
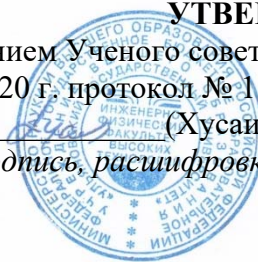


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф- Рабочая программа дисциплины		

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ИФФВТ
от 16 июня 2020 г. протокол № 11/02-19-10
Председатель _____ (Хусайнов А.Ш.)
(подпись, расшифровка подписи)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплина	<u>КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА</u>
Факультет	Инженерно-физический факультет высоких технологий
Кафедра	Радиофизики и электроники (РФЭ)
Курс	4

Направление **03.03.03 «Радиофизика» (бакалавриат)**
(код направления, полное наименование)

Направленность (профиль) **Твердотельная электроника и нанoeлектроника**
полное наименование

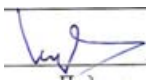
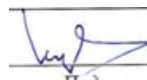
Форма обучения: **очная**


Дата введения в учебный процесс УлГУ: « 01 » _____ сентября _____ 2020 г.

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
 _____ Подпись / Гурин Н.Т./ ФИО « <u>09</u> » _____ <u>06</u> _____ 2020 г.	 _____ Подпись / Гурин Н.Т./ ФИО « <u>09</u> » _____ <u>06</u> _____ 2020 г.

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

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины – изучение физических основ квантовой электроники, т.е. принципов усиления и генерации света на основе индуцированного испускания излучения в термодинамически неравновесных квантовых системах.

Задача преподавания дисциплины:

- сформировать у студента современное представление об усилении и генерации когерентного электромагнитного излучения в квантовых приборах (лазерах и мазерах), а также принципах их устройства и работы.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Квантовая электроника» относится базовым дисциплинам профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.03.03 – «Радиофизика».

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах образовательной программы бакалавра по направлению «Радиофизика»: модули «Математика» и «Общая физика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин.

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

В результате освоения дисциплины «Квантовая электроника» 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 видах квантовых переходов и коэффициентах Эйнштейна;
- ✓ о режимах усиления и генерации в квантовых системах;
- ✓ об устройстве и физических принципах работы лазеров и мазеров;

знать:

- ✓ основные механизмы уширения спектральных линий;
- ✓ методы создания инверсной населенности в среде;
- ✓ условия инверсии, насыщения, самовозбуждения;

уметь:

- ✓ находить решения и делать численные оценки инверсии населенностей и коэффициента усиления (поглощения) в лазерных средах;
- ✓ делать числовые оценки добротности различных резонаторов;
- ✓ производить численные оценки порога самовозбуждения, мощности колебаний, частоты генерации для квантовых усилителей и генераторов.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации 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 научные направления квантовой электроники и их содержание ✓ Уметь: проводить научные исследования в учебных лабораториях ✓ Владеть: навыками работы с литературой по предмету
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: решать задачи с использованием современных компьютерных средств ✓ Владеть: терминологией изучаемого предмета
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 лазеров и мазеров ✓ Уметь: работать с современным измерительным оборудованием ✓ Владеть: навыками эксплуатации квантовых приборов
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 компьютерной обработки результатов измерений
владение компьютером на уровне опытного пользователя, применению информационных технологий (ПК-3)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Знать: терминологию современных IT-технологий ✓ Уметь: выполнять моделирование работы элементов лазерных схем ✓ Владеть: навыками использования программных математических пакетов

1. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) 2 ЗЕ

4.2. Объем дисциплины по видам учебной работы (в часах) - 72

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
Общая трудоемкость дисциплины	72/72	7
Аудиторные занятия	36/36	36/36
Лекции	18/18	18
Лабораторные работы		
Практические занятия (ПЗ)	18/18	18
Самостоятельная работа	36	36
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	(зачет)	(зачет)

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

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения - очная)	
	Всего по плану	В т.ч. по семестрам
		7
Аудиторные занятия:	36/36	36/36
Лекции	18/18	18
Практические (семинарские) занятия	18/18	18
Лабораторные работы		
Самостоятельная работа	36/36	36
Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы: тестирование, контр. работа, коллоквиум, реферат и др. (не менее 2 видов)	тестирование, устный опрос решение задач	тестирование, устный опрос решение задач
Виды промежуточного контроля	Зачет	зачет
Всего часов по дисциплине	72	72

* 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 и разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий		
		Аудиторные занятия		Самостоятельная работа
		лекции	семинар	
1. Введение	8	2	2	4
2. Ширина линии	8	2	2	4
3. Усиление в активных средах	8	2	2	4
4. Двухуровневая система во внешнем электромагнитном поле (квантовомеханический подход)	8	2	2	4
5. Лазеры-усилители	8	2	2	4
6. Принципы генерации	8	2	2	4
7. Открытые резонаторы	8	2	2	4
8. Гауссовы пучки, устойчивость резонаторов	8	2	2	4
9. Синхронизация мод и модуляция добротности.	8	2	2	4
Итого	72	18	18	36

5. Содержание курса

1. Введение. Определение квантовой электроники. Когерентность индуцированного излучения. Соотношение неопределенностей энергия – время, естественное время жизни. Время релаксации. Ширина спектра спонтанного излучения.

