

2015

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Владимирский государственный университет**  
**имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УМР

А.А.Панфилов

« 31 » 03 2015 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

КВАНТОВАЯ РАДИОФИЗИКА  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки: 11.03.01 "Радиотехника"

Профиль/программа подготовки :

Уровень высшего образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

| Семестр | Трудоемкость зач.<br>ед./ час. | Лекции,<br>час. | Практич.<br>занятия,<br>час. | Лаборат.<br>работы,<br>час. | СРС,<br>час. | Форма<br>промежуточного<br>контроля<br>(экз./зачет) |
|---------|--------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------|---|
| 3       | 4/144                          | 18              | 36                           | -                           | 90           | Зач. с оц.  |
| Итого   | 4/144                          | 18              | 36                           | -                           | 90           | Зач. с оц.  |

Владимир 2015

## **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью преподавания дисциплины "Квантовая радиофизика" является изучение методов квантовой механики, квантовой статистики, квантовой электродинамики. При этом большое внимание уделяется решению конкретных задач квантовой механики: частицы в потенциальной яме, туннельному эффекту, строению и свойствам атомов, молекул, твердых тел и электромагнитного поля, а также анализу устройств, работающих на принципах квантовой физики: стандарты частоты, туннельные микроскопы, квантовые генераторы электромагнитного излучения.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО**

Дисциплина "Квантовая радиофизика" является обязательной дисциплиной в рамках вариативной части (Б1.В.ОД.2).

Для успешного усвоения студентами курса "Квантовая радиофизика" необходимо знание курсов: "Высшая математика" (методы решения дифференциальных и алгебраических уравнений, теория вероятности), "Физика" (фундаментальные законы в области термодинамики, электричества и магнетизма), "Квантовая физика (курс общей физики)", "Радиофизика", "Электроника". Полученные при изучении курса студентами знания используются в дисциплинах: "Полупроводниковые приборы", "Радиофизические методы зондирования", "Устройства приема и обработки сигналов", "Устройства генерирования и формирования сигналов", "Основы метрологии и измерений". Могут использоваться в новых курсах физического направления "Наноэлектроника", "Нанотехнологии" и при подготовке Выпускной квалификационной работы.

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Процесс изучения дисциплины "Квантовая радиофизика" направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки:

а) общекультурных (ОК):

способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

б) общепрофессиональных (ОПК):

способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1).

В результате изучения дисциплины студент должен:

**знать:**

- о физических процессах и явлениях в микромире, а также о современном состоянии и проблемах квантовой физики, принципах построения систем в радиотехнике и сферах применения устройств для получения информации о микромире.
- принципы построения устройств для изучения квантовомеханических свойств вещества;

**уметь:**

- самостоятельно анализировать новые профессиональные проблемы в области микро- и наноэлектроники;
- использовать современные средства вычислительной техники;
- самостоятельно работать со специальной литературой.

**владеть:**

- методами решения задач по квантовой физике;
- методами экспериментальных исследований и испытаний устройств квантовой радиофизики;

#### 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) |                      |                     |                    |     |         | Объем учебной работы с применением интерактивных методов (в часах / %) | Формы текущего контроля успеваемости и (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|-------|--|---------|-----------------|--|----------------------|---------------------|--------------------|-----|---------|--|---|
|       |  |         |                 | Лекции   | Практические занятия | Лабораторные работы | Контрольные работы | СРС | КП / КР |  |   |
| 1     | Введение в квантовую механику. Принципы неопределенности, соответствия и дополнительности  | 3       | 1               | 1  | 6                    |                     |                    | 8   |         | 2/29   |   |
| 2     | Математический аппарат квантовой механики. Операторы. Матричное описание квантовомеханических систем. Матрица плотности.                                     | 3       | 2<br>3          | 2  | 6                    |                     |                    | 10  |         | 4/50   |   |
| 3     | Квантовомеханические задачи. Уравнение Шредингера. Энергетические уровни атомов и молекул. Спин. Эффекты Зеемана.  | 3       | 4<br>5          | 2  | 6                    |                     |                    | 10  |         | 4/50   | Рейтинг-контроль №1   |
| 4     | Строение и свойства вещества. Строение атомных ядер. Энергетические уровни ядер. Зонная теория твердого тела; диэлектрические и магнитные свойства вещества. | 3       | 6<br>7          | 2  | 6                    |                     |                    | 10  |         | 2/25   |   |
| 5     | Квантовые статистики.  | 3       | 8<br>9          | 2  | 6                    |                     |                    | 10  |         | 2/25   |   |

