



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра радиофизики и радиоэлектроники



Декан ~~_____~~ Буднев Н.М.

«31» августа 2021 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля) Б1.О.27 Физическая электроника и квантовая радиофизика

Направление подготовки 03.03.03. Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки Радиофизика в области связи, информационных и телекоммуникационных технологий

Квалификация выпускника - бакалавр

Форма обучения очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол №30 от «31» августа 2021 г.

Председатель ~~_____~~ Буднев Н.М.

Рекомендовано кафедрой радиофизики и радиоэлектроники:

Протокол № 1 от «30» августа 2021 г.

И.О. зав. кафедрой ~~_____~~ Колесник С.Н.

Иркутск 2021 г.

Содержание

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ	3
II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО	3
III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ	4
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	4
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы (в том числе КСР) обучающихся по дисциплине	5
4.3. Содержание учебного материала	6
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	6
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	7
V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	8
VI.МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	8
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	8
6.2. Программное обеспечение:.....	8
6.3. Технические и электронные средства:.....	9
VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	9
VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	9

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – дать студентам основные представления о состоянии исследований в физической электронике и квантовой радиофизике ознакомить с методами, применяемыми при разработке и проектировании устройств современной физической и квантовой электроники.

Задачи курса – научить студентов ориентироваться в основных направлениях развития и проблематике физической электроники и квантовой радиофизики, а также использовать основные представления в своей профессиональной деятельности.

II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Учебная дисциплина Физическая электроника и квантовая радиофизика относится части, формируемой участниками образовательных отношений.

Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: Молекулярная физика, Квантовая механика.

Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной: Современные проблемы радиофизики

III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки (специальности) 03.03.03 Радиофизика

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	ИДК _{ОПК-1.1} Применяет базовые знания в области физики и радиофизики для решения научно-исследовательских задач.	Знать: основные физические явления в электронных приборах, различные квантовые процессы с участием фотонов Уметь: использовать физические модели квантовых процессов в задачах электроники. Владеть: навыками решения типовых задач для описания явлений в материалах и приборах современной электроники.

IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов,

Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Форма текущего контроля успеваемости/ Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа (в том числе, внеаудиторная СР, КСР)	
					Лекция	Практическое занятие	Консультация		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Т1. Основы зонной теории твердых тел	6	11,1		6	2	0,1	3	Устный текущий контроль
2	Т2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках	6	13,1		8	2	0,1	3	Письменный текущий контроль
3	Т3. Электронно-дырочные переходы	6	13,1		8	2	0,1	3	Письменный текущий контроль
4	Т4. Характеристики р/п перехода	6	15,1		8	3	0,1	4	Письменный текущий контроль.
5	Т5. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными системами	6	15,2		8	3	0,2	4	Письменный текущий контроль

6	Т6. Усиление и генерация электромагнитного излучения	6	15,2		8	3	0,2	4	Письменный текущий контроль.
7	Т7. Распространение и преобразование лазерных пучков	6	15,2		8	3	0,2	4	Письменный текущий контроль.

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы (в том числе КСР) обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
6	Т1. Основы зонной теории твердых тел	Работа с учебником, справочной литературой, первоисточниками, конспектом	1-я нед	3	Письменный текущий контроль.	
	Т2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках		1-я нед	3		
	Т3. Электронно-дырочные переходы		2-4	3		
	Т4. Характеристики р/п перехода		5-7	4		
	Т5. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными системами		8-11	4		
	Т6. Усиление и генерация электромагнитного излучения		12-14	4		
	Т7. Распространение и преобразование лазерных пучков		16-17	4		
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				25		
Из них объем самостоятельной работы с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (час)				0		

4.3. Содержание учебного материала

T1. Основы зонной теории твердых тел.

Одноэлектронное приближение. Движение электрона в периодическом поле кристаллической решетки. Модель Кронига-Пенни.

T2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках

Плотность состояний с заданной энергией. Функция Ферми-Дирака. Невырожденные полупроводники. Вырожденные полупроводники.