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

2. Однородное и неоднородное уширения. Гауссова форма линии при доплеровском уширении.
3. Активная среда. Скоростные уравнения. Эффект насыщения.
4. Квантовое описание 2-х уравнений системы. Волновые функции стационарных состояний. Уравнение Шредингера при наличии возмущений, частота Раби.
5. Полоса пропускания усилителя бегущей волны. Шум квантового усилителя.
6. Условия генерации лазерного излучения.
7. Открытый резонатор, его добротность. Условия баланса амплитуд фаз при резонансе. Частота генерации.
8. Гауссовы пучки. Конфокальный резонатор. Устойчивость и неустойчивость открытых резонаторов.
9. Синхронизация мод. Модуляция добротности.

6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

- Тема 1.** Основные понятия квантовой электроники. Индуцированные и спонтанные переходы, коэффициенты Эйнштейна. Вывод формулы Планка.
- Тема 2.** Лоренцева и гауссова формы линии. Вероятность индуцированных переходов при монохроматическом излучении. Решение задач.
- Тема 3.** Поглощение и усиление. Эффект насыщения. Решение задач.
- Тема 4.** Квантовое описание 2-хуровневой системы. Доказательство ортономированности волновых функций. Решение задач.
- Тема 5.** Лазерные усилители. Решение задач.
- Тема 6.** Генерация в непрерывном и импульсном режимах. Решение задач.
- Тема 7.** Резонаторы. Решение задач.
- Тема 8.** Гауссовы пучки. Устойчивость и неустойчивость открытых резонаторов. Решение задач.
- Тема 9.** Синхронизация мод. Модуляция добротности. Решение задач.

7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ)


Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

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. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
3. Коэффициенты Эйнштейна. Когерентность индуцированного излучения.
4. Естественное время жизни, ширина спектра спонтанного излучения.
5. Однородное и неоднородное уширения. Лоренцева форма линии. Гауссова форма линии при доплеровском уширении.
6. Поглощение и усиление света (записать и объяснить условие для населенностей уровней).
7. Активная среда (определение, примеры).
8. Сечение поглощения. Эффект насыщения.
9. Плотность потока энергии насыщающего излучения. Энергия насыщения.


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

10. Непрерывный импульсный режимы генерации (определение, примеры лазеров).
11. Волновые функции стационарных состояний.
12. Уравнение Шредингера при наличии возмущений. Первое приближение теории возмущений.
13. Суперпозиция волновых функций стационарных состояний. Матричный элемент оператора дипольного момента перехода.
14. Осцилляции населенности верхнего уровня. Частота Раби.
15. Усиление и генерация. Полоса пропускания усилителя бегущей волны.
16. Шум квантового усилителя. Максимальная выходная мощность.
17. Импульсный режим, максимальная выходная энергия, изменение формы импульса при нелинейном усилении.
18. Открытый резонатор, его добротность. Регенерация резонатора при усилении.
19. Пропускной резонаторный усилитель. Отражательный усилитель.
20. Условия самовозбуждения. Условия резонанса.
21. Частота генерации. Максимальная выходная мощность.
22. Типы резонаторов в электронике. Переход к коротким волнам.
23. Падение добротности и сгущение резонансов замкнутых объемов.
24. Открытые резонаторы, прореживание спектра. Число Френеля.
25. Понятие моды резонатора. Время жизни моды пассивного резонатора.
26. Анализ Фокса-Ли. Интегральное уравнение открытого резонатора.
27. Гауссовы пучки. Конфокальный резонатор.
28. Устойчивость резонаторов.
29. Неустойчивость резонаторов. Модовый состав лазерного излучения.
30. Генерация в нескольких продольных модах, нерегулярность спектра излучения.
31. Затягивание мод. Синхронизация мод (пассивная и активная).
32. Модуляция добротности.
33. Затягивание частоты. Провал Лэмба.

10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Содержание, требования, условия и порядок организации самостоятельной работы обучающихся с учетом формы обучения определяются в соответствии с «Положением об организации самостоятельной работы обучающихся», утвержденным Ученым советом УлГУ (протокол №8/268 от 26.03.2019 г.).