|              |  |          |           |           |           |  |           |  |              |                     |
|--------------|--|----------|-----------|-----------|-----------|--|-----------|--|--------------|---------------------|
|              | Понятие о сверхпроводимости.<br>Индукированное излучение.<br>Поглощение и усиление электромагнитного излучения.<br>Явления в плазме, явления в контактах |          |           |           |           |  |           |  |              |                     |
| 6            | Физические принципы работы приборов квантовой электроники.<br>Методы рассеяния.<br>Измерения магнитных моментов частиц.                                  | 3        | 10<br>11  | 2         |           |  | 10        |  |              | Рейтинг-контроль №2 |
| 7            | Приборы ЯМР, ЭПР:<br>спектрометры, магнитометры.   | 3        | 12<br>13  | 1         |           |  | 8         |  |              |                     |
| 8            | Ферромагнетики и их взаимодействие с ЭМП;<br>цезиевый и рубидиевый стандарты частоты.  | 3        | 14<br>15  | 2         | 6         |  | 8         |  | 2/25         |                     |
| 9            | Квантовые усилители и генераторы радиочастотного диапазона   | 3        | 16<br>17  | 2         |           |  | 8         |  |              |                     |
| 10           | Оптические квантовые генераторы на твердом теле и газовой среде.<br>Полупроводниковые оптические генераторы и их применение.                             | 3        | 18        | 2         |           |  | 8         |  |              | Рейтинг-контроль №3 |
| <b>Всего</b> |  | <b>1</b> | <b>18</b> | <b>18</b> | <b>36</b> |  | <b>90</b> |  | <b>16/30</b> | <b>Зач. с оц.</b>   |

### Практические занятия

Закрепление теоретического материала по темам 1-5 и 8 проводится на практических занятиях в объеме 36 аудиторных часов.

Темы практических занятий:

| №      | Тема практического занятия                                  | Кол-во часов |
|--------|---|--------------|
| 1      | Постулаты квантовой механики.<br>Математический аппарат КМ. | 6            |
| 2      | Уравнение Шредингера.                                       | 6            |
| 3      | КМ-задачи.  | 6            |
| 4      | Атом водорода. Спектры.                                     | 6            |
| 5      | Классическая и квантовые статистики.                        | 6            |
| 6      | Квантовые генераторы. Основы ФТТ. Лазеры.                   | 6            |
| Всего: |   | 36           |

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### 5.1. Активные и интерактивные формы обучения

С целью формирования и развития профессиональных навыков студентов при изучении дисциплины "Квантовая радиофизика" в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой: лекционно-семинарская система обучения (традиционные лекционные и семинарские практические занятия), case-study (получение на практических занятиях учебных кейсов с постановкой задачи и глубокой проработкой проблемы разработки и реализации требуемой имитационной модели); мастер-классы (демонстрация на практических занятиях применения приёмов, технологий, методов имитационного моделирования на конкретных задачах (кейсах); технология развития критического мышления (привитие студентам навыков критической оценки разработанных ими имитационных моделей).

Объем занятий, проводимых в интерактивных формах, составляет 16 часов (30%) аудиторного времени.

### 5.2. Самостоятельная работа студентов

Самостоятельная (внеаудиторная) работа является основной формой самообразования студента в соответствии с целями подготовки бакалавров по направлению 11.03.01 "Радиотехника". Основа самостоятельной работы - изучение литературы по рекомендованным источникам и конспекту лекций. Помимо этого, студентам для

осуществления самостоятельной работы обеспечен доступ к компьютеру с выходом в Интернет в порядке, установленном в Университете. В результате выполнения самостоятельной работы студенты должны расширить свои знания в каждом из разделов изучаемой дисциплины "Квантовая радиофизика" на базе передовых достижений в области физики и наноэлектроники.

### **5.3. Мультимедийные технологии обучения**

Все лекционные занятия проводятся в мультимедийной аудитории с использованием компьютерного проектора и возможностью расширения рабочего стола компьютера преподавателя на экраны рабочих станций обучающихся. Студентам предоставляется компьютерный курс лекций.

### **5.4. Рейтинговая система обучения**

В качестве оценочного средства для текущего контроля знаний по итогам освоения модулей дисциплины "Квантовая радиофизика" используется промежуточный рейтинг-контроль.

Рейтинг-контроль проводится три раза за семестр. Он предполагает оценку суммарных баллов по следующим составляющим: активность в ходе освоения лекционного материала; качество самостоятельной работы студента; уровень активности на аудиторных занятиях и результаты прохождения рейтинг-контроля.

В качестве оценочного средства для рубежного контроля знаний по итогам освоения учебной дисциплины "Квантовая радиофизика" используется зачет с оценкой (3 семестр).

