


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»



**УТВЕРЖДАЮ**

Декан факультета радиотехники  
и электроники

 / В.А. Небольсин /  
31 августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины**

**«Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике»**

**Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника**


**Квалификация выпускника бакалавр**

**Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.**

**Форма обучения очная / заочная**

**Год начала подготовки 2021**

Автор программы

 \_\_\_\_\_ Е.Ю. Плотникова

И.о. заведующего кафедрой  
полупроводниковой электроники  
и нанoeлектроники

 \_\_\_\_\_ А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

 \_\_\_\_\_ А.В. Арсентьев

**Воронеж 2021**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** формирование у студентов современного представления о строении материи на микро- и наноуровне, о квантовомеханических законах, лежащих в основе современной физики, о методах описания квантовых систем.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины:

- сформировать теоретическую базу квантовомеханических процессов в физических системах;
- обосновать связанность классического и квантового методов описания физических процессов;
- дать практические навыки анализа квантовых моделей и систем в области микро- и нанoeлектронных приборов и структур.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.19 «Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике» направлен на формирование следующих компетенций:

**ПК-1:** способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

**ПК-7:** способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микроэлектронных приборов и устройств.

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции   |
|-------------|---|
| ПК-1        | знать основные определения, понятия и законы квантовой механики и статистической физики;                                |
|             | уметь интерпретировать наблюдаемые природные явления и технологические процессы согласно актуальным физическим теориям; |
|             | владеть навыками применения законов квантовой механики.   |
| ПК-7        | знать методы использования физических законов и уравнений квантовой механики для решения практических задач;            |
|             | уметь планировать физический эксперимент, проводить измерения   |

|  |   |
|--|---|
|  | физических величин, анализировать экспериментальные данные;   |
|  | <b>владеть</b> методиками обработки экспериментальных данных согласно представлениям классической и квантовой физики. |

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

| Вид учебной работы                   | Всего часов | Семестры |
|--------------------------------------|-------------|----------|
|                                      |             | 3        |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>    | 50          | 50       |
| В том числе:                         |             |          |
| Лекции                               | 34          | 34       |
| Практические занятия (ПЗ)            | 16          | 16       |
| <b>Самостоятельная работа</b>        | 58          | 58       |
| Вид промежуточной аттестации - зачет | +           | +        |
| Общая трудоемкость час               | 108         | 108      |
| зач. ед.                             | 3           | 3        |

##### Заочная форма обучения

| Вид учебной работы                   | Всего часов | Семестры |
|--------------------------------------|-------------|----------|
|                                      |             | 3        |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>    | 8           | 8        |
| В том числе:                         |             |          |
| Лекции                               | 4           | 4        |
| Практические занятия (ПЗ)            | 4           | 4        |
| <b>Самостоятельная работа</b>        | 96          | 96       |
| Часы на контроль                     | 4           | 4        |
| Вид промежуточной аттестации - зачет | +           | +        |
| Общая трудоемкость час               | 108         | 108      |
| зач. ед.                             | 3           | 3        |

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

##### очная форма обучения

| № п/п | Наименование темы          | Содержание раздела   | Лекц | Прак зан. | СРС | Всего, час |
|-------|----------------------------|--|------|-----------|-----|------------|
| 1     | История квантовой механики | Понятие постоянной Планка. Квант света. Последовательная теория микро-частиц. Принцип и уравнение Паули. Нейтрон. Фундаментальное строение | 2    | 2         | 3   | 7          |

