

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета Небольсин В.А.
«30» августа 2017 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

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы

Н.Н. Кошелева / Н.Н. Кошелева /

Заведующий кафедрой
Полупроводниковой элек-
троники и наноэлектроники

С.И. Рембеза / С. И Рембеза /

Руководитель ОПОП

С.И. Рембеза / С.И Рембеза /

Воронеж 2017

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

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

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- заложить теоретические основы для понимания физических квантовомеханических процессов;
- продемонстрировать неразрывную связь двух методов описания – классического и квантового;
- дать практические навыки анализа квантовых моделей и систем при их использовании в области микроэлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике» относится к вариативной части блока Б1 учебного плана. Индекс дисциплины Б1.В.ДВ.6.1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

ОПК-1: способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

ОПК-5: способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;

ОПК-7: способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;

ПКВ-3: 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
ОПК-1	знать основные определения, понятия и законы квантовой механики и статистической физики;
	уметь интерпретировать наблюдаемые природные явления и технологические процессы на основе известных физических теорий;
	владеть информацией об области применения законов квантовой механики.
ОПК-5	знать основные свойства материалов микроэлектроники на основе положений квантовой теории твердых тел и основных методов квантовой статистики;

	уметь анализировать экспериментальные данные и оценивать погрешности измерений;
	владеть навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и интерпретации результатов эксперимента.
ОПК-7	знать теоретические основы физических квантовомеханических процессов;
	уметь критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области квантовой механики в области микроэлектроники и твердотельной электроники
	владеть методами расчетов параметров полупроводников с использованием стандартных физико-математических программ
ПКВ-3	знать применение физических законов и уравнений для решения конкретных практических задач;
	уметь использовать методы физико-математического моделирования в практической деятельности;
	владеть навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественно-научных задач.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика в микроэлектронике» составляет 4 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Самостоятельная работа	108	108
Вид промежуточной аттестации – зачет с оценкой	+	+
Общая трудоемкость час зач. ед.	144	144
	4	4

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	Элементы квантовой ме-	Гипотеза де-Бройля. Волны де-Бройля. Дифракция электронов и атомов. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Статистическое	2	4	14	20

	ханики	толкование волн де-Бройля. Уравнение Шредингера – временное и стационарное. Движение свободной частицы. Частица в одномерной потенциальной яме. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов. Принцип размерного квантования. Квантование энергии и импульса частицы. Энергетические состояния в прямоугольной потенциальной яме сложной формы. Частица в трехмерной прямоугольной потенциальной яме. Отражение и прохождение через потенциальный барьер (туннельный эффект).				
2	Атом водорода в квантовой механике	Теория атома водорода по Бору. Квантование электронных орбит и энергии. Объяснение закономерностей в атомных спектрах. Недостатки теории Бора. Атом водорода в квантовой механике. Квантование энергии, импульса, момента импульса электрона в атоме водорода. Квантовые числа. Принцип Паули. Правила заполнения электронных орбит. Понятие об энергетических уровнях молекул. Спонтанное и вынужденное излучение. Лазеры.	2	2	14	18
3	Математический аппарат квантовой механики. Операторы	Линейные самосопряженные операторы. Общая формула для среднего значения величины и для среднего квадратичного отклонения. Операторы координаты и импульса частицы. Оператор кинетической энергии. Оператор полной энергии. Сложение и умножение операторов. Описание состояния системы в квантовой механике.	2	2	14	18
4	Основы зонной теории	Уравнение Шредингера. Волновая функция. Стационарные состояния. Уравнение Шредингера для твердого тела. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Функция Блоха. Приближение сильной и слабой связи. Модель Кронига-Пенни. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми. Энергетический спектр в кристалле. Эффективная масса электрона. Энергетические уровни примеси в кристаллах.	2	4	16	22
5	Элементы квантовой статистики и физики твердого тела	Понятие о квантовой статистике Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Теплоемкость твердых тел. Распределение электронов проводимости в металле по энергиям. Энергия Ферми. Сверхпроводимость. Энергетические зоны в кристаллах. Распределение электронов по энергетическим уровням. Валентная зона и зона проводимости. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Собственная проводимость полупроводников. Квазичастицы - электроны проводимости и дырки. Примесная проводимость полупроводников.	2	4	14	20
6	Теория возмущений	Стационарная теория возмущений (невыврожденный случай и с учетом вырождения). Нестационарная теория возмущений. Золотое правило Ферми. Борновское приближение.	2	2	12	16
7	Теория многоэлектронных систем. Метод Хартри-Фока	Многоэлектронные атомы. Приближение независимых электронов. Метод самосогласованного поля Хартри. Теория многоэлектронных систем. Метод Хартри-Фока. Аппроксимации атомных орбиталей, орбитали Слетера-Зенера.	2		12	14
8	Матрица плотности	Чистое и смешанное состояния. Матрица плотности для чистых состояний и ее свойства. Физический смысл диагональных элементов матрицы плотности, среднее значение физических величин. Уравнение фон Неймана. Классический предел уравнения фон Неймана для классических функций распределения. Теорема Лиувилля.	4		12	16
Итого			18	18	108	144

