом семестре в виде экзамена по дисциплине.

Зачет проводится в устной форме по билетам. Билет включает два теоретических вопроса.

Экзамен проводится устно по билетам. 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 зачета по дисциплине** **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Коэффициенты Эйнштейна и их физический смысл.
2. Что такое угол Брюстера? Сформулируйте закон Брюстера.
3. Виды фотоэффекта. Законы фотоэффекта.
4. Процессы взаимодействия света с веществом. Вынужденное излучение.
5. Формулы Френеля.
6. Условия полного внутреннего отражения света от границы раздела сред.

### **2.3.2. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине** **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Добротность резонатора лазера. Модуляция добротности.
2. Перестройка лазера по частоте.
3. Основные характеристики приёмников излучения
4. Фоторезистор. Принцип работы. Схема включения.
5. Принцип работы световода. Профиль показателя преломления. Световоды со ступенчатым и градиентным профилем показателя преломления.
6. Импульсная оптическая рефлектометрия.

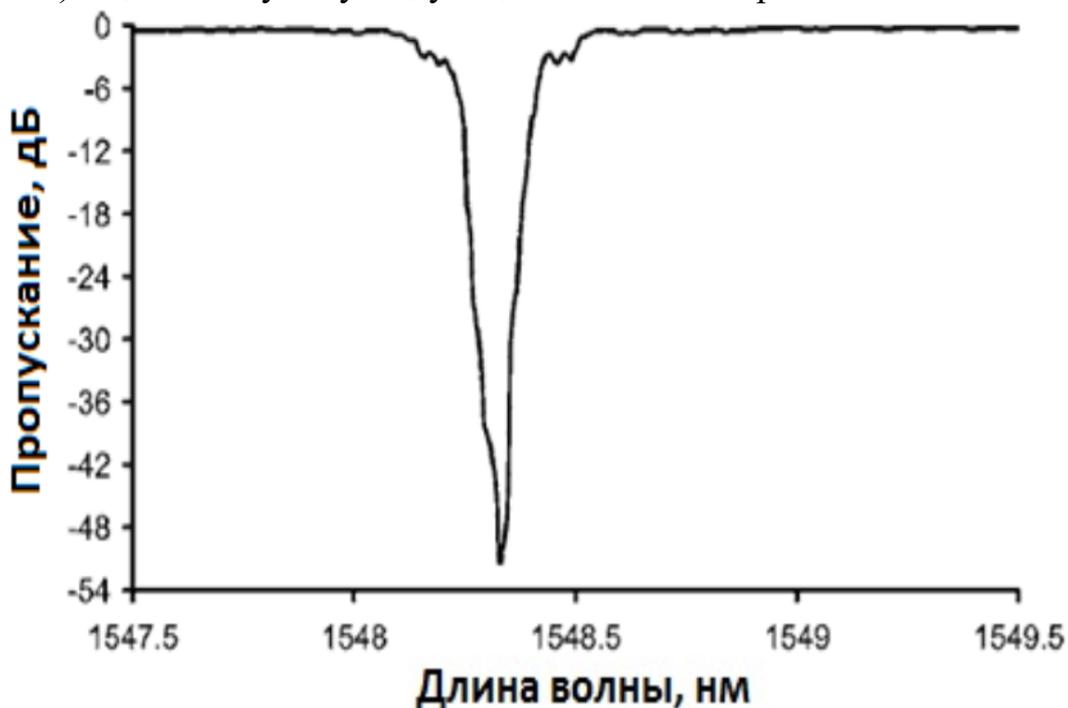
### **Типовые вопросы и практические задания для контроля умений:**

1. Вывести формулу для апертуры волоконного оптического световода в приближении геометрической оптики.
2. Вывести формулу для ширины полосы пропускания оптического многомодового световода.
3. Получить условие для одномодового режима распространения волн по плоскому оптическому световоду.

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

1. На подложку из арсенида галлия с показателем преломления 3,60 нанесен планарный волновод на 1,5 % большим, чем показатель преломления подложки. Какова должна быть толщина волновода для того, чтобы для длины волны 1,55 мкм он был одномодовым, а для длины волны 1,3 мкм – двухмодовым?

2. На рисунке представлен спектр пропускания Брэгговской решетки длиной 26 мм. Показатель преломления сердцевины 1,46. 1) Определите число штрихов решетки. 2) Оцените глубину модуляции показателя преломления  $\Delta n$ .



3. Показатель преломления сердцевины прозрачного цилиндрического световода равен 1,46. Сердцевина имеет диаметр 1 см, длина световода составляет несколько метров. Источник излучения находится в воздухе на оси симметрии световода и расположен практически вплотную к световоду так, что свет от источника падает на левый торец световода под всевозможными углами в диапазоне  $0-90^{\circ}$ . На расстоянии 8 см от правого торца световода расположен плоский экран. Диаметр пятна на экране составляет 5 см. Определите показатель преломления оболочки световода.

### 2.3.3. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете и экзамене

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

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

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в 5-ом семестре в виде зачета 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 зачета, OЗР – средняя оценка знаний при рубежных тестированиях, OЗТ – оценка знаний при текущем контроле

(Все оценки по 4-х балльной шкале 2,3,4,5)

$$OУ = 0.5 * OУИЗ + 0.5 * OУЛ,$$

где OУ – общая оценка уровня сформированности умений, OУИЗ – оценка умений по итогам защиты индивидуальных заданий, OУЛ – оценка умений по итогам защиты лабораторных работ

$$OВ = 0.5 * OВИЗ + 0.5 * OВЛ,$$

где OВ – общая оценка уровня сформированности владений, OВИЗ – оценка владений по итогам защиты индивидуальных заданий, OВЛ – оценка владений по итогам защиты лабораторных работ.

Если все оценки OЗ, OУ, OВ не ниже 3.0 балла, по дисциплине выставляется зачет. Если какая-то из оценок меньше 3.0 балла – незачет.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в 6-ом семестре в виде дифференциального зачета используются следующие критерии:

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

где OЗ – общая оценка уровня сформированности знаний, OЗЭ – оценка

знаний при ответе на билет экзамена, ОЗР – средняя оценка знаний при рубежных тестированиях, ОЗТ – оценка знаний при текущем контроле  
(Все оценки по 4-х бальной шкале 2,3,4,5)

$$OU = 0.3 * OUЭ + 0.2 * OУЛ + 0.2 * OУИЗ + 0.3 * OУКР$$

где OУ - общая оценка уровня сформированности умений, OУЭ – оценка умений по итогам выполнения практического задания билета на экзамене, OУЛ – оценка умений по итогам защиты лабораторных работ, OУИЗ – оценка умений по итогам защиты индивидуальных заданий, OУКР - оценка умений по итогам контрольной работы.

$$OB = 0.4 * OBЭ + 0.3 * OВЛ + 0.3 * OВИЗ$$

где OВ – общая оценка уровня сформированности владений, OВЭ – оценка умений по итогам выполнения комплексного задания билета на экзамене, OВЛ – оценка владений по итогам защиты лабораторных работ, OВИЗ – оценка владений по итогам защиты индивидуальных заданий.

Итоговая оценка за дисциплину выставляется по формуле (с округлением до ближайшего целого)

$$IO = 0.4 * OЗ + 0.3 * OУ + 0.3 * OВ,$$

где IO – итоговая оценка.

Если IO 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 IO больше 0.5, то в большую сторону, иначе – в меньшую. Если какая-то из оценок OЗ, OУ, OВ меньше 3.0 балла, ставится оценка 2.0 (неудовлетворительно).