|              |   |   |           |           |           |            |
|--------------|---|---|-----------|-----------|-----------|------------|
|              | ки и статистической физики              | вещества.   |           |           |           |            |
| 2            | Фундаментальное строение вещества       | Атомное ядро и элементарные частицы. Фермионы. Бозоны. Кварки. Лептоны. Нейтрино. Понятие электрон-вольт. Иерархическая структура устойчивого вещества. Фундаментальные взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное. Адроны. | 2         | -         | 3         | 5          |
| 3            | Классическая и квантовая физика         | Корпускулярно-волновой дуализм. Специальная теория относительности.   | 2         | 2         | 3         | 7          |
| 4            | Тепловое излучение                      | Абсолютно черное тело. Тепловое излучение. Равновесное излучение. Характеристики теплового излучения: спектральная испускательная способность, интегральная испускательная способность, спектральная поглощательная способность. Серое тело.        | 2         | -         | 3         | 5          |
| 5            | Классическая теория теплового излучения | Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Эффективная поглощательная способность. Закон смещения Вина. Формула Релея-Джинса. Ультрафиолетовая катастрофа.  | 2         | 2         | 3         | 7          |
| 6            | Гипотеза о квантах                      | Функция Планка. Максимум испускательной способности АЧТ. Тепловое излучение Вселенной.  | 2         | -         | 3         | 5          |
| 7            | Фотоэффект                              | Внешний и внутренний фотоэффект. Красная граница фотоэффекта. Эффект Комптона. Обратный эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм.  | 2         | 2         | 3         | 7          |
| 8            | Волновая функция                        | Амплитуда вероятности. Волновая функция. Дифракция электронов. опыты с нейтронами и пучками частиц. Эффект Рамзауэра.   | 2         | -         | 3         | 5          |
| 9            | Квантовая механика                      | Волновые пакеты. Соотношение неопределенностей. Скорость волновых пакетов. Расплывание волнового пакета.  | 2         | 2         | 3         | 7          |
| 10           | Уравнение Шредингера                    | Частица в потенциальной яме. Граничные условия. Потенциальная яма конечной глубины. Потенциальный барьер. Туннельный эффект.  | 2         | -         | 3         | 5          |
| 11           | Гармонический осциллятор                | Квантовая задача движущейся частицы. Приближенный расчёт закона сохранения энергии.   | 2         | 2         | 4         | 8          |
| 12           | Оптика и квантовые свойства света       | Квантовая электродинамика. Законы геометрической оптики. Закон отражения света. Прямолинейность распространения света. Фокусировка света. Преломление света. Регистрация фотонов. Дифракция света.  | 2         | -         | 4         | 6          |
| 13           | Квантовая физика атома                  | Приближенная теория атома водорода. Уравнение Шредингера в трех измерениях. Строгая теория атома водорода. Орбитальный момент импульса.   | 2         | 2         | 4         | 8          |
| 14           | Испускание фотонов                      | Спонтанное излучение. Спектр атома водорода. Поглощение. Оптическая накачка. Вынужденное излучение. Лазер.  | 2         | -         | 4         | 6          |
| 15           | Модель атома Бора                       | Водородоподобный атом. Уравнение движения электрона в центрально-симметричном поле ядра. Стабильность орбит.  | 2         | 2         | 4         | 8          |
| 16           | Атомная физика                          | Принцип запрета Паули. Многоэлектронные атомы. Периодическая система элементов. Рентгеновское излучение.  | 2         | -         | 4         | 6          |
| 17           | Связи в молекулах                       | Ионная связь. Ковалентная связь. Гибридизация. Электронная плотность.   | 2         | -         | 4         | 6          |
| <b>Итого</b> |   |   | <b>34</b> | <b>16</b> | <b>58</b> | <b>108</b> |

### заочная форма обучения

| № п/п | Наименование темы                                  | Содержание раздела  | Лекц | Прак зан. | СРС | Всего, час |
|-------|--|---|------|-----------|-----|------------|
| 1     | История квантовой механики и статистической физики | Понятие постоянной Планка. Квант света. Последовательная теория микрочастиц. Принцип и уравнение Паули. Нейтрон. Фундаментальное строение вещества.   | 2    | 2         | 5   | 9          |
| 2     | Фундаментальное строение вещества                  | Атомное ядро и элементарные частицы. Фермионы. Бозоны. Кварки. Лептоны. Нейтрино. Понятие электрон-вольт. Иерархическая структура устойчивого вещества. Фундаментальные взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное. Адроны. | 2    | 2         | 5   | 9          |
| 3     | Классическая и квантовая физика                    | Корпускулярно-волновой дуализм. Специальная теория относительности.   | -    | -         | 5   | 5          |
| 4     | Тепловое излучение                                 | Абсолютно черное тело. Тепловое излучение. Равновесное излучение. Характеристики теплового излучения: спектральная испускательная способность, интегральная испускательная способность, спектральная поглощательная способность. Серое тело.        | -    | -         | 5   | 5          |
| 5     | Классическая теория теплового излучения            | Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Эффективная поглощательная способность. Закон смещения Вина. Формула Релея-Джинса. Ультрафиолетовая катастрофа.  | -    | -         | 5   | 5          |
| 6     | Гипотеза о квантах                                 | Функция Планка. Максимум испускательной способности АЧТ. Тепловое излучение Вселенной.  | -    | -         | 5   | 5          |
| 7     | Фотоэффект   | Внешний и внутренний фотоэффект. Красная граница фотоэффекта. Эффект  | -    | -         | 6   | 6          |