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) и 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
ОПК-1	знать основные определения, понятия и законы квантовой механики и статистической физики;	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	уметь интерпретировать наблюдаемые природные явления и технологические процессы на основе известных физических теорий;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть информацией об области применения законов квантовой механики.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-5	знать основные свойства материалов микроэлектроники на основе положений квантовой теории твердых тел и основных методов квантовой статистики;	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	уметь анализировать экспериментальные данные и оценивать погрешности измерений;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и интерпретации результатов эксперимента.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-7	знать теоретические основы физических квантовомеханических процессов;	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	уметь критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области квантовой механики в области микроэлектроники и твердотельной электроники	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами расчетов параметров полупроводников с использованием стандартных физико-математических программ	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-3	знать применение физических законов и уравнений для решения конкретных практических задач;	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	уметь использовать методы физико-математического моделирования в практической деятельности;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественно-научных задач.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 4 семестре для очной формы обучения по системе:

«отлично»;
 «хорошо»;
 «удовлетворительно»;
 «неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ОПК-1	знать основные определения, понятия и законы квантовой механики и статистической физики;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь интерпретировать наблюдаемые природные явления и технологические процессы на основе известных физических теорий;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	владеть информацией об области применения законов квантовой механики.	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
ОПК-5	знать основные свойства материалов микроэлектроники на основе положений квантовой теории твердых тел и основных методов квантовой статистики;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь анализировать экспериментальные данные и оценивать погрешности измерений;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	владеть навыками проведения экспериментальных исследований, обработки и интерпретации результатов эксперимента.	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
ОПК-7	знать теоретические основы физических квантовомеханических процессов;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь критически анализировать и оценивать современные научные достижения в области квантовой механики в области микроэлектроники и твердотельной электроники	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	владеть методами расчетов параметров полупроводников с использованием стандартных физико-математических программ	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
ПКВ-3	знать применение физических законов и уравнений для решения конкретных практических задач;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов

уметь использовать методы физико-математического моделирования в практической деятельности;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
владеть навыками применения основных методов физико-математического анализа для решения естественно-научных задач.	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов

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	Волновая функция ψ, являющаяся решением уравнения Шредингера $\hat{H}\psi = E\psi$, должна: а) удовлетворять условию нормировки, т.е. там, где волновая функция не равна нулю, там частица достоверно присутствует; б) иметь решение при любых значениях энергии E; в) иметь решение при собственных значениях энергии E.
2	Существование у атомов дискретных энергетических уровней было экспериментально установлено в опытах: а) Штерна и Герлаха; б) Франка и Герца; в) Резерфорда; г) Ленарда и Томсона.
3	Экспериментальные доказательства волновых свойств у микрочастиц были получены в опытах: а) Томсона и Тартаковского; б) Франка и Герца; в) Фабриканта, Бибермана, Сушкина; г) Девиссона и Джермера.
4	Квантование магнитных моментов атомов было экспериментально установлено в опытах: а) Штерна и Герлаха; б) Франка и Герца; в) Комптона; г) Девиссона и Джермера.
5	В квантовой механике физическая величина характеризуется не числовым значением, а оператором. Оператор - это а) функция, которая осуществляет связь одних чисел с другими числами; б) правило, с помощью которого каждой функции из некоторого множества функций сопоставляется функция из того же или некоторого другого множества функций; в) числовое значение физической величины, которой ставится в соответствие данный оператор.