T3. Электронно-дырочные переходы

Инжекция неосновных носителей через p/n переход. Изменение квазиуровней Ферми в переходной области

T4. Характеристики p/n перехода

Статическая вольт-амперная характеристика идеального p/n перехода. Характеристики p/n переход при переменном напряжении.

T5. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными системами.

Энергетические состояния атомов и молекул. Квантовые переходы. Спонтанное и вынужденное излучение. Вероятности переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Дипольное приближение.

T6. Усиление и генерация электромагнитного излучения.

Условие самовозбуждения и насыщения усиления. Нестационарная генерация, модуляция добротности и синхронизация мод. Свойства лазерного излучения

T7. Распространение и преобразование лазерных пучков

Распространение гауссовых пучков. Планарный диэлектрический волновод (световод). Преобразование лазерных пучков.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)*
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	T1	ПЗ1. Решение задач по T1.	2		Письменный текущий контроль.	ОПК-1 ИДК _{ОПК-1.1}
2	T2	ПЗ2. Решение задач по T2.	2		Письменный текущий контроль.	ОПК-1 ИДК _{ОПК-1.1}
3	T3	ПЗ3. Решение задач по T3.	2		Письменный текущий контроль.	ОПК-1 ИДК _{ОПК-1.1}
4	T4	ПЗ4. Решение задач по T4	3		Письменный текущий контроль.	ОПК-1 ИДК _{ОПК-1.1}
5	T5	ПЗ.5 Решение задач по T5.	3		Письменный текущий контроль.	ОПК-1 ИДК _{ОПК-1.1}
6	T6	ПЗ6. Решение задач по T6	3		Письменный текущий контроль.	ОПК-1 ИДК _{ОПК-1.1}

7	T7	ПЗ7. Решение задач по T7	3		Письменный текущий контроль	ОПК-1 ИДК _{ОПК-1.1}
---	----	--------------------------	---	--	-----------------------------	---------------------------------

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1	T1. Уравнение Шредингера для кристалла	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ2.	ОПК-1	ИДК _{ОПК-1.1}
2	T2. Статистика Ферми-	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ3.		
3	T3. Решение уравнений кинетики для одномерного полупроводника	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ4		
4	T4. Статическая вольт-амперная характеристика реального p/n перехода	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ5.		
5	T5. Фотонные кристаллы	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ6.		
6	T6. Импульсный режим работы лазера	Осмысление материала лекций. Подготовка к ПЗ7.		
7	T7. Конфокальный резонатор и свойства гауссовых пучков	Осмысление материала лекций. Подготовка к зачету		

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа бакалавров – индивидуальная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства преподавателя, в ходе которой бакалавр активно воспринимает, осмысливает полученную информацию, решает теоретические и практические задачи.

На самостоятельную работу выносятся следующие вопросы и задания по темам дисциплины:

T1. Движение электрона в периодическом поле кристаллической решетки. Квазиимпульс.

T2. Плотность состояний с заданной энергией. Эффективная плотность состояний.

T3. Инжекция неосновных носителей через p/n переход. Электрические солнечные батареи.

T4. Вольт- амперные характеристики диода при постоянном и переменном напряжении.

T5. Спонтанное и вынужденное излучение. Расчет вероятностей переходов в дипольном приближении.

Т6. Условие самовозбуждения и насыщения усиления. Нестационарная генерация, Добротность резонатора и его модуляция.

Т7. Распространение и преобразование лазерных пучков. Распространение гауссовых пучков.

Контроль самостоятельной работы проводится на практических занятиях, при защите лабораторных работ.

V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронная информационно-образовательная среда университета обеспечивает доступ к электронным учебным изданиям и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочей программе дисциплины (модуля).

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

Обучающимся обеспечен доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определяется в рабочих программах дисциплин (модулей).

а) перечень литературы

1. Щука, А. А. Нанозлектроника : учебник для вузов / А. А. Щука ; под общей редакцией А. С. Сигова. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 297 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8280-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/470007>

2. Ю.В.Аграфонов. Физическая электроника: учеб. пособие/ Ю.В.Аграфонов, И.С.Петрушин.-Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015.- 104 с.- 37 экз.

