


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

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением Ученого совета инженерно-физического  
факультета высоких технологий  
от « 18 » мая 2021 г., протокол № 10

Председатель \_\_\_\_\_ /В.В. Рыбин/  
(подпись)  
« 18 » мая 2021 г.



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплина	<b><u>КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА</u></b>
Факультет	Инженерно-физический факультет высоких технологий
Кафедра	Физического материаловедения
Курс	4

Направление (специальность): **28.03.02 «Наноинженерия»**  
*код направления (специальности), полное наименование*

Направленность  
(профиль/специализация) **Нанотехнологии и наноматериалы**  
*полное наименование*


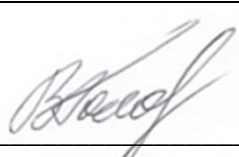
Форма обучения **очная**  
*очная, заочная, очно-заочная (указать только те, которые реализуются)*

Дата введения в учебный процесс УлГУ: « 01 » сентября 2021 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 Физического материаловедения
 _____ / Гурин Н.Г./ (подпись) ФИО « 11 » мая 2021 г.	 _____ /В.Н. Голованов/ (подпись) (ФИО) « 30 » апреля 2021 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 к вариативной части блока 1 цикла подготовки бакалавров по направлению **28.03.02. «Наноинженерия»**.


Освоение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин:

- Начертательная геометрия
- Инженерная графика
- Информационные технологии управления
- Дифференциальные и интегральные уравнения
- Микро- и наносхемотехника
- Теория вероятностей и математическая статистика
- Управление стартапами в технологическом предпринимательстве
- Управление стартапами в социальном предпринимательстве
- Проектная деятельность
- Распространение электромагнитных волн в однородных, периодических и наноструктурах

Результаты освоения дисциплины будут необходимы для прохождения производственной и преддипломной практик, а также государственной итоговой аттестации.

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

Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций
ПК-1 Проектирование конструкторской и технологической документации при изготовлении наноматериалов и наноструктур	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. Владеть: навыками эксплуатации квантовых приборов

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

#### 4. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) 3 ЗЕ

##### 4.2. Объем дисциплины по видам учебной работы (в часах) - 108

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения - очная)	
	Всего по плану	В т.ч. по семестрам
		7
Контактная работа обучающихся с преподавателем в соответствии с УП	54/54	54/54
Аудиторные занятия:		
• Лекции (в т.ч. 0 ПрП)*	18/18	18/18
• практические и семинарские занятия (в т.ч. 0 ПрП)*	18/18	18/18
• лабораторные работы, практикумы (в т.ч. – ПрП)*	18/18	18/18
Самостоятельная работа	54/54	54/54
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 промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	Зачет	Зачет
<b>Всего часов по дисциплине</b>	<b>108/108</b>	<b>108/108</b>


*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*

*\*часы ПрП по дисциплине указываются в соответствии с УП, в случае, если дисциплиной предусмотрено выполнение отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью обучающихся.*

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

Форма обучения: очная


Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий					Форма текущего контроля знаний
		Аудиторные занятия			Занятия в интерактивной форме	Самостоятельная работа	
		Лекции	Практические занятия, семинары	Лабораторные работы, практикумы			
1	2	3	4	5	6	7	8

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

1. Введение	12	2	2	2	–	6	устный опрос, решение задач
2. Ширина линии	12	2	2	2	–	6	устный опрос, решение задач
3. Усиление в активных средах	12	2	2	2	–	6	устный опрос, решение задач
4. Двухуровневая система во внешнем электромагнитном поле (квантовомеханический подход)	12	2	2	2	–	6	устный опрос, решение задач
5. Лазеры- усилители	12	2	2	2	–	6	устный опрос, решение задач
6. Принципы генерации	12	2	2	2	–	6	устный опрос, решение задач
7. Открытые резонаторы	12	2	2	2	–	6	устный опрос, решение задач
8. Гауссовы пучки, устойчивость резонаторов	12	2	2	2	–	6	устный опрос, решение задач
9. Синхронизация мод и модуляция добротности.	12	2	2	2	–	6	устный опрос, решение задач
<b>Итого:</b>	<b>108</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>–</b>	<b>54</b>	

## 5. Содержание курса

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

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

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.
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.

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


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	6	Устный опрос, тест
2. Ширина линии излучения (поглощения)	Проработка учебного материала	6	Устный опрос, тест
3. Усиление в активных средах. Эффект насыщения.	Проработка учебного материала	6	Устный опрос, тест
4. Квантово-механический подход для описания 2-хуровневой системы.	Проработка учебного материала	6	Устный опрос, тест
5. Характеристики лазерных усилителей.	Проработка учебного материала	6	Устный опрос, тест
6. Генерация лазерного излучения.	Проработка учебного материала	6	Устный опрос, тест
7. Открытые резонаторы в квантовой электронике.	Проработка учебного материала	6	Устный опрос, тест
8. Гауссовы пучки в резонаторах. Устойчивые и неустойчивые резонаторы.	Проработка учебного материала	6	Устный опрос, тест
9. Синхронизация мод. Модуляция добротности.	Проработка учебного материала	6	Устный опрос, тест



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

## 11. 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

### 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, [2021]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.



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

1.2. ЮРАЙТ : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. – Москва, [2021]. - URL: <https://urait.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. Консультант студента : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Политехресурс. – Москва, [2021]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.4. Консультант врача : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг. – Москва, [2021]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Букап. – Томск, [2021]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.6. Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС Лань. – Санкт-Петербург, [2021]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.7. **Znanium.com** : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Москва, [2021]. - URL: <http://znanium.com> . – Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.8. Clinical Collection : коллекция для медицинских университетов, клиник, медицинских библиотек // EBSCOhost : [портал]. – URL: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/search/advanced?vid=1&sid=9f57a3e1-1191-414b-8763-e97828f9f7e1%40sessionmgr102> . – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

1.9. Русский язык как иностранный : электронно-образовательный ресурс для иностранных студентов : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». – Саратов, [2021]. – URL: <https://ros-edu.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

**2. КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система. /ООО «Консультант Плюс» - Электрон. дан. - Москва : КонсультантПлюс, [2021].

### **3. Базы данных периодических изданий:**

3.1. База данных периодических изданий : электронные журналы / ООО ИВИС. - Москва, [2021]. – 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, [2021]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный

3.3. «Grebennikon» : электронная библиотека / ИД Гребенников. – Москва, [2021]. – 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, [2021]. – URL: <https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

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

### **6. Федеральные информационно-образовательные порталы:**

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


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

6.2. [Российское образование](http://www.edu.ru/) : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: [http://www.edu.ru.](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.

Согласовано:

Зам. начальника / Клочкова А.В. /  / \_\_\_\_\_  
Должность сотрудника УИТиТ / 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