6	Спектр собственных значений энергий гармонического осциллятора является а) сплошным; б) дискретным; в) смешанным.
7	Неопределенность в измерении энергии за данный промежуток времени равна а) $\Delta E = \hbar\omega$; б) $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$; в) $\Delta E = \frac{\pi^2 \hbar^2}{m l^2} n$.
8	Гипотеза де Бройля выражается соотношениями а) $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}$; б) $\omega = \frac{E}{\hbar}$; в) $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$; г) $\omega = \frac{E_n - E_m}{\hbar}$.
9	Длина волны де Бройля для заряженной частицы, ускоренной электрическим полем, определяется по формуле а) $\frac{2\pi\hbar}{p}$; б) $\frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mT}}$; в) $\frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2meU}}$; г) $\frac{2\pi\hbar}{mv}$.
10	Оператор $\hat{A}$ называется самосопряженным (эрмитовым), если для любых двух функций u и v а) $\hat{A}(a_1 u + a_2 v) = a_1 \hat{A}u + a_2 \hat{A}v$; б) $\int v^* \hat{A} u dV = \int u \hat{A}^* v^* dV$; в) $\int u_n^* v_m dV = 0$ ($m \neq n$); г) $\int u_n^* v_m dV = 1$ ($m = n$).

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1	Соотношение де Бройля – это: 1) $\frac{2\pi\hbar c}{\sqrt{(2m_0 c^2 - T)T}}$ 2) $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$ 3) $\frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ 4) $\frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mT}}$ 5) $\frac{2\pi\hbar}{mv}$
2	Релятивистский импульс – это: 1) $\frac{2\pi\hbar c}{\sqrt{(2m_0 c^2 - T)T}}$ 2) $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$ 3) $\frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ 4) $\frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mT}}$ 5) $\frac{2\pi\hbar}{mv}$
3	Связь длины волны Де Бройля с кинетической энергией в классическом приближении: 1) $\frac{2\pi\hbar c}{\sqrt{(2m_0 c^2 - T)T}}$ 2) $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$ 3) $\frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ 4) $\frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mT}}$ 5) $\frac{2\pi\hbar}{mv}$
4	Связь длины волны Де Бройля с кинетической энергией в релятивистском случае:

	$1) \frac{2\pi\hbar c}{\sqrt{(2m_0c^2 - T)T}} \quad 2) \Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2 \quad 3) \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad 4) \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mT}} \quad 5) \frac{2\pi\hbar}{mv}$
5	Соотношение неопределенностей – это: $1) \frac{2\pi\hbar c}{\sqrt{(2m_0c^2 - T)T}} \quad 2) \Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2 \quad 3) \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad 4) \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mT}} \quad 5) \frac{2\pi\hbar}{mv}$
6	Математическое выражение плотности вероятности: $1) \sum c_n \psi_n$ $2) \Psi^* \Psi$ $3) \int \Psi_n^* \Psi_m dV = 0 \quad (m \neq n)$ $4) \int \Psi_n^* \Psi_m dV = 1 \quad (m = n)$
7	Математическое выражение условия нормировки: $1) \sum c_n \psi_n$ $2) \Psi^* \Psi$ $3) \int \Psi_n^* \Psi_m dV = 0 \quad (m \neq n)$ $4) \int \Psi_n^* \Psi_m dV = 1 \quad (m = n)$
8	Математическое выражение принципа суперпозиции: $1) \sum c_n \psi_n$ $2) \Psi^* \Psi$ $3) \int \Psi_n^* \Psi_m dV = 0 \quad (m \neq n)$ $4) \int \Psi_n^* \Psi_m dV = 1 \quad (m = n)$
9	Математическое выражение ортогональности волновых функций: $1) \sum c_n \psi_n$ $2) \Psi^* \Psi$ $3) \int \Psi_n^* \Psi_m dV = 0 \quad (m \neq n)$ $4) \int \Psi_n^* \Psi_m dV = 1 \quad (m = n)$
10	Какое из приведенных ниже уравнений представляет временное уравнение Шредингера? $a) \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + U \right) \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t};$ $б) \nabla^2 \Psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \Psi = 0;$ $в) \hat{H} \Psi = E \Psi;$

	г) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0$.
--	--

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1	Слагаемые уравнения Шредингера для кристалла отображают: а) основные виды взаимодействий квантовых частиц в кристалле; б) потенциальное поле кристалла; в) характер движения электронов в кристалле.
2	Физический смысл одноэлектронного приближения состоит в том, что: а) оно характеризует взаимодействие одного электрона с усредненным полем всех других электронов; б) оно отражает реакцию одного электрона на потенциал всего кристалла; в) в этом приближении один электрