

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
радиофизики

*наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины*



(Корчагин Ю.Э.)

*подпись, расшифровка подписи*

31.08.2024 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.06.02 – Квантовая радиофизика  
*Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом*

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

03.03.03. Радиофизика

**2. Профиль подготовки/специализация:** Физика информационных систем и телекоммуникаций, компьютерные технологии передачи информации, информационные системы и технологии, компьютерная электроника, микроэлектроника и полупроводниковые приборы.

**3. Квалификация (степень) выпускника:** Бакалавр

**4. Форма обучения:** Очная.

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Радиофизики

**6. Составители программы:** Титов К.Д., к.ф.-м.н.

**7. Рекомендована:** НМС физического факультета, прот. № 5 от 31.08.2024 г.

**8. Учебный год:** 2027-2028 г.

**Семестр(ы):** 8

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Цель – формирование у студентов комплекса знаний, умений и навыков по квантовой теории излучения и поглощения, обучение методам анализа и синтеза квантово-механических устройств, а также методам измерения характеристик лазерного излучения.

Главная задача – усвоение основных методов анализа и синтеза динамики квантово-механических устройств, овладение навыками определения пространственно-временных характеристик лазерного излучения.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Курс «Квантовая радиофизика» относится к базовой части рабочего учебного плана, модуль «Электроника».

Как наука, «Квантовая радиофизика» базируется на курсах «Квантовая механика», «Оптика», «Электродинамика».

«Квантовая радиофизика» служит теоретической основой для дальнейшей самостоятельной работы по исследованию и разработке средств связи оптического диапазона, аппаратуры и устройств волоконно-оптических и лазерных телекоммуникационных систем передачи, обработки и хранения информации. Знания и практические навыки, полученные в результате изучения курса «Квантовая радиофизика», используются обучаемыми при изучении естественно-научных дисциплин, а также при разработке курсовых и дипломных работ.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-3	способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.	<b>знать:</b> – существующие электронные информационные и библиографические средства по тематике квантовой радиофизики и квантовой электроники; – способы уменьшения влияния вредоносных средств (вирусов и пр.) на извлекаемые из информационного пространства материалы; – адреса электронных библиотек ВГУ, а также других информационных электронно-образовательных ресурсов; <b>уметь:</b> – логически обобщать, анализировать, критически осмысливать и систематизировать имеющийся материал по квантовой радиофизике и квантовой электронике; – применять методы и средства познания для приобретения новых знаний и умений; – самостоятельно обучаться и контролировать свои действия при поиске новых информационных ресурсов; – пользоваться современными информационными ресурсами с целью повышения своей компетенции в области разработки радиотехнических комплексов и

		<p>устройств;</p> <p><b>владеть (иметь навык(и)):</b> – навыками опытного пользователя электронно-информационными ресурсами;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– терминологией по специальности для успешного поиска информации;</li> <li>– профессионально-профильными знаниями в области информационных технологий, использовании современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки;</li> <li>– принципами построения локальных и глобальных компьютерных сетей, основы Интернет технологий, типовыми процедурами применения проблемно-ориентированных прикладных программных средств.</li> </ul>
<b>ПК-1</b>	<p>способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и выработки решения. Способность изучать современный уровень развития квантовой радиофизики и электроники в области взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, включая теорию лазера, оптические явления, обусловленные когерентными и интенсивными полями, а также экспериментальные методы исследования, математического описания и анализа характеристик квантово-механических устройств.</p>	<p><b>знать:</b> -</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>общие закономерности квантовой теории излучения и поглощения</li> <li>– элементы квантовой теории поля;</li> <li>– кинетику квантово-механических систем;</li> <li>– типы квантово-механических устройств</li> <li>- динамику квантово-механических усилителей и генераторов;</li> </ul> <p><b>уметь:</b> – использовать полученные знания при разработке современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять современные методы анализа современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры;</li> <li>– использовать современную измерительную аппаратуру при экспериментальном исследовании современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры;</li> <li>– пользоваться современной научно-технической информацией по радиотехническим приборам и оборудованию;</li> </ul> <p><b>владеть (иметь навык(и)):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами расчета характеристик квантово-механических устройств;</li> <li>– методами нахождения режимов генерации квантовых генераторов;</li> <li>– терминологией и научно-технической литературой в области квантовой радиофизики и электроники;</li> </ul>
<b>ПК-2</b>	<p>способность использовать математический аппарат и полученные знания в задачах передачи</p>	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные особенности процессов функционирования квантово-механических устройств, принципы их построения, взаимодействие их основных элементов;</li> </ul>

