

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Институт физики

УТВЕРЖДАЮ
Директор института
д.ф.-м.н., проф. Вениг С.Б.



2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Квантовая электроника

Направление подготовки бакалавриата
03.03.03 Радиофизика

Профили подготовки бакалавриата
Физика и техника электронных средств

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
очная

Саратов,
2021

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Глухова Ольга Евгеньевна		16.09.2021
Председатель НМК	Скрипаль Анатолий Владимирович		16.09.2021
Заведующий кафедрой	Глухова Ольга Евгеньевна		16.09.2021
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Квантовая электроника» являются:

- формирование у студентов современного представления о квантовой природе электромагнитного поля, об однофотонном и многофотонном взаимодействии поля с веществом, усилении и генерации когерентного электромагнитного излучения в квантовых усилителях и генераторах радио- и оптического диапазонов длин волн;
- ознакомление студентов с основами квантовой теории взаимодействия поля с веществом, с наиболее яркими проявлениями квантовых эффектов и их теоретическим описанием.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Квантовая электроника» является обязательной дисциплиной и относится к базовой части Блока 1 «Дисциплины (модули)» ООП профиля «Физика и электронных средств» направления подготовки бакалавров 03.03.03. «Радиофизика». Преподавание дисциплины осуществляется в 7 семестре. Для освоения дисциплины необходимы знания и навыки, полученные студентами ранее в ходе изучения дисциплин «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Методы математической физики», «Квантовая механика». В результате освоения данной дисциплины студенты приобретают знания и навыки, которые помогут студентам подготовить выпускную квалификационную работу. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины «Квантовая электроника» происходит формирование у обучающегося следующих *компетенций*:

- 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).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные понятия и постулаты квантовой электроники;
- основные положения теории возмущений;
- Механизмы уширения спектральных линий;

Уметь:

- применять теорию квантовой радиофизики для обеспечения функционирования и достижения требуемых параметров излучения квантовых генераторов;
- оценивать эффективность различных методов создания инверсной населенности в активной среде квантового генератора;

Владеть:

- навыками решения задач по квантовой теории излучения и поглощения электромагнитных волн веществом;
- навыками изучения квантовых процессов с участием фотонов.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции и	лабораторные	практические	КСР	
1	Раздел 1. Основные понятия и постулаты квантовой электроники.	7	1-3	6	0	4	6	фронтальный опрос
2	Раздел 2. Теория возмущений.	7	4-6	6	0	4	12	фронтальный опрос
3	Раздел 3. Взаимодействие электромагнитного поля с веществом (атомной системой).	7	7-10	8	0	4	12	фронтальный опрос
4	Раздел 4. Механизмы уширения спектральных линий.	7	11-14	8	0	4	12	фронтальный опрос, написание реферата
5	Раздел 5. Квантовые генераторы.	7	15-18	8	0	2	12	фронтальный опрос
Итого		7	18	36	0	18	54	Экзамен (36 часов)

Содержание учебной дисциплины

7 семестр

Раздел 1. Основные понятия и постулаты квантовой электроники

Введение. Гармонический осциллятор. Техника вторичного квантования. Статистика Бозе-частиц. Статистика Ферми-частиц. Вторичное квантование нерелятивистских систем. Оператор Гамильтона в представлении операторов рождения и уничтожения. Квантование системы гармонических осцилляторов. Квантование релятивистских полей. Полное уравнение Шредингера.

Раздел 2. Теория возмущений

Стационарная теория возмущений. Временная теория возмущений. Гармоническое периодическое возмущение. Ступенчатая функция времени. Пределы «золотого правила» Ферми. Матрица плотности.

Раздел 3. Взаимодействие электромагнитного поля с веществом (атомной системой)

Электромагнитное поле и его энергия. Квантование мод электромагнитного поля. Операторы рождения и уничтожения в случае электромагнитного поля. Квантование бегущих волн. Излучение абсолютно черного тела. Средняя тепловая энергия электромагнитного поля. Индуцированные переходы атомной системы. Спонтанные переходы атомной системы. Квантовый подход в описании спонтанных переходов.

Раздел 4. Механизмы уширения спектральных линий

Понятие когерентности излучения. Когерентность световых волн (временная и пространственная). Спектральный контур линии. Естественное, доплеровское и ударное уширение. Физические механизмы однородного и неоднородного уширения.

Раздел 5. Квантовые генераторы

Основные методы создания инверсии в средах. Квантовые модели наноструктур активной среды. Типы квантовых усилителей. Переход от квантового усилителя к генератору. Резонатор, его функции и параметры. Резонаторы СВЧ диапазона. Особенности создания инверсии в СВЧ диапазоне (типы уровней, процессы их опустошения, величина инверсии, методы создания инверсии). Внутренние и внешние параметры квантового генератора.