|                 |                                   |  |          |          |           |            |
|-----------------|-----------------------------------|--|----------|----------|-----------|------------|
|                 |                                   | Комптона. Обратный эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм.  |          |          |           |            |
| 8               | Волновая функция                  | Амплитуда вероятности. Волновая функция. Дифракция электронов. Опыты с нейтронами и пучками частиц. Эффект Рамзауэра.  | -        | -        | 6         | 6          |
| 9               | Квантовая механика                | Волновые пакеты. Соотношение неопределенностей. Скорость волновых пакетов. Расплывание волнового пакета.   | -        | -        | 6         | 6          |
| 10              | Уравнение Шредингера              | Частица в потенциальной яме. Граничные условия. Потенциальная яма конечной глубины. Потенциальный барьер. Туннельный эффект.   | -        | -        | 6         | 6          |
| 11              | Гармонический осциллятор          | Квантовая задача движущейся частицы. Приближенный расчёт закона сохранения энергии.  | -        | -        | 6         | 6          |
| 12              | Оптика и квантовые свойства света | Квантовая электродинамика. Законы геометрической оптики. Закон отражения света. Прямолинейность распространения света. Фокусировка света. Преломление света. Регистрация фотонов. Дифракция света. | -        | -        | 6         | 6          |
| 13              | Квантовая физика атома            | Приближенная теория атома водорода. Уравнение Шредингера в трех измерениях. Строгая теория атома водорода. Орбитальный момент импульса.  | -        | -        | 6         | 6          |
| 14              | Испускание фотонов                | Спонтанное излучение. Спектр атома водорода. Поглощение. Оптическая накачка. Вынужденное излучение. Лазер.   | -        | -        | 6         | 6          |
| 15              | Модель атома Бора                 | Водородоподобный атом. Уравнение движения электрона в центрально-симметричном поле ядра. Стабильность орбит.   | -        | -        | 6         | 6          |
| 16              | Атомная физика                    | Принцип запрета Паули. Многоэлектронные атомы. Периодическая система элементов. Рентгеновское излучение.   | -        | -        | 6         | 6          |
| 17              | Связи в молекулах                 | Ионная связь. Ковалентная связь. Гибридизация. Электронная плотность.  | -        | -        | 6         | 6          |
| <b>Всего</b>    |                                   |  | <b>4</b> | <b>4</b> | <b>96</b> | <b>104</b> |
| <b>Контроль</b> |                                   |  |          |          |           | <b>4</b>   |
| <b>Итого</b>    |                                   |  |          |          |           | <b>108</b> |

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                        | Критерии оценивания                         | Аттестован                                     | Не аттестован                                    |
|-------------|--|---|--|--|
| ПК-1        | знать основные определения, понятия и законы квантовой механики и статистической физики; | Знание лекционного материала, решение задач | Выполнение работ в срок, предусмотренный в ра- | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в ра- |

