

**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 наноэлектроника

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 наноэлектроники**

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;
	владеть 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
Аудиторные занятия (всего)	50	50
В том числе:		
Лекции	34	34
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Самостоятельная работа	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
Аудиторные занятия (всего)	8	8
В том числе:		
Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Самостоятельная работа	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
Итого			34	16	58	108

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
Всего			4	4	96	104
Контроль						4
Итого						108

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

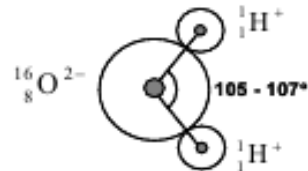
2. На рисунке изображено:

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



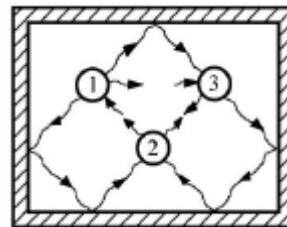
3. На рисунке изображено:

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



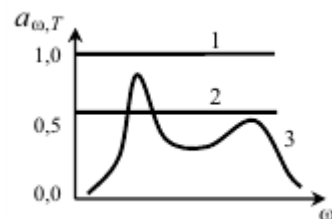
4. На рисунке изображено термодинамическое равновесие в системе:

- 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 поглощательной способности АЧТ:

- 1;
- 2;
- 3.



6. На рисунке изображена модель:

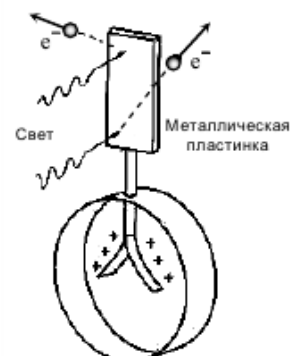
- а) газового конденсатора;
- б) АЧТ;
- в) кольцевого испарителя;
- г) закона Кирхгофа для нетермодинамической системы.



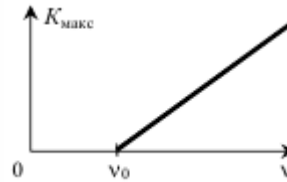
7.

... это:

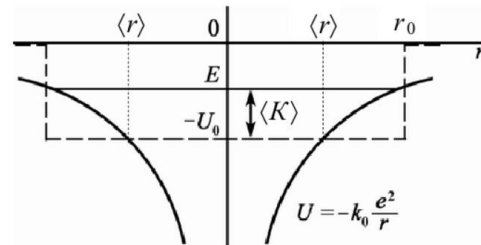
- а) прецизионные весы;
- б) нейтральный электроскоп;
- в) магнитометр;
- г) лампа накаливания.



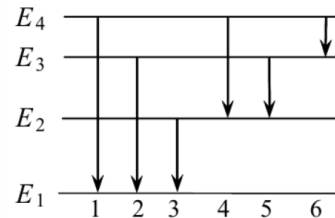
8. На графике изображено:
- распределение по закону Кирхгофа;
 - уравнение Шредингера;
 - распределение Комптоновского излучения;
 - красная граница фотоэффекта.



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 распывания 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

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. **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

12. **Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике:** методические указания к выполнению практических работ для студентов направления 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» всех форм обучения / сост. Е.Ю. Плотникова. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2023 – 30 с. (№ 225-2023)

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/>;

- 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: (H61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);
компьютер-сборка каф.7;
компьютер-сборка каф.3;
компьютер в составе: (H61/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; помечать 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: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
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

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.1 в части состава учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.	04.02.2025	
2			
3			
4			