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы	Объем в часах	Форма контроля
1. Введение. История квантовой электроники. Коэффициенты Эйнштейна.	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
2. Ширина линии излучения (поглощения)	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
3. Усиление в активных средах. Эффект насыщения.	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
4. Квантово-механический подход для описания 2-хуровневой системы.	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
5. Характеристики лазерных усилителей.	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
6. Генерация лазерного	Проработка учебного материала	4	Устный опрос,

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

излучения.			тест
7. Открытые резонаторы в квантовой электронике.	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
8. Гауссовы пучки в резонаторах. Устойчивые и неустойчивые резонаторы.	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест
9. Синхронизация Модуляция добротности.	Проработка учебного материала	4	Устный опрос, тест

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Список рекомендуемой литературы

основная:

1. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике : учеб. пособие для вузов / Карлов Николай Васильевич. - 2-е изд., испр., доп. - Москва : Наука, 1988.
2. Ахманов, С. А. Физическая оптика : учебник / С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин. — Москва : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2004. — 656 с. — ISBN 5-211-04858-X. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/13050.html>.

дополнительная:

1. Киселев Г. Л. Квантовая и оптическая электроника : учеб. пособие / Киселев Геннадий Леонидович. - 2-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург : Лань, 2011.
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>.

учебно-методическая:


1. Санников Д. Г. Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине «Квантовая электроника» для студентов бакалавриата по направлению 03.03.03 «Радиофизика» очной формы обучения / Д. Г. Санников; УлГУ, ИФФВТ, Каф. радиофизики и электроники. - Ульяновск : УлГУ, 2019. – Режим доступа: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/6679>.
2. Гераскин А. П. Квантовая радиофизика : спец. лабораторный практикум по курсу "Квантовая радиофизика" / А. П. Гераскин, Д. Г. Санников. - Ульяновск : УлГУ, 2006. - Режим доступа: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/655>.

Согласовано:





Должность сотрудника научной библиотеки _____ ФИО _____ подпись _____ дата _____

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

б) Программное обеспечение

Лицензионные математические пакеты: Maple, MathLab

в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронно-библиотечные системы:

1.1. IPRbooks : электронно-библиотечная система : сайт / группа компаний Ай Пи Ар Медиа. - Саратов, [2020]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. ЮРАЙТ : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. – Москва, [2020]. - URL: <https://www.biblio-online.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. Консультант студента : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Политехресурс. – Москва, [2020]. – URL: http://www.studentlibrary.ru/catalogue/switch_kit/x2019-128.html. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.4. Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС Лань. – Санкт-Петербург, [2020]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.5. Znanium.com : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Москва, [2020]. - URL: <http://znanium.com>. – Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.6. Clinical Collection : коллекция для медицинских университетов, клиник, медицинских библиотек // EBSCOhost : [портал]. – URL: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/search/advanced?vid=1&sid=e3ddf99-a1a7-46dd-a6eb-2185f3e0876a%40sessionmgr4008>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

2. **КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система. /ООО «Консультант Плюс» - Электрон. дан. - Москва : КонсультантПлюс, [2020].

3. Базы данных периодических изданий:

3.1. База данных периодических изданий : электронные журналы / ООО ИВИС. - Москва, [2020]. – URL: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

3.2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО Научная Электронная Библиотека. – Москва, [2020]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный


3.3. «Grebennikon» : электронная библиотека / ИД Гребенников. – Москва, [2020]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

4. **Национальная электронная библиотека** : электронная библиотека : федеральная государственная информационная система : сайт / Министерство культуры РФ ; РГБ. – Москва, [2020]. – URL: <https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

5. **SMART Imagebase** // EBSCOhost : [портал]. – URL: <https://ebsco.smartimagebase.com/?TOKEN=EBSCO-1a2ff8c55aa76d8229047223a7d6dc9c&custid=s6895741>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Изображение : электронные.

6. Федеральные информационно-образовательные порталы:

6.1. **Единое окно доступа к образовательным ресурсам** : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: <http://window.edu.ru/>. – Текст : электронный.

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

6.2. Российское образование : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: <http://www.edu.ru>. – Текст : электронный.

7. Образовательные ресурсы УлГУ:

7.1. Электронная библиотека УлГУ : модуль АБИС Мега-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

7.2. Образовательный портал УлГУ. – URL: <http://edu.ulsu.ru>. – Режим доступа : для зарегистр. пользователей. – Текст : электронный.

Согласовано:

Техник / *каб.* | *Бродурица И.С.* | *Терех*
 Должность сотрудника УИТиТ _____ ФИО _____ подпись _____ дата _____

11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

12. 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.Г. Санников

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

должность

ФИО