


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ИФФВТ
от 24 мая 2023 г. протокол № 10
Председатель _____ (Рыбин В. В.)
(подпись, расшифровка подписи)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплина	<u>ПРАКТИКУМ ПО КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ</u>
Факультет	Инженерно-физический факультет высоких технологий
Кафедра	Радиофизики и электроники (РФЭ)
Курс	4

Направление (специальность): **03.03.03 – радиофизика** (бакалавриат)

Направленность (профиль/специализация): **Твердотельная электроника и наноэлектроника**

Форма обучения **очная**

Дата введения в учебный процесс УлГУ: « 01 » сентября 2023г.

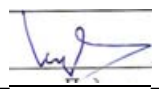
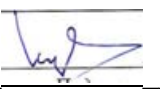
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № _____ от _____ 20____ г.


Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № _____ от _____ 20____ г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № _____ от _____ 20____ г.

Сведения о разработчиках:

ФИО	Аббревиатура кафедры	Должность, ученая степень, звание
Санников Дмитрий Германович	РФЭ	Профессор, д.ф.-м.н., доцент

СОГЛАСОВАНО	СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой РФЭ, реализующей дисциплину	Заведующий выпускающей кафедрой РФЭ
 / Гурин Н.Т./ Подпись « <u>16</u> » <u>05</u> 2023 г.	 / Гурин Н.Т./ Подпись « <u>16</u> » <u>05</u> 2023 г.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины – практическое знакомство с физическими основами квантовой электроники, принципами усиления и генерации света на основе индуцированного испускания излучения в термодинамически неравновесных квантовых системах.

Задача преподавания дисциплины является формирование у студента современного представления о методах квантовой электроники, использовании акусто-, магнито- и электрооптического эффектов для управления лазерным излучением, о генерационных процессах в лазерах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Практикум (Б1.В.1.1) является основной дисциплиной вариативной части базового цикла ОПОП по направлению 03.03.03 – Радиофизика и проходит на 4-м курсе в 7-м семестре после освоения основных математических и естественнонаучных дисциплин, одновременно с курсом «Квантовая электроника».

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В ходе освоения дисциплины формируются следующие компетенции:


- способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности (ОПК-1);
- способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (ОПК-2);
- способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования (ПК-1);
- способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-2);
- владение компьютером на уровне опытного пользователя, применению информационных технологий (ПК-3).

В результате изучения дисциплины студенты должны *иметь представление:*

- ✓ о физических принципах работы полупроводниковых и вакуумных фотоприемников;
- ✓ о способах создания инверсии населенностей в смеси нейтральных газов,
- ✓ принципе действия и конструкции газоразрядного лазера;

уметь:

- ✓ производить измерения мощностных, ватт-амперных и иных характеристик фотоэлементов, некогерентных и когерентных (лазерных) источников;
- ✓ проводить измерения магнито-, электро- и акустооптических параметров сред, взаимодействующих с лазерным излучением.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		


Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций
способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности (ОПК-1)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Знать: основные этапы развития и научные направления квантовой электроники; ✓ Уметь: выполнять обработку результатов исследования с помощью компьютерных средств ✓ Владеть: навыками расчетов характеристик физических величин в квантовой электронике
способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии (ОПК-2)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Знать: возможности современных компьютерных средств (Maple, MathCad, MatLab и т.п.) ✓ Уметь: программировать и решать задачи с помощью по меньшей мере одного из современных приложений (или языков) ✓ Владеть: терминологией квантовой электроники
способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования (ПК-1)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Знать: принципы работы основных устройств квантовой электроники (лазер, СИД) ✓ Уметь: работать с современным оборудованием ✓ Владеть: методикой численного моделирования узлов квантовой электроники
способность использовать основные методы радиофизических измерений (ПК-2)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Знать: теорию погрешностей ✓ Уметь: применять статистическую обработку результатов измерений ✓ Владеть: навыками измерений физических величин в области квантовой электроники
владение компьютером на уровне опытного пользователя, применению информационных технологий (ПК-3)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Знать: основы программирования на одной из современных языков ✓ Уметь: применять ИТ-средства для обработки результатов измерений ✓ Владеть: методами статистики для обработки результатов измерений с помощью компьютера

4. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) – 2 ЗЕТ (72 часа).

4.2. По видам учебной работы (в часах):

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения - очная)			
	Всего по плану	В т.ч. по семестрам		
			7	
Аудиторные занятия:	72/72		72	
Лекции				
Практические (семинарские) занятия				
Лабораторные работы (лабораторный практикум)	36/36		36	
Самостоятельная работа	36		36	
Всего часов по дисциплине	72		72	
Виды промежуточного контроля	зачет		зачет	

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

** В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий в таблице через слеш указывается количество часов работы ППС с обучающимися для проведения занятий в дистанционном формате с применением электронного обучения*


4.3. Содержание дисциплины (модуля). Распределение часов по темам и видам учебной работы:

Форма обучения: очная

Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий	
		Аудиторные занятия (лаб. работы)	СР
1. Исследование характеристик теплового излучения лампы накаливания.	8	4	4
2. Фотодиоды	8	4	4
3. Исследование свойств фотоэлемента.	8	4	4
4. Дифракция света на ультразвуковой волне.	8	4	4
5. Магнитооптический эффект Фарадея.	8	4	4
6. Электрооптический эффект в кристаллических средах.	8	4	4
7. Энергетические характеристики газоразрядного оптического квантового генератора.	12	6	6
8. Плоский волновод – одномерная потенциальная яма	12	6	6
Итого	72	36	36

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИЛИНЫ (МОДУЛЯ)

- I. Характеристики теплового излучения лампы накаливания. Излучение электромагнитных волн нагретым телом, закон Стефана-Больцмана, коэффициент черноты. Закон Вина.
- II. Физические принципы действия фотодиодов, вольтамперные характеристики в вентильном и фотодиодном режимах.
- III. Вакуумный фотоэлемент. Внешний фотоэффект (фотоэлектронная эмиссия). Световая и вольт-амперная характеристика фотоэлемента, интегральная чувствительность.
- IV. Дифракция света на ультразвуковой волне. Взаимодействие света и ультразвука, исследование акустооптических модуляторов.
- V. Магнитооптический эффект Фарадея. Насыщающее поле, намагниченность насыщения в пленке феррит-граната.
- VI. Электрооптический эффект в кристаллических средах. Экспериментальные исследования линейного электрооптического эффекта в кристалле.
- VII. Энергетические характеристики газоразрядного оптического квантового генератора. Создание инверсии населенностей в смеси нейтральных газов, принцип действия и конструкция газоразрядного оптического квантового генератора (ОКГ) на смеси гелия и неона.
- VIII. Плоский волновод – одномерная потенциальная яма. Математическая модель плоского волновода, эквивалентность модели квантовой частицы, совершающей одномерное движение в потенциальной яме.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практических и семинарских занятий не предусмотрено.

7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ)

Предусмотрено выполнение 8 лабораторных работ.

Лаб. работа 1. Исследование характеристик теплового излучения лампы накаливания.

Цель работы: изучить излучение электромагнитных волн нагретым телом (нити накала электрической лампы); экспериментально проверить закон Стефана-Больцмана; рассчитать коэффициент черноты и длину волны, при которой спектральная плотность энергетической светимости тела достигает максимума.

Лаб. работа 2. Фотодиоды.

Цель работы: ознакомиться с физическими принципами действия фотодиодов, изучить их вольтамперные характеристики (ВАХ) в вентильном и фотодиодном режимах.

Лаб. работа 3. Исследование свойств фотоэлемента.

Цель работы: изучить физические принципы, лежащие в основе внешнего фотоэффекта (фотоэлектронной эмиссии). Снять световую и вольт-амперную характеристики фотоэлемента, рассчитать его интегральную чувствительность.

Лаб. работа 4. Дифракция света на ультразвуковой волне.

Цель работы: изучение вопросов взаимодействия света и ультразвука, исследование акустооптических модуляторов.

Лаб. работа 5. Магнитооптический эффект Фарадея.

Цель работы: исследовать магнитооптический эффект Фарадея, определить насыщающее поле, намагниченность насыщения в пленке феррит-граната.

Лаб. работа 6. Электрооптический эффект в кристаллических средах.

Цель работы: ознакомление с теорией электрооптического эффекта, экспериментальные исследования линейного электрооптического эффекта в кристалле.

Лаб. работа 7. Энергетические характеристики газоразрядного оптического квантового генератора.

Цель работы: Ознакомиться со способом создания инверсии населенностей в смеси нейтральных газов, принципом действия и конструкцией газоразрядного оптического квантового генератора (ОКГ) на смеси гелия и неона, физическими факторами, влияющими на электрические характеристики его излучения.


Лаб. работа 8. Плоский волновод – одномерная потенциальная яма.

8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ

Курсовые и контрольные работы, рефераты не предусмотрены учебным планом.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ

1. Определение квантовой электроники. Краткая характеристика шкалы длин волн (УФ, видимые, ИК, СВЧ, радиоволны) и их использование.
2. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта (записать и объяснить).
3. ВАХ вакуумного фотоэлемента (нарисовать и объяснить). Задерживающее напряжение.
4. ВАХ освещенного и неосвещенного р-п –переходов) (нарисовать и объяснить).
5. Основные фотометрические величины: сила света [кд], световой поток [лм], освещенность [лк], их связь друг с другом.
6. Основные фотометрические величины.
7. Коэффициенты Эйнштейна.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

8. Когерентность индуцированного излучения.
9. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
10. Естественное время жизни, ширина спектра спонтанного излучения.
11. Лоренцева форма линии.
12. Вероятность индуцированных переходов при монохроматическом излучении.
13. Однородное и неоднородное уширения.
14. Гауссова форма линии при доплеровском уширении.
15. Поглощение и усиление света (записать и объяснить условие для населенностей уровней).
16. Активная среда (определение, примеры).
17. Сечение поглощения.
18. Эффект насыщения.
19. Плотность потока энергии насыщающего излучения.
20. Непрерывный режим генерации (определение, примеры лазеров).
21. Импульсный режим генерации (определение, примеры лазеров)
22. Энергия насыщения.
23. Волновые функции стационарных состояний.
24. Уравнение Шредингера при наличии возмущений.
25. Первое приближение теории возмущений.
26. Суперпозиция волновых функций стационарных состояний.
27. Матричный элемент оператора дипольного момента перехода.
28. Осцилляции населенности верхнего уровня.
29. Частота Раби.
30. Дифракция Брэгга и Рамана-Ната.