|      |  |  |   |   |
|------|--|--|---|---|
|      |  | по вариантам   | бочих программах  | бочих программах  |
|      | <b>уметь</b> интерпретировать наблюдаемые природные явления и технологические процессы согласно актуальным физическим теориям;   | Знание лекционного материала, решение задач по вариантам | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | <b>владеть</b> навыками применения законов квантовой механики.   | Знание лекционного материала, решение задач по вариантам | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-7 | <b>знать</b> методы использования физических законов и уравнений квантовой механики для решения практических задач;              | Знание лекционного материала, решение задач по вариантам | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | <b>уметь</b> планировать физический эксперимент, проводить измерения физических величин, анализировать экспериментальные данные; | Знание лекционного материала, решение задач по вариантам | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | <b>владеть</b> методиками обработки экспериментальных данных согласно представлениям классической и квантовой физики.            | Знание лекционного материала, решение задач по вариантам | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3 семестре для очной формы обучения, в 3 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции  | Критерии оценивания                                      | Зачтено  | Не зачтено            |
|-------------|--|--|--|-----------------------|
| ПК-1        | <b>знать</b> основные определения, понятия и законы квантовой механики и статистической физики;                                  | Тест   | Выполнение теста на 70 – 100 %                           | Выполнение менее 70 % |
|             | <b>уметь</b> интерпретировать наблюдаемые природные явления и технологические процессы согласно актуальным физическим теориям;   | Решение стандартных практических задач                   | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены      |
|             | <b>владеть</b> навыками применения законов квантовой механики.   | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены      |
| ПК-7        | <b>знать</b> методы использования физических законов и уравнений квантовой механики для решения практических задач;              | Тест   | Выполнение теста на 70 – 100 %                           | Выполнение менее 70 % |
|             | <b>уметь</b> планировать физический эксперимент, проводить измерения физических величин, анализировать экспериментальные данные; | Решение стандартных практических задач                   | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены      |
|             | <b>владеть</b> методиками обработки экспериментальных данных согласно представлениям классической и квантовой физики.            | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены      |

**7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

#### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. «На данной орбитали может находиться не более двух электронов» - это формулировка:

- а) принципа запрета Паули;
- б) закона действующих масс;
- в) специальной теории относительности;
- г) уравнения Максвелла.

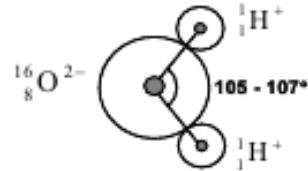
2. На рисунке изображено:

- а) кварк;
- б) ядро гелия;
- в) нуклон;
- г) гетероструктура.



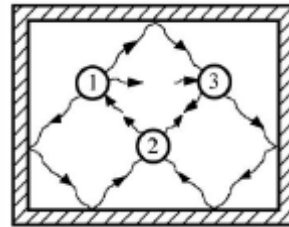
3. На рисунке изображено:

- а) ядро урана;
- б) молекула кварца;
- в) молекула воды;
- г) вектора распределения потенциальной энергии в ядре.



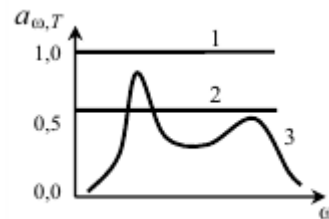
4. На рисунке изображено термодинамическое равновесие в системе:

- а) излучающие тела и излучение в плоскости;
- б) атомы в кристалле;
- в) атомы в стекле;
- г) атомы в АЧТ.



5. Выберите на рисунке номер, соответствующий спектральной поглотительной способности АЧТ:

- 1;
- 2;
- 3.



6. На рисунке изображена модель:

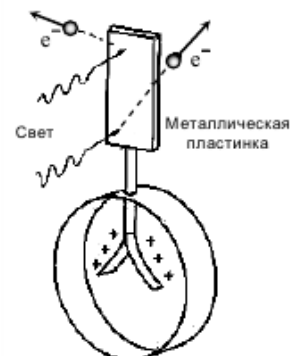
- а) газового конденсатора;
- б) АЧТ;
- в) кольцевого испарителя;
- г) закона Кирхгофа для нетермодинамической системы.



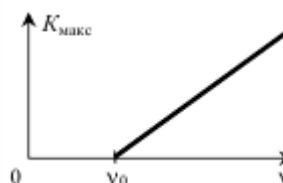
7.