	<p>оптической и другой информации в системах телекоммуникаций, умение оценивать возможности и необходимость применения квантово-механических устройств в составе телекоммуникационных систем с учетом их основных особенностей.</p>	<p>– принципы исследования, разработки и проектирования квантово-механических устройств телекоммуникационных информационных и информационно-вычислительных систем;</p> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять основные методы анализа квантово-механических устройств и систем на их основе при исследовании результатов измерений;</li> <li>– использовать современную аппаратуру при исследовании характеристик (параметров) лазерного излучения и режимов генерации квантовых генераторов;</li> <li>– пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>– использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– терминологией и научно-технической литературой по квантовой радиофизике и электронике;</li> <li>– методами измерений параметров квантово-механических устройств телекоммуникационных информационных и информационно-вычислительных систем;</li> </ul>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — \_3/108.**

**Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) экзамен.**

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра	№ 8	...
Аудиторные занятия			48	
в том числе: лекции			24	
практические			-	
лабораторные			24	
Самостоятельная работа			24	
Форма промежуточной аттестации экзамен – _ час.)			36	
Итого:			108	

## 13.1. Содержание дисциплины

### 1 Лекции

№ тем	№ лекции	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1.	1.	Общие сведения о квантово-механических устройствах	Введение в предмет. Квантовая радиофизика и проблемы радиоэлектроники. Учебный фильм «Основы работы лазеров»
1.	2.	Спонтанное, индуцированное излучение, резонансное поглощение	Квантово-теоретические основы. Вынужденные излучения, коэффициенты Эйнштейна. Отрицательная температура. Условия усиления излучения. Переходы в системе под влиянием возмущений. Матрица плотности в квантовой теории и ее свойства
1.	3.	Спектральные параметры (характеристики) взаимодействия излучения с веществом	Электродипольное взаимодействие вещества с излучением. Лоренцева форма спектральной линии. Однородное и неоднородное уширение
2.	4.	Гауссовы пучки в оптических элементах, однородных и неоднородных средах	Электромагнитные поля и их квантование. Поле как совокупность осцилляторов. Разложение поля по модам резонатора
2.	5.	Характеристики открытых резонаторов	Оптические резонаторы. Оптические элементы. Закон ABCD. Критерий устойчивости мод резонатора. Резонансные частоты. Учебный кинофильм «Объемные и открытые резонаторы»
2.	6.	Частичная когерентность и частичная поляризация электромагнитного излучения	Когерентность электромагнитного поля. Преобразование пространственной и временной когерентности поля при распространении волн
3.	7.	Кинетика квантово-механических устройств	Балансные уравнения. Релаксационные процессы. Двух уровневая модель. Квантовое, полу классическое описание. Восприимчивость среды
3.	8.	Понятие инверсии заполнения энергетических уровней и методы ее создания	Укороченные материальные уравнения. Получение отрицательной температуры в трех и четырех уровневых системах. Методы создания инверсии
4.	9.	Лазер на рубине ( $Al_2O_3:Cr^{3+}$ )	Лазеры на основе кристаллов и стекол
4.	10.	Гелий- неоновый лазер(He-Ne)	Лазеры на газах и парах
5.	11.	Режим стационарной генерации	Общая теория квантовых генераторов
5.	12.	Динамика твердотельных лазеров	Режим свободной генерации. Генерация гигантских импульсов. Модуляции добротности и синхронизация мод в лазерах

5.	13.	Шумы в лазерных усилителях и генераторах Применение лазеров в разработке средств связи оптического диапазона, аппаратуры и устройств волоконно-оптических и лазерных телекоммуникационных систем передачи, обработки и хранения информации.	Флуктуационные явления в квантовых генераторах. Модель лазера по Ван дер Полю Модуляция излучения, распространение излучения в волноводной-оптических системах, в диэлектрических линиях, однородных и неоднородных средах
----	-----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 2. Лабораторные работы

№ темы	№ занятия	План занятия	Формы текущего контроля
3,4, 5.	1.	Исследование спектральных характеристик гелий-неонового (He-Ne) лазера	сдача лаб.раб.
2,4.	2,3	Поперечно-модовая структура излучения гелий-неонового (He-Ne) лазера. Исследование степени монохроматичности излучения гелий-неонового (He-Ne) лазера.	сдача лаб.раб.
2,4,6	4.	Углекислотный лазер в режиме непрерывной многомодовой и одномодовой генерации.	сдача лаб.раб.
4,5	5.	Импульсный азотный лазер. Измерение средней мощности. Определение пиковой мощности.	сдача лаб.раб.
2,4,6	6.	Полупроводниковый лазер. Диаграммы излучения в горизонтальной и вертикальной плоскостях	сдача лаб.раб.