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

При реализации различных видов учебной работы используются следующие современные образовательные технологии:

- Информационно-коммуникационные технологии;
- Проектные методы обучения;
- Исследовательские методы в обучении;
- Разноуровневое обучение.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика» реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерные симуляции, разбор конкретных ситуаций, работа над проектами) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Эффективность применения интерактивных форм обучения обеспечивается реализацией следующих условий:

- нахождение проблемной формулировки темы занятий, заданий, вопросов;
- мониторинг личностных особенностей и профессиональной направленности студентов;
- оценка результата совместной деятельности.

Использование интерактивных форм и методов обучения направлено на достижение ряда важнейших образовательных целей:

- стимулирование мотивации и интереса к конкретной дисциплине в общеобразовательном, общекультурном и профессиональном плане;
- повышение уровня активности и самостоятельности обучающихся;
- развитие навыков анализа, критичности мышления, взаимодействия, коммуникации.

В случае наличия среди обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья применяются следующие адаптивные образовательные технологии:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать пособия, выполненные шрифтом Брайля, крупноформатные наглядные материалы и аудиофайлы;
- обязательное звуковое сопровождение демонстрационного или иллюстративного материала для лиц с ограниченными возможностями по слуху;
- создание условий для организации коллективных занятий в студенческих группах, где инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью оказывалась бы помощь для получения информации;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Важную роль при освоении данной дисциплины играет самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа призвана способствовать:

- углублению и расширению знаний в области квантовой электроники;
- овладению приёмами процесса познания;

- формированию интереса к познавательной деятельности;
- развитию познавательных способностей.

Самостоятельная работа студентов имеет основную цель – обеспечить качество подготовки выпускников в соответствии с требованиями основной образовательной программы по направлению подготовки бакалавров 03.03.03 «Радиофизика».

К самостоятельной работе относятся:

- самостоятельная работа на аудиторных занятиях;
- внеаудиторная самостоятельная работа.

В процессе обучения предусмотрены следующие виды самостоятельной работы обучающегося:

- работа с конспектами лекций;
- проработка пройденных лекционных материалов по учебникам и пособиями на основании вопросов, подготовленных преподавателем;
- проработка дополнительных тем, не вошедших в лекционный материал, но обязательных согласно учебной программе дисциплины;
- самостоятельно решение сформулированных задач по основным разделам курса;
- изучение обязательной и дополнительной литературы;
- написание рефератов по отдельным разделам дисциплины;
- подготовка к экзамену.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

- рабочая программа дисциплины;
- учебники (приведены в списке основной и дополнительной литературы);
- контрольные вопросы;
- темы рефератов.

Методические указания к практическим занятиям

Приведены в ФОС для данной дисциплины.

Методические указания по выполнению заданий самостоятельной работы

Приведены в ФОС для данной дисциплины.

Контрольные вопросы

1. Гармонический осциллятор.
2. Техника вторичного квантования.
3. Статистика Бозе-частиц. Статистика Ферми-частиц.
4. Вторичное квантование нерелятивистских систем.
5. Оператор Гамильтона в представлении операторов рождения и уничтожения.
6. Квантование системы гармонических осцилляторов.
7. Квантование релятивистских полей.

8. Полное уравнение Шредингера.
9. Стационарная теория возмущений.
10. Временная теория возмущений.
11. Гармоническое периодическое возмущение.
12. Ступенчатая функция времени
13. Пределы «золотого правила» Ферми.
14. Матрица плотности.
15. Электромагнитное поле и его энергия.
16. Квантование мод электромагнитного поля.
17. Операторы рождения и уничтожения в случае электромагнитного поля
18. Квантование бегущих волн.
19. Излучение абсолютно черного тела.
20. Средняя тепловая энергия электромагнитного поля.
21. Индуцированные переходы атомной системы.
22. Спонтанные переходы атомной системы.
23. Квантовый подход в описании спонтанных переходах.
24. Понятие когерентности излучения.
25. Когерентность световых волн (временная и пространственная).
Спектральный контур линии.
26. Естественное, доплеровское и ударное уширение.
27. Физические механизмы однородного и неоднородного уширения.
28. Основные методы создания инверсии в средах.
29. Квантовые модели наноструктур активной среды.
30. Типы квантовых усилителей.
31. Переход от квантового усилителя к генератору.
32. Резонатор, его функции и параметры.
33. Резонаторы СВЧ диапазона.
34. Особенности создания инверсии в СВЧ диапазоне (типы уровней, процессы их опустошения, величина инверсии, методы создания инверсии). Внутренние и внешние параметры квантового генератора.

Темы рефератов

1. Распространение оптических пучков в однородных и линзоподобных средах.
2. Шумы в лазерных усилителях и генераторах.
3. Модуляция света.
4. Нелинейная оптика. Генерация второй гармоники.
5. Параметрическая генерация и усиление.
6. Вынужденное комбинационное рассеяние.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Баллы по соответствующим видам учебной деятельности заносятся в столбцы 2–7, для результатов промежуточной аттестации предусмотрен столбец 8.

Таблица 1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
7	10	0	30	20	0	0	40	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

Лекции

Посещаемость, активность; количество баллов за семестр – от 0 до 10.