... это:

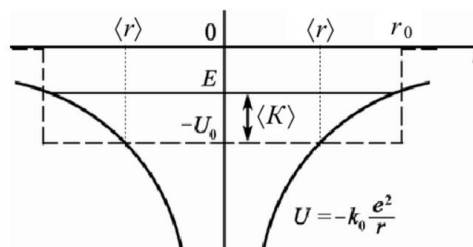
- а) прецизионные весы;
- б) нейтральный электроскоп;
- в) магнитометр;
- г) лампа накаливания.



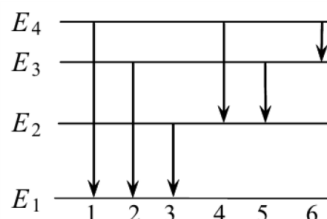
8. На графике изображено:
- распределение по закону Кирхгофа;
  - уравнение Шредингера;
  - распределение Комптоновского излучения;
  - красная граница фотоэффекта.



9. ... это:
- график отображения квантовой границы фотоэффекта;
  - уравнение Шредингера для двухмерной координатной системы;
  - потенциальная яма для электрона в атоме водорода;
  - зонная диаграмма гетероструктуры металл-полупроводник.



10. E1, E2, ... - это:
- обозначения номеров электронов на орбиталях;
  - переходы фотонов между зонами;
  - лептоны;
  - энергетические уровни.



### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

- Расчет температуры поверхности излучающего тела
- Расчет полной мощности (энергетической светимости) излучения с поверхности излучающего тела
- Определение максимальной длины волны света, выбивающего из металла электрон с заданной энергией
- Расчет длины волны фотона с заданной энергией
- Разработка *описания* структуры квантового конденсатора, приведенного в коде по варианту.
- Разработка *описания* структуры квантовой точки/шнура/плоскости, приведенных в коде по варианту.
- Разработка *описания* структуры квантового транзистора, приведенного в коде по варианту.
- Разработка *описания* структуры квантового диода, приведенного в коде по варианту.
- Разработка *описания* структуры двухзатворного транзистора с квантовой областью, приведенного в коде по варианту.
- Разработка *описания* структуры FET с круговым затвором, приведенного в коде по варианту.

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

- Определение минимального радиуса орбиты электрона в атоме водорода
- Оценка скорости расплывания волнового пакета в случае свободной частицы
- Оценка возможных энергий электрона в «ящике» размером с атом (1 Å)
- Оценка длины волны фотона



5. Определение по коду, какой параметр отвечает за квантовые эффекты при моделировании структуры и его описание.
6. Вывод формулы Релея-Джинса
7. Вывод формулы Кирхгофа
8. Вывод временного уравнения Шредингера
9. Вывод уравнения Шредингера для трехмерной системы
10. Разработка пошагового построения и моделирования квантового прибора. Настройка отображения структуры в программе.

## 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

- 1 Корпускулярные свойства света и волновые свойства вещества
- 2 Классическая и квантовая физика
- 3 Корпускулярно-волновой дуализм света
- 4 Тепловое излучение
- 5 Классическая теория теплового излучения.
- 6 Ультрафиолетовая катастрофа
- 7 Гипотеза о квантах.
- 8 Формула Планка
- 9 Тепловое излучение Вселенной
- 10 Фотоэффект
- 11 Эффект Комптона
- 12 Корпускулярно-волновой дуализм
- 13 Волновая функция
- 14 Дифракция электронов
- 15 Опыты с нейтронами и пучками частиц
- 16 Квантовая механика
- 17 Волновые пакеты
- 18 Соотношение неопределенностей
- 19 Скорость волновых пакетов
- 20 Расплывание волнового пакета
- 21 Частица в ящике
- 22 Уравнение Шрёдингера
- 23 Граничные условия
- 24 Потенциальная яма конечной глубины
- 25 Потенциальный барьер (туннельный эффект)
- 26 Гармонический осциллятор
- 27 Оптика и квантовые свойства света
- 28 Законы геометрической оптики
- 29 Регистрация фотонов (эффект Ханбэри–Брауна–Твисса)
- 30 Дифракция света
- 31 Квантовая физика атома
- 32 Приближённая теория атома водорода
- 33 Уравнение Шрёдингера в трёх измерениях
- 34 Строгая теория атома водорода
- 35 Орбитальный момент импульса
- 36 Проекция момента количества движения
- 37 Квадрат момента количества движения
- 38 Нормировка волновых функций
- 39 Среднее значение
- 40 Испускание фотонов
- 41 Спонтанное излучение