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Название раздела дисциплины	Лекции (час)	Практ. занятия (час)	Лаборат. занятия (час)	Самост. работа (час)	Всего
01.	Введение. Квантовая теория излучения и поглощения	4	—	0	—	4
02.	Элементы квантовой теории поля	6	—	4	2	12
03.	Кинетика квантовых систем	4	—	4	2	10
04.	Типы квантово-механических устройств	4	—	12	5	21
05.	Динамика квантовых генераторов	6	—	4	4	14
06.	Применение лазеров	2	—	2	2	6

## 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для

студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

## **15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Ярив А. Квантовая электроника /А.Ярив: Пер. с англ. Под ред. Я.И.Ханина. – М.: Сов.радио, 1980.- М.: Сов.радио, 1980. – 488 с.
2. Страховский Г.М. Основы квантовой электроники /Г.М.Страховский, А.В.Успенский. – М.: Высшая школа, 1979, 303 с.– М.: Высшая школа, 1979. – 303 с.
3. Ханин Я.И. Основы динамики лазеров /Я.И.Ханин.– М.: Наука: Физматлит, 1999. – 386 с.
4. Звелто Орацис. Принципы лазеров /Звелто Орацис: Пер. с англ. под ред. Т.А.Шмаонова. – М.: Мир, 1990. – 558 с.
5. Хирд Г. Измерение лазерных параметров (Экспериментальные методы оптической квантовой электроники) /Г.Хард: Пер. с англ. под ред. Ф.С.Файзуллова. – М.: Мир, 1970. – 539 с.
6. Успенский А.В. Сборник задач по квантовой электронике /А.В.Успенский.– М.: Высшая школа, 1976. – 176 с.

### **б) дополнительная литература:**

7. Кугушев А.М. Основы радиоэлектроники /А.М.Кугушев, Н.С.Голубева. – М.: Энергия, 1977. – 399 с.
8. Файн В.М. Квантовая радиофизика. Фотоны и нелинейные среды /В.М.Файн.– М.: Сов.радио, 1972. – 472 с.
9. Применение лазеров в народном хозяйстве. – М.: Наука, 1985. – 232 с.
10. Гильярди Р.М. Оптическая связь / Р.М.Гильярди, Ш.Карп: Пер. с англ. под ред. А.Г.Шереметьева. – М.: Связь, 1978. – 424 с.
11. Козанне А. Оптика и связь. Опт.передача обраб. информ. / А.Козанне, Ж.Флере, Г.Мэтр, М.Руссо: Пер. с фр. под ред. В.К.Соколова. – М.: Мир, 1984. – 502 с.

### **в) информационные электронно-образовательные ресурсы:**

№ п/п	Источник
1	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2	<a href="http://www.exponenta.ru">http://www.exponenta.ru</a>

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

## **16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы**

1. Власов Б.И. Распространение лазерных пучков в однородных и линзоподобных средах: учеб. Пособие/ Б.И. Власов, А.С. Кунаев. - Воронеж, изд- во ВГУ, 2012.- Ч.1.-37с.



2. Власов Б.И. Шумы квантово-механических усилителей: учеб. Пособие/ Б.И. Власов, А.С. Кунаев. - Воронеж, изд- во ВГУ, 2012.-Ч.2.-29с.

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

№ п/п	Источник
1	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2	<a href="http://www.exponenta.ru">http://www.exponenta.ru</a>

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

1. Учебно-научная лаборатория кафедры.
2. Персональные компьютеры – 1 шт.
3. Программы «*Maxima*»,

**19. Фонд оценочных средств:**

Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

**Программа оценивания контролируемой компетенции:**

Текущая аттестация	Контролируемые модули, разделы(темы) дисциплины и их наименования	Код контролируемой компетенции и (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Раздел-3. Кинетика квантовых систем Раздел-4. Типы квантово-механических устройств. Раздел-5. Динамика квантовых генераторов.	ПК-1, ПК-2	Групповой проект-1 (лабораторное занятие- 1)
2	Раздел-2. Элементы квантовой теории поля. Раздел-4. Типы квантово-механических устройств.	ПК-1, ПК-2	Групповой проект-2 (лабораторное занятие- 2)
3	Раздел-2. Элементы квантовой теории поля. Раздел-4. Типы	ПК-1, ПК-2	Групповой проект-3