10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

По данной дисциплине организуется и проводится внеаудиторная самостоятельная работа.


Самостоятельная работа студентов, предусмотренная учебным планом в объеме не менее 50-70% общего количества часов, должна соответствовать более глубокому усвоению изучаемого курса, формировать навыки исследовательской работы и ориентировать студентов на умение применять теоретические знания на практике.

Самостоятельная работа по данной дисциплине состоит из подготовки к лабораторным занятиям.

При подготовке к лабораторным занятиям рекомендуется руководствоваться учебниками и учебными пособиями, в том числе и информацией, полученной в Internet.

Студентам рекомендуется следующий порядок организации самостоятельной работы над темами и подготовки к практическим занятиям:

- ознакомиться с содержанием темы;
- прочитать материал лекций, при этом нужно составить себе общее представление об излагаемых вопросах;
- прочитать параграфы учебника, относящиеся к данной теме;
- перейти к тщательному изучению материала, усвоить теоретические положения и выводы, при этом нужно записывать основные положения темы (формулировки, определения, термины, воспроизводить отдельные схемы и чертежи из учебника и конспекта лекций);

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет).

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы	Объем в часах	Форма контроля
1. Коэффициенты Эйнштейна	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
2. Ширина линии излучения	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
3. Усиление в активных средах	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
4. Квантово-механический подход для описания двухуровневой системы	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
5. Характеристики лазерных усилителей	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
6. Генерация лазерного излучения	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
7. Открытые резонаторы в квантовой электронике	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
8. Гауссовы пучки. Устойчивые и неустойчивые резонаторы	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
9. Синхронизация мод. Модуляция добротности	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест


11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Список рекомендуемой литературы


основная:

1. Щука, А. А. Электроника в 4 ч. Часть 3. Квантовая и оптическая электроника : учебник для академического бакалавриата / А. А. Щука, А. С. Сигов ; ответственный редактор А. С. Сигов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 117 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-01870-7. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/434303>
2. Иванов, И. Г. Основы квантовой электроники : учебное пособие / И. Г. Иванов. — Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2011. — 174 с. — ISBN 978-5-9275-0873-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/47052.html>.
3. Белов, Н. П. Физические основы квантовой электроники / Н. П. Белов, А. С. Шерстобитова, А. Д. Яськов. — СПб. : Университет ИТМО, 2014. — 65 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/65346.html>.

дополнительная:

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

- 1.2. Образовательная платформа ЮРАЙТ : образовательный ресурс, электронная библиотека : сайт / ООО Электронное издательство «ЮРАЙТ». – Москва, [2023]. - URL: <https://urait.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.
- 1.3. База данных «Электронная библиотека технического ВУЗа (ЭБС «Консультант студента») : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Политехресурс». – Москва, [2023]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
- 1.4. Консультант врача. Электронная медицинская библиотека : база данных : сайт / ООО «Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг». – Москва, [2023]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
- 1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Букап». – Томск, [2023]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/> . – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
- 1.6. ЭБС Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС «Лань». – Санкт-Петербург, [2023]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
- 1.7. ЭБС **Znanium.com** :электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Знаниум». - Москва, [2023]. - URL: <http://znanium.com> . – Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.
- **2. КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система. / ООО «Консультант Плюс» - Электрон.дан. - Москва :КонсультантПлюс, [2023].
- **3. Базы данных периодических изданий:**
- 3.1. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО «Научная Электронная Библиотека». – Москва, [2023]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный
- 3.2. Электронная библиотека «Издательского дома «Гребенников» (Grebinnikon) : электронная библиотека / ООО ИД «Гребенников». – Москва, [2023]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.
- **4. Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека»:** электронная библиотека : сайт / ФГБУ РГБ. – Москва, [2023]. – URL:<https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.
- **5. Российское образование:** федеральный портал / учредитель ФГАУ «ФИЦТО». – URL: <http://www.edu.ru>. – Текст : электронный.
- **6. Электронная библиотечная система УлГУ :** модуль «Электронная библиотека» АБИС Мега-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

Согласовано:

Инженер ведущий / Щуренко Ю.В. /  / _____
Должность сотрудника УИГТ ФИО подпись дата

12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудитории кафедры, укомплектованные необходимым специализированным оборудованием для проведения занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации, групповых и индивидуальных консультаций.

13. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

– для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий, организация работы ППС с обучающимися с ОВЗ и инвалидами предусматривается в электронной информационно-образовательной среде с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Разработчик



д.ф.-м.н., профессор кафедры РФЭ, Санников Д.Г.

должность

ФИО