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **6.1. Перечень вопросов для проведения рейтинг-контроля:**

#### **Рейтинг-контроль №1:**

1. Тепловое излучение. Закон Кирхгофа.
2. Законы теплового излучения абсолютно чёрного тела.
3. Тепловое излучение. Законы Стефана-Больцмана и Вина
4. Тепловое излучение. Исследования Рэлея и Джинса.
5. Тепловое излучение. Формула Планка.
6. Фотоэффект.

7. Масса и импульс фотона.
8. Эффект Комптона.
9. Обратный эффект Комптона.
10. Примеры рассеяния фотонов. Давление света.
11. Примеры рассеяния фотонов .Эффект Доплера.
12. Тормозное рентгеновское излучение.
13. Корпускулярно-волновой дуализм света.

### **Рейтинг-контроль №2:**

1. Двойственная корпускулярно-волновая природа частиц вещества
2. Опыты Дэвиссона и Джермера
3. О преломлении дебройлевских волн.
4. Опыты Томсона и Тартаковского.
5. Опыты с нейтронами и молекулами.
6. Опыты с одиночными электронами.
7. Опыты Штерна.
8. Свойства волн де Бройля.
9. Волновая функция.
10. Принцип неопределенности.
11. Уравнение Шредингера.
12. Частица в потенциальном ящике с бесконечно высокими стенками.
13. Движение частицы в потенциальном ящике конечной глубины.
14. Прохождение частицы через потенциальный барьер.
15. Гармонический осциллятор.

### **Рейтинг-контроль №3:**

1. Ядерная модель атома. Прицельный параметр.
2. Формула Резерфорда.
3. Эффективное сечение.
4. Проверка формулы Резерфорда.
5. Постулаты Бора.
6. Опыты Франка и Герца.
7. Боровская модель атома водорода.
8. Магнитный момент атома водорода.
9. Волновая функция системы микрочастиц.



10. Атом водорода в квантовой механике.
11. Квантование энергии.
12. Квантовые числа.
13. Кратность вырождения.
14. Спектр. Правило отбора.
15. Символы состояний.
16.  $1s$  – состояние электрона в атоме водорода.
17. Спин электрона. Спиновое квантовое число.
18. Тождественность частиц одного и того же вида и принцип Паули.
19. Периодическая таблица Менделеева.
20. Ионная и ковалентная связь.
21. Молекула водорода.
22. Обменный интеграл.
23. Молекулярные спектры.
24. Поглощение. Спонтанное и вынужденное излучения.
25. Оптические квантовые генераторы (Лазеры).

**6.2. Перечень тем для самостоятельного изучения в рамках СРС:**

1. Постулаты квантовой механики.
2. Оператор плотности.
3. Продольная и поперечная релаксация.
4. Уравнение для средних.
5. Представление взаимодействия.
6. Гармонический осциллятор.
7. Радиационный осциллятор.
8. Излучение черного тела.
9. Потенциалы электромагнитного поля.
10. Гамильтониан заряженной частицы в электромагнитном поле.
11. Дипольное взаимодействие.
12. Вероятности квантовых переходов.
13. Спонтанные и индуцированные переходы.
14. Естественная ширина линии излучения.
15. Обобщенная восприимчивость.
16. Отклик и релаксация квантовых систем.

17. Восприимчивость и проницаемость квантовых систем.
18. Флуктуационно-диссипационная теорема.
19. Квантовая теория дисперсии.
20. Нелинейная восприимчивость.
21. Нелинейная поляризация.
22. Многофотонные процессы.
23. Уравнения Блоха.
24. Электронный парамагнитный резонанс.
25. Радиоспектроскопия.

### **6.3. Вопросы для проведения зачета с оценкой:**

1. Постулаты и принципы квантовой механики. Принцип неопределенности.
2. Матричное описание квантовых систем.
3. Операторы квантовой механики. Коммутативность и некоммутативность. Уравнения Шредингера и Дирака.
4. Энергетические уровни атомов и молекул.
5. Векторная модель атома. Магнитные и электрические свойства вещества.
6. Атомы в магнитном поле. Эффекты Зеемана. Спин. Опыты Штерна и Герлаха.
7. Строение вещества. Типы связей в веществе. Периодическая система элементов. Молекулы. Твердое тело.
8. Энергетические уровни ядра. Ядерный магнитный резонанс.
9. Метод рассеяния. Экспериментальное определение магнитных моментов частиц вещества.
10. Электронный парамагнитный резонанс. Спектрометры. Стандарты частоты.
11. Принцип тождественности микрообъектов. Фермионы и бозоны.
12. Статистика фермионов.
13. Энергия Ферми, температура Ферми и поверхность Ферми в твердом теле.
14. Статистика бозонов.
15. Поглощение и усиление электромагнитного излучения веществом.
16. Квантовые усилители и генераторы радиочастотного диапазона.
17. Сверхпроводимость. Сверхтекучесть квантовой жидкости.
18. Оптические квантовые генераторы на твердом теле, газовой среде и полупроводниках. Их применение.
19. Квантовомеханическая задача: атом водорода.
20. Квантовомеханическая задача: частица в потенциальном ящике.