	квантово-механических устройств. Раздел-6. Применение лазеров.		(лабораторное занятие- 3)
4	Раздел-4. Типы квантово-механических устройств. Раздел-5. Динамика квантовых генераторов.	ПК-1, ПК-2	Групповой проект-4 (лабораторное занятие- 4)
5	Раздел-2. Элементы квантовой теории поля. Раздел-4. Типы квантово-механических устройств. Раздел-6. Применение лазеров.	ПК-1, ПК-2	Групповой проект-5 (лабораторное занятие- 5)
6	Раздел-2. Элементы квантовой теории поля. Раздел-6. Применение лазеров. Применение лазеров	ПК-1, ПК-2	Групповой проект-6 (лабораторное занятие- 6)

## 1. В результате изучения «Квантовой радиофизики» обучающийся должен:

### 1.1 Знать:

- общие закономерности квантовой теории излучения и поглощения
- элементы квантовой теории поля;
- кинетику квантово-механических систем;
- типы квантово-механических устройств
- динамику квантово-механических усилителей и генераторов;
- основные особенности процессов функционирования квантово-механических устройств, принципы их построения, взаимодействие их основных элементов;
- принципы исследования, разработки и проектирования квантово-механических устройств телекоммуникационных информационных и информационно-вычислительных систем;

### 1.2 Уметь:

- использовать полученные знания при разработке современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры;
- применять современные методы анализа современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры;
- использовать современную измерительную аппаратуру при экспериментальном исследовании современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры;
- пользоваться современной научно-технической информацией по радиотехническим приборам и оборудованию;
- применять основные методы анализа квантово-механических устройств и систем на их основе при исследовании результатов измерений;

- использовать современную аппаратуру при исследовании характеристик (параметров) лазерного излучения и режимов генерации квантовых генераторов;
- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;
- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;

### 1.3 Владеть:

- методами расчета характеристик квантово-механических устройств;
- методами нахождения режимов генерации квантовых генераторов;
- терминологией и научно-технической литературой в области квантовой радиофизике и электронике;
- терминологией и научно-технической литературой по квантовой радиофизике и электронике;
- методами измерений параметров квантово-механических устройств

## 19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Материал изучен полностью, продемонстрирована возможность применения полученных знаний при ответе на сложные вопросы, требующие глубокого понимания материала</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>В основном программа изучена, есть трудности в применении знаний при решении некоторых задач</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Основные понятия курса изучены, однако, отсутствует понимание материала</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Материал либо полностью не изучен, либо есть разделы, в которых студент полностью не разбирается</i>	–	<i>Неудовлетворительно</i>

- 3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

#### Контрольно-измерительный материал №1

1. Переходы в квантово-механической системе под влиянием возмущения.

Ширина спектральной линии.

2. Синхронизация мод лазера с неоднородно-уширенной линией усиления.

### **Контрольно-измерительный материал №2**

1. Матрица плотности в квантовой теории и ее свойства.
2. Гауссов пучок в линзовом волноводе.

### **Контрольно-измерительный материал №3**

1. Дипольное излучение (гармонический классический и квантовый осцилляторы).
2. Гелий-неоновый лазер.

### **Контрольно-измерительный материал №4**

1. Механизмы уширения спектральных линий.
2. Резонансные частоты открытых резонаторов.

### **Контрольно-измерительный материал №5**

1. Временная когерентность световых волн.
2. Продольное и поперечное время релаксации.

### **Контрольно-измерительный материал №6**

1. Методы создания инверсной населенности рабочих уровней.
2. Резонаторы со сферическими зеркалами.

### **Контрольно-измерительный материал №7**

1. Перенос энергии электромагнитного поля, ее сохранение и поглощение.
2. Волновые пучки высших порядков.

### **Контрольно-измерительный материал №8**

1. Квантование электромагнитного поля.
2. Способы управления параметрами лазеров. Модуляция добротности.

### **Контрольно-измерительный материал №9**

1. Плотность состояния абсолютно черного тела.
2. Способы управления параметрами лазеров. Синхронизация мод.

### **Контрольно-измерительный материал №10**

1. Матрицы оптических элементов. Линзовый волновод.
2. Шумы в лазерных усилителях.

### **Контрольно-измерительный материал №11**

1. Волновое уравнение для среды с квадратичным профилем показателя

преломления.

2. Твердотельный лазер на рубине.

### **Контрольно-измерительный материал №12**

1. Форм-фактор спектральной линии.

2. Параметры лазерных систем. Условия генерации. Выходная мощность.

### **Контрольно-измерительный материал №13**

1. Нахождение вероятностей индуцированных и спонтанных переходов.