|    |                                 |
|----|---------------------------------|
| 42 | Спектр атома водорода           |
| 43 | Поглощение                      |
| 44 | Вынужденное излучение           |
| 45 | Лазер                           |
| 46 | Модель атома Бора               |
| 47 | Стабильность орбит              |
| 48 | Атомная физика                  |
| 49 | Принцип запрета Паули           |
| 50 | Многоэлектронные атомы          |
| 51 | Периодическая система элементов |
| 52 | Рентгеновское излучение         |
| 53 | Связь в молекулах               |
| 54 | Гибридизация                    |

### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

### 7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по вопросам (5 шт.) или тестовым заданиям. Каждый правильный ответ на вопрос оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 5.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал 3 балла и выше.

В случае аттестации с использованием тестовых материалов оценка «Зачтено» ставится, если студент по итогам тестирования набрал более 75 % правильных ответов.

При получении оценки «Зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины           | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|-------|--|--------------------------------|----------------------------------|
| 1     | История квантовой механики и статистической физики | ПК-1, ПК-7                     | Тест, устный опрос, зачет        |
| 2     | Фундаментальное строение вещества                  | ПК-1, ПК-7                     | Тест, устный опрос, зачет        |
| 3     | Классическая и квантовая физика                    | ПК-1, ПК-7                     | Тест, устный опрос, зачет        |
| 4     | Тепловое излучение                                 | ПК-1, ПК-7                     | Тест, устный опрос, зачет        |
| 5     | Классическая теория теплового излучения            | ПК-1, ПК-7                     | Тест, устный опрос, зачет        |
| 6     | Гипотеза о квантах                                 | ПК-1, ПК-7                     | Тест, устный опрос, зачет        |
| 7     | Фотоэффект   | ПК-1, ПК-7                     | Тест, устный опрос, зачет        |
| 8     | Волновая функция                                   | ПК-1, ПК-7                     | Тест, устный опрос, зачет        |

|    |                                   |            |                           |
|----|-----------------------------------|------------|---------------------------|
| 9  | Квантовая механика                | ПК-1, ПК-7 | Тест, устный опрос, зачет |
| 10 | Уравнение Шредингера              | ПК-1, ПК-7 | Тест, устный опрос, зачет |
| 11 | Гармонический осциллятор          | ПК-1, ПК-7 | Тест, устный опрос, зачет |
| 12 | Оптика и квантовые свойства света | ПК-1, ПК-7 | Тест, устный опрос, зачет |
| 13 | Квантовая физика атома            | ПК-1, ПК-7 | Тест, устный опрос, зачет |
| 14 | Испускание фотонов                | ПК-1, ПК-7 | Тест, устный опрос, зачет |
| 15 | Модель атома Бора                 | ПК-1, ПК-7 | Тест, устный опрос, зачет |
| 16 | Атомная физика                    | ПК-1, ПК-7 | Тест, устный опрос, зачет |
| 17 | Связи в молекулах                 | ПК-1, ПК-7 | Тест, устный опрос, зачет |

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

#### Основная литература

1. **Ландау Л.Д.** Теоретическая физика: В 10 т.: учеб. пособие. Т. V; Ч. 1. Статистическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; под ред. Л.П. Питаевского. - 5-е изд., стереотип. - М.: Физматлит, 2002. - 616 с. - ISBN 5-9221-0053-X. - ISBN 5-9221-0054-8

2. **Ландау Л.Д.** Теоретическая физика: В 10 т.: учеб. пособие. Т. IX. Ч. 2. Статистическая физика. Теория конденсированного состояния / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; под ред. Л.П. Питаевского. - 4-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2002. - 496 с. - ISBN 5-9221-0053-X. - ISBN 5-9221-0296-6

3. **Иродов И.Е.** Квантовая физика: Основные законы: учеб. пособие / И.Е. Иродов. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. - 272 с. - ISBN 5-93208-055-8

4. **Москаленко А.Г.** Общий курс физики. Квантовая физика. Квантовая механика. Основы квантовой статистики и физики твердого тела: учеб. пособие. - 3-е изд., перераб. и доп. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. - 207 с.