21. Квантовомеханическая задача: квантовомеханический осциллятор.
22. Квантовомеханическая задача: туннельный эффект.
23. Туннельный микроскоп. Явления в плазме. Явления в контактах.
24. Понятие об эффектах Мессбауэра и Допплера.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины "Квантовая радиофизика" включает в себя:

- учебную литературу по тематике дисциплины, в достаточном количестве имеющуюся в фондах научно-технической библиотеки Университета;
- периодические издания по тематике дисциплины в фондах научно-технической библиотеки университета, в которых освещаются современное состояние и тенденции развития основных направлений в области квантовой физики, публикуются оригинальные и обзорные статьи по проблемам разработки и практического применения электронных устройств, работающих на базе рассматриваемых в курсе эффектов, а также справочные материалы и информация о научно-технических и учебных мероприятиях, проводимых в рамках данной проблематики;
- Интернет-ресурсы по тематике дисциплины.

*Основная литература:*

1. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы [Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов / И.Е. Иродов. - 4-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. - 256 с.: ил. - ISBN 978-5-9963-2257-2.
2. Квантовая физика и нанотехнологии. Издание 2-е, испр. и доп. Москва: Техносфера, 2013. - 128 с. - ISBN 978-5-94836-361-5.
3. Квантовая механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. А. Байков, В. М. Кузнецов. 2-е изд. 294 с. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - ISBN 978-5-9963-2989-2.

*Дополнительная литература:*

1. Белонучкин В. Е., Заикин Д. А., Ципенюк Ю. М. Курс общей физики. Основы физики. Учеб. пособие: для вузов. В 2 т. Т. II. Квантовая и статистическая физика. Термодинамика / Под ред. Ю.М. Ципенюка. - 2-е изд., испр. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 608 с. - ISBN 978-5-9221-0754-9.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. IV/В. Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Квантовая электродинамика. - 4-е изд., испр. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 720 с. - ISBN 5-9221-0058-0.
3. Квантовая теория излучения. Взаимодействие излучения с веществом : учеб. пособие / И.И. Пахомов, А.М. Хорохоров. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
4. Борисёнок С. В., Кондратьев А. С. Квантовая статистическая механика. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 136 с. - ISBN 978-5-9221-1277-2.

*Периодические издания:*

1. Квант.
2. Квантовая магия.
3. Известия вузов. Радиофизика.
4. Журнал экспериментальной и теоретической физики

*Электронные ресурсы:*


1. Библиотека по естественным наукам (БЕН) РАН <http://www.benran.ru/>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека (ГПНТБ) <http://www.gpntb.ru/>
3. Российская государственная библиотека (РГБ) <http://www.rsl.ru/>
4. <http://www.studentlibrary.ru>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины "Квантовая радиофизика" включает в себя:


- лекционные аудитории, оснащенные кафедральным мультимедийным оборудованием (ауд. 301-3 и 335-3);
- компьютерный класс (15 рабочих мест) с возможностью подключения к сети Интернет (ауд. 228-3).

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.01 - Радиотехника.

Рабочую программу составил к.ф.-м.н. доцент  Садовский И.Н.  
(ФИО, подпись)


Рецензент:

Генеральный директор ОАО ВКБ «Радиосвязи»

к.т.н.  Богданов А.Е.  
(место работы, должность, ФИО, подпись)


Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры радиотехники и радиосистем

Протокол № 12 от 30.03.15 года

Заведующий кафедрой  Никитин О.Р.  
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 11.03.01 - Радиотехника

Протокол № 9 от 31.03.15 года

Председатель комиссии  Никитин О.Р.  
(ФИО, подпись)

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Никитин О.Р.

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Никитин О.Р.

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год  
Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ год  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Никитин О.Р.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

Институт ИИТиР

Кафедра радиотехники и радиосистем

Актуализированная  
рабочая программа  
рассмотрена и одобрена  
на заседании кафедры  
протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_  
(подпись, ФИО) Никитин О.Р.

**Актуализация рабочей программы дисциплины**

КВАНТОВАЯ РАДИОФИЗИКА  
(наименование дисциплины)

Направление подготовки: 11.03.01 "Радиотехника"

Профиль/программа подготовки :

Уровень высшего образования: бакалавриат

Форма обучения: очная