Критерии оценки:

- не более 50% от числа занятий в семестре – 0 баллов,
- от 51% до 70 % – 3 балла;
- от 71% до 90% – 6 баллов;
- от 91 до 100% занятий – 10 баллов.

Лабораторные занятия

Не предусмотрены.

Практические занятия

Выполнение практических заданий; количество баллов (за один семестр) – от 0 до 30.

Критерий оценки:

- при полностью правильном и своевременном выполнении студентом всех практических заданий – 30 баллов;
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 90%) – 25 баллов;
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 80%) – 20 баллов;
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 70%) – 15 баллов
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 60%) – 10 баллов
- при частичном выполнении (правильно выполненных заданий – не менее 51%) – 5 баллов
- в остальных случаях – 0 баллов.

Самостоятельная работа

Написание реферата по одному из разделов дисциплины; количество баллов – от 0 до 20.

Критерий оценки:

- при полностью правильном оформлении и сдаче в срок реферата – 20 баллов;

- при допущении незначительных недочетов в оформлении и сдаче в срок реферата – 14-15 баллов;
- при допущении существенных недочетов в оформлении и сдаче в срок реферата – 9-10 баллов;
- при допущении существенных недочетов в оформлении и несвоевременной сдаче реферата – 5 баллов;
- в остальных случаях – 0 баллов.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрены.

Другие виды учебной деятельности

Не предусмотрены.

Промежуточная аттестация

Форма промежуточной аттестации – экзамен; количество баллов – от 0 до 40.

Экзамен проводится в устной форме в виде ответов на вопросы билета и два дополнительных вопроса из перечня вопросов к промежуточной аттестации. Билет содержит два вопроса из перечня вопросов к промежуточной аттестации.

Критерий оценки ответа на каждый вопрос при проведении промежуточной аттестации:

- на вопрос дан правильный, полный, развернутый ответ (допускаются незначительные погрешности) – 9-10 баллов;
- на вопрос дан правильный, но неполный ответ (например, при доказательстве теоремы, изложении метода отсутствуют отдельные логические шаги; допущена ошибка при вычислении; имеются другие неточности) – 6-8 баллов;
- на вопрос дан краткий ответ, содержащий только верно сформулированные факты (допускаются незначительные погрешности) – 5 баллов;
- в остальных случаях – 0 баллов.

Максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за один семестр по дисциплине «Квантовая электроника» составляет 100 баллов.

Таблица 2. Пересчет полученной студентом итоговой суммы баллов за семестр по дисциплине «Квантовая электроника» в оценку (экзамен):

Итоговая сумма баллов	Оценка по дисциплине
0 – 50	неудовлетворительно
51-70	удовлетворительно
71-90	хорошо
91 – 100	отлично

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) литература

1. Барановский, В.И. Квантовая механика и квантовая химия: учебное пособие / В.И. Барановский. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2021. - 428 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/206195>. В ЭБС «Лань».
2. Бурмистрова, Н.А. Квантовая механика и квантовая химия: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 04.03.01 "Химия" / Н. А. Бурмистрова, М. В. Пожаров, М. П. Смотров; Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского. - Саратов: Издательство Саратовского университета, 2020. - 65 с. В ЗНБ СГУ – 38 экз.
3. Квантовая электроника: учебно-методическое пособие / В. И. Барышников, Т. А. Колесникова. - Иркутск: ИрГУПС, 2017. - 76 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/134655>. В ЭБС «Лань».
4. Неволин, В. К. Квантовый транспорт в устройствах электроники / В.К. Неволин - Москва: Техносфера, 2012. - 88 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/16976.html>.
5. Цирельсон, В. Г. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела: учебное пособие для вузов / Цирельсон В.Г. - Москва: Лаборатория знаний, 2021. - 520 с. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/105769.html>.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Электронная библиотека СГУ <http://library.sgu.ru/>
2. Учебная физико-математическая библиотека – EqWorld <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>
3. Библиотека Естественных Наук РАН <http://www.benran.ru/>
4. Электронная библиотека «Наука и техника» <http://n-t.ru/>
5. Программное обеспечение (ПО): ОС Windows (лицензионное ПО) или ОС Unix/Linux (свободное ПО).
6. Microsoft Office (лицензионное ПО) или OpenOffice/LibreOffice (свободное ПО).
7. Браузеры InternetExplorer, GoogleChrome (свободное ПО).

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- мультимедийный проектор;
- персональный компьютер, ноутбук;
- дисплейный класс;
- белая маркерная доска.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению «Радиофизика», профиль «Физика и электронных средств».

Автор: заведующий кафедрой радиотехники и электродинамики, д.ф.-м.н., профессор О.Е. Глухова.

Программа одобрена на заседании кафедры радиотехники и электродинамики от «13» июня 2016 года, протокол № 10.

Актуализирована и одобрена на заседании кафедры радиотехники и электродинамики в 2021 г. (протокол № 3 от 16.09.2021 года) в связи с организацией Института физики.