б) периодические издания

в) список авторских методических разработок:

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Научная библиотека ИГУ http://library.isu.ru/ru/resources/edu_resources/index.html

2. БД книг и продолжающихся изданий http://elibnb.library.isu.ru/cgi-bin/irbis64r_15/cgiirbis_64.htm?LNG=&C21COM=F&I21DBN=IRCAT&P21DBN=IRCAT

3. Электронный читальный зал «БиблиоТех» <https://isu.bibliotech.ru/>

4. Электронная библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com>

5. Электронная библиотечная система «РУКОНТ» <http://rucont.ru>

VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Класс ЭВМ, аудитория 323А, оснащенная вычислительной техникой, специальным ПО и свободным доступом в сеть Internet.

6.2. Программное обеспечение:

1. ABBY PDF Transformer 3.0 Пакет из 10 неименных лицензий Per Seat (10лиц.) EDU. Код позиции: АТ30-1S1P10-102 Котировка № 03-165-11 от 23.11.2011. Бессрочно.

2. Microsoft OfficeProPlus 2013 RUS OLP NL Acadm. Контракт № 03-013-14 от 08.10.2014.Номер Лицензии Microsoft 45936786. Бессрочно.

3. WinPro10 Rus Upgrd OLP NL Acdmc. Сублицензионный договор № 502 от 03.03.2017
Счет № ФРЗ- 0003367 от 03.03.2017 Акт № 4496 от 03.03.2017 Лицензия № 68203568.
Бессрочно.

4. Kaspersky Free (ежегодно обновляемое ПО). Условия использования по ссылке:
<http://www.kaspersky.ru/free-antivirus/> . Бессрочно.

6.3. Технические и электронные средства:

Мультимедийный проектор, экран (по необходимости), меловая или маркерная доска.

VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

На лекциях используются активные методы обучения (компьютерных симуляций, разбор конкретных ситуаций). Практические занятия проводятся в интерактивной форме.

VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Текущий контроль реализуется в виде письменного текущего контроля на ПЗ1-ПЗ7. Текущий контроль направлен на выявление сформированности компетенции ОПК-1.

Параметры оценочного средства для письменного текущего контроля и решения задачи у доски или самостоятельного досрочного решения всех задач, выносимых на ПЗ1-ПЗ7. Параметры оценочного средства для КСР.

Критерии оценки	Оценка / баллы			
	Отлично 5 баллов.	Хорошо 3,5 балла	Удовлетв. 2 балла.	Неудовл. 0 баллов
Выполнение заданий	Полностью и корректно выполнены все задания.	Полностью выполнены все задания, допущены одна – две ошибки.	Не полностью выполнены задания, допущены одна – две ошибки.	Задание не выполнены или задание выполнено не полностью и допущено более 3-х ошибок.

Вопросы для письменного текущего контроля приведены ниже:

- Пз.1. Перечислите основные приближения зонной теории твердого тела.
Какой смысл имеет приближение самосогласованного поля.
Поясните физический смысл определения квазиимпульса.
Расшифруйте понятие зоны Бриллюэна.
Для чего вводятся периодические граничные условия.
Назовите вид энергетического спектра электрона в кристалле.
Эффективная масса носителей заряда.
Чем отличается валентная зона от зоны проводимости.
Собственные и примесные полупроводники. Их характеристики.
- Пз.2. Какая статистика применяется для описания ансамбля электронов.
Особенности канонического и большого канонического ансамбля.
Какой физический смысл имеет понятие уровня Ферми.
Нарисуйте график функции распределения функции Ферми-Дирака.
Как вычисляется концентрация носителей в зонах.
Назовите критерий определения степени вырождения полупроводников.
Нарисуйте положение уровня Ферми на зонной диаграмме.
Концентрация носителей и уровень Ферми для вырожденных полупроводников.
- Пз.3. Поясните механизм образования двойного электрического слоя