2. Шумы лазерных генераторов.

### **Контрольно-измерительный материал №14**

1. Пространственная когерентность световых волн. Частичная когерентность.

2. Ход лучей между зеркалами оптического резонатора.

### **Контрольно-измерительный материал №15**

1. Критерий устойчивости мод. Самосогласованный метод нахождения мод резонатора.

2. Поляризация и восприимчивость среды.

### **Контрольно-измерительный материал №16**

1. Волновые пучки высших порядков в комбинированных резонаторах.

2. Внешние и внутренние лазерные параметры.

### **Контрольно-измерительный материал №17**

1. Спектральные характеристики лазерного излучения.

2. Гауссов пучок в линзовом волноводе. Закон ABCD.

### **Контрольно-измерительный материал №18**

1. Модовая структура лазерного излучения.

2. Стационарная генерация. Пороговая инверсия. Частота генерации.

### **Контрольно-измерительный материал №19**

1. Устойчивые лучи оптических резонаторов. Неустойчивые резонаторы.

2. Однородное и неоднородное уширение спектральной линии.

### **Контрольно-измерительный материал №20**

1. Доплеровское уширение спектральной линии.

2. Пиковая генерация лазерного излучения.

### **Контрольно-измерительный материал №21**

1. Столкновенное уширение спектральной линии.

2. Резонансные частоты открытых резонаторов. Потери и их виды.

### **Контрольно-измерительный материал №22**

1. Гауссовый пучок в однородной среде. Фокусировка гауссового пучка.
2. Шумы в лазерных усилителях.

### **Контрольно-измерительный материал №23**

1. Гауссовый пучок в линоподобной среде.
2. Модель квантового генератора по Ван дер Полю.

### **Контрольно-измерительный материал №24**

1. Матричный элемент периодичности линзового волновода.
2. Синхронизация мод неоднородно уширенной спектральной линии.

### **Контрольно-измерительный материал №25**

1. Матричный элемент полного обхода открытого резонатора.
2. Модуляция добротности открытого резонатора.

## **19.3.2 Перечень практических заданий**

### **Групповые творческие задания (проекты):**

1. Изучение спектральных характеристик гелий-неонового (He-Ne) лазера.
2. Изучение поперечно-модовой структуры гелий-неонового (He-Ne) лазера.
3. Исследование степени монохроматичности гелий-неонового (He-Ne) лазера.
4. Исследование многомодового и одномодового режима генерации углекислотного лазера.
5. Импульсный азотный лазер. Измерение средней мощности. Определение пиковой мощности.
6. Полупроводниковый лазер. Диаграмма излучения в горизонтальной и вертикальной плоскостях.
7. Поляризация и модуляция гелий-неонового излучения.

## **19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме(ах) *(указать нужное)*: *устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа, доклады); письменных работ (контрольные, эссе, сочинения, выполнение практико-ориентированных заданий,*

*лабораторные работы и пр.); тестирования; оценки результатов практической деятельности (курсовая работа, портфолио и др.).* Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и(или) навыков, и(или) опыт деятельности (*указываете реальную структуру*).

При оценивании используются количественные или качественные шкалы оценок (*нужное выбрать*). Критерии оценивания приведены выше.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**Направление/специальность:** 03.03.03 Радиофизика

*шифр и наименование направления/специальности*

**Дисциплина:** Б1.В.ДВ.06.02 Квантовая радиофизика

**Профиль подготовки:** *Физика информационных систем и коммуникаций, компьютерные технологии передачи информации, информационные системы и технологии, компьютерная электроника, микроэлектроника и полупроводниковые приборы в соответствии с Учебным планом*

**Форма обучения:** очная

**Учебный год:** 2027/2028

Ответственный исполнитель

Зав кафедрой радиофизики  
*должность, подразделение*



*подпись*

(Ю.Э. Корчагин) 31.08. 2024 г.  
*расшифровка подписи*

Исполнители

Исполнители  
Доц. каф. радиофизики  
*должность, подразделение*



(К.Д. Титов) 31.08. 2024 г.  
*подпись* *расшифровка подписи*

СОГЛАСОВАНО

Куратор ООП по направлению/специальности



*подпись*

(Ю.Э. Корчагин) 31.08. 2024 г.  
*расшифровка подписи*

Начальник отдела обслуживания ЗНБ



*подпись*

(Н.В. Белодедова) 31.08. 2024 г.  
*расшифровка подписи*

Программа рекомендована НМС физического факультета  
*(наименование факультета, структурного подразделения)*

протокол № 5 от 31.08.2024 г.