5. **Основы квантовой статистики и физики твердого тела** [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Г. Москаленко, М.Н. Гаршина, Е.П. Татьяна; ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. техн. ун-т», каф. физики. - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2017. - 109 с.

6. **Шушлебин И.М.** Избранные главы теоретической физики: статистическая физика [Электронный ресурс]: учеб. пособие / И.М. Шушлебин, Л.И. Янченко. - Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2019. - 90 с. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 01.03.2025. - ISBN 978-5-7731-0767-5. URL: <http://www.iprbookshop.ru/93257.html>

Дополнительная литература

7. **Паршаков А.Н.** Квантовая физика для инженеров [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Н. Паршаков. - Саратов: Вузовское образование, 2019. - 404 с. - ISBN 978-5-4487-0531-1. URL: <http://www.iprbookshop.ru/86463.html>

8. **Трясучёв В.А.** Квантовая механика для студентов технических вузов [Электронный ресурс] / В.А. Трясучёв. - Томск: Томский политехнический университет, 2017. - 156 с. - ISBN 978-5-4387-0746-2. URL: <https://e.lanbook.com/book/106765>

9. **Тюрин Ю.И.** Физика. Квантовая физика [Электронный ресурс]: учебник / Ю.И. Тюрин, И.П. Чернов, Ю.Ю. Крючков. - Томск: ТПУ, 2009. - 320 с. - ISBN 5-98298-457-4. URL: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=10282](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=10282)

10. **Рембеза Е.С.** Квантовая, атомная и ядерная физика [Электронный ресурс]: курс лекций: учеб. пособие / Е.С. Рембеза, В.С. Железный, А.А. Косякова. - Электрон. текстовые, граф. дан. (3,95 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011.

11. **Ефремов Ю.С.** Квантовая механика [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.С. Ефремов. - Москва|Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 457 с. - ISBN 978-5-4475-4072-2. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=273446>

12. **Шушлебин И.М.** Квантовая механика в задачах и вопросах: учеб. пособие / И.М. Шушлебин, Л.И. Янченко; ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. техн. ун-т». - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2018. - 83 с. - ISBN 978-5-7731-0595-4

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

### **Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:**

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

### **Используемые электронные библиотечные системы:**

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;

- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

#### **Информационные справочные системы:**

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

**1. Лекционная аудитория** 311/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);  
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.  
 проектор BenQ MP515 DLP;  
 экран ScreenMedia настенный.  
 огнетушитель.

**2. Дисплейный класс** для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);  
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.  
 компьютер-сборка каф.9;  
 компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);  
 компьютер-сборка каф.7;  
 компьютер-сборка каф.3;  
 компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);  
 компьютер-сборка каф.5;  
 компьютер-сборка каф.4;  
 компьютер-сборка каф.8;  
 компьютер-сборка каф.2;  
 компьютер-сборка каф.6;  
 компьютер-сборка каф.10;  
 комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;  
 компьютер-сборка каф.1;  
 экран Projecta ProScreen настенный рулонный;  
 проектор BenQ MP515 DLP;  
 огнетушитель.

## 10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение навыков использования физических законов и уравнений квантовой механики для решения практических задач. Занятия проводятся путем решения стандартных и прикладных задач в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится тестированием. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

| Вид учебных занятий                   | Деятельность студента  |
|---------------------------------------|--|
| Лекция                                | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии. |
| Практические занятия                  | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, решение задач по алгоритму.   |
| Самостоятельная работа                | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>   |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.  |

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| №<br>п/п | Перечень вносимых изменений | Дата<br>внесения<br>изменений | Подпись заведующего<br>кафедрой, ответственной<br>за реализацию ОПОП |
|----------|-----------------------------|-------------------------------|--|
| 1        |                             |                               |  |
| 2        |                             |                               |  |
| 3        |                             |                               |  |
| 4        |                             |                               |  |