- Принцип работы электрических солнечных батарей
 Что такое инжекция неравновесных носителей через p/n переход
 Что такое квазиуровни Ферми. Дайте физическое обоснование
 Как вычисляется концентрация неравновесных носителей на границе перехода
 Изменение квазиуровней Ферми на границе p/n перехода
 Метод вычисления ширины переходной области
 Емкость p/n перехода
- Пз. 4. Как вычисляется плотность тока через p/n переход
 Основные предположения при вычислении плотности тока через p/n переход
 Запишите выражения для плотности обратного тока
 Запишите выражение для вольт- амперной характеристики идеального перехода
 Как выглядит вольт- амперная характеристика реального перехода
 Основные допущения при описании p/n перехода при переменном напряжении
 Что такое диффузионная емкость и диффузионная проводимость
 Эквивалентная схема диода на низких частотах
 Ток смещения. Эквивалентная схема диода на высоких частотах
- Пз. 5. Сформулируйте область применения дипольного приближения.
 Дайте характеристики квантовых переходов в атомных системах.
 Запишите матричные элементы вероятностей переходов.
 Определите энергетические состояния в полупроводниковых кристаллах.
 Оптические переходы в полупроводниках.
- Пз. 6. Назовите методы возбуждения активного вещества.
 Особенности возбуждения в оптическом и радиодиапазоне.
 Оптическая накачка.
 Генерация излучения для трех и четырех уровневых систем.
 Основные характеристики оптических резонаторов.
 В чем смысл модуляции добротности и синхронизация мод.
- Пз.7. Распространение гауссовых пучков.
 Расшифруйте структуру электромагнитного поля в оптическом резонаторе.
 Дайте характеристику основной моды.
 Перечислите виды оптических резонаторов.
 Одномодовый и многомодовый режим генерации.
 Какими свойствами обладает конфокальный резонатор.

Оценочные средства для промежуточной аттестации (в форме зачета с оценкой).

Промежуточная аттестация направлена на проверку сформированности компетенций ОПК-1 и проводится в форме зачета с оценкой. Форма проведения зачета с оценкой – устный по билетам. Зачет с оценкой проводится пред экзаменационной сессией.

В течение семестра проводится контрольная работа. Результат контрольной работы учитывается во время зачета с оценкой.

Зачетный билет состоит из одного теоретического и одного практического вопроса. Задания (билеты) для приема зачета с оценкой выполнены многовариантными, чтобы исключить возможность списывания и обмена информацией в ходе зачета. Вопросы для самостоятельной подготовки студентов к зачету с оценкой приведены в приложении 1.

Студент допускается к зачету в том случае, если в течение семестра за текущую работу набрано 40 баллов и более. В противном случае выставляется 0 сессионных баллов. Во время зачета студент может набрать до 30 баллов. Если на зачете ответ студента оценивается менее чем 10-ю баллами, то зачет считается не сданным, студенту выставляется 0 баллов, а в ведомость выставляется оценка «неудовлетворительно».

Если на зачете студент набирает 10 и более баллов, то они прибавляются к сумме баллов за текущую работу. Итоговая оценка вычисляется на основании суммирования баллов по каждому критерию, аналогично сдаче экзамена: Оценка «отлично» выставляется студенту, набравшему 20 – 25 баллов, «хорошо» выставляется студенту, набравшему 16 – 19 баллов,

«удовлетворительно» выставляется студенту, набравшему 12 – 15 баллов, Для получения зачета достаточно получить оценку «удовлетворительно». В зачетную книжку вносится отметка «зачтено».

Преподаватель имеет право поставить зачет с оценкой (с согласия студента) без процедуры сдачи зачета, если сумма баллов, набранная студентом за текущую работу составит 70 баллов.

Критерии	Оценка			
	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Знание	Всесторонние глубокие знания (9 -10 баллов)	Знание материала в пределах программы (7 -8 баллов)	Отмечены пробелы в усвоении программного материала (5 -6 баллов)	Не знает основное содержание дисциплины (менее 5 баллов)
Понимание	Полное понимание материала, приводит примеры, дополнительные вопросы не требуются (7 -8 баллов)	Понимает материал, приводит примеры, но испытывает затруднения с выводами, однако достаточно полно отвечает на дополнительные вопросы (5-6 баллов)	Суждения поверхностны, содержат ошибки, примеры не приводит, ответы на дополнительные вопросы неуверенные (3 -4 баллов)	С трудом формулирует свои мысли, не приводит примеры, не дает ответа на дополнительные вопросы (менее 3 баллов)
Применение профессиональной терминологии	Дает емкие определения основных понятий, корректно использует профессиональную терминологию(4 балла)	Допускает неточности в определении понятий, не в полном объеме использует профессиональную терминологию (3 балла)	Путает понятия, редко использует профессиональную терминологию (2 балла)	Затрудняется в определении основных понятий дисциплины, некорректно использует профессиональную терминологию (менее 2 баллов)
Соблюдение норм литературного языка	Соблюдает нормы литературного языка, преобладает научный стиль изложения (3 балла)	Соблюдает нормы литературного языка, допускает единичные ошибки (2 балла)	Допускает множественные речевые ошибки при изложении материала (1 балл)	Косноязычная речь искажает смысл ответа (0 баллов)

Перечень вопросов к зачету:

1. Уравнение Шредингера для кристалла.
2. Одноэлектронное приближение.
3. Модель Кронига- Пенни.
4. Теорема Блоха.
5. Зоны Бриллюэна.
6. Энергетические зоны.
7. Эффективная массы носителей заряда.
8. Закон дисперсии.
9. Разница между металлами и полупроводниками.
10. Плотность состояний с заданной энергией.
11. Функция Ферми- Дирака.
12. Концентрация электронов и дырок в зонах.
13. Невырожденные и вырожденные полупроводники.
14. Среднее время жизни носителей.

15. Кинетическое уравнение Больцмана.
16. Подвижность носителей и коэффициент диффузии.
17. Квазиуровни Ферми.
18. Двойной электрический слой на границе раздела полупроводников с разным типом проводимости.
19. Принцип работы солнечных электрических батарей.
20. Инжекция неосновных носителей через p/n переход.
21. Концентрация носителей на границе p/n перехода.
22. Ширина и емкость p/n перехода.
23. Статическая вольт- амперная характеристика идеального и реального p/n перехода.
24. Плотность тока, протекающего через p/n переход.
25. Диффузионная емкость и диффузионная проводимость.
26. Эквивалентная схема p/n перехода на низких и высоких частотах.
27. Энергетические состояния атомов и молекул
28. Спонтанное и вынужденное излучение. Коэффициенты Эйнштейна
29. Дипольное приближение
30. Принцип работы квантовых усилителей и генераторов
31. Возбуждение активного вещества (накачка)
32. Оптические резонатор
33. Условие самовозбуждения и насыщения усиления
34. Нестационарная генерация, модуляция добротности и синхронизация мод
35. Свойства лазерного излучения
36. Распространение гауссовых пучков
37. Планарный диэлектрический волновод (световод)
38. Преобразование лазерных пучков
39. Фотонные кристаллы

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Контролируемые компетенции/ индикаторы
1	2	3	4
1	Письменный текущий контроль.	T1	ПК1. ИДК _{ПК1.2} ИДК _{ПК1.3}
2	Письменный текущий контроль.	T2	
3	Письменный текущий контроль.	T3	
4	Письменный текущий контроль.	T4	
5	Письменный текущий контроль.	T5	
6	Письменный текущий контроль.	T6	
7	Письменный текущий контроль.	T7	

Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенции ОПК-1:

1. Возможна ли электропроводность, если электроны находятся в валентной зоне:
 - а) да,
 - б) нет,
 - в) возможна при некоторых условиях.
2. Имеет ли понятие дырки реальный физический смысл:
 - а) да,
 - б) нет,
 - в) ни да, ни нет.
3. Дипольное приближение справедливо для излучения квантовых генераторов в:
 - а) радиодиапазоне,
 - б) оптическом диапазоне,
 - в) рентгеновском диапазоне
4. Принцип работы квантовых усилителей и генераторов:
 - а) необходима инверсная населенность рабочих уровней,
 - б) обратная связь отсутствует,
 - в) внешний источник отсутствует

Разработчик:

профессор, Аграфонов Ю.В.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учитывает рекомендации ПООП по направлению и профилю подготовки **03.03.03 Радиофизика**.

Программа рассмотрена на заседании кафедры радиофизики и радиоэлектроники «30» августа 2021 г. протокол № 1

И.О. зав. кафедрой  Колесник С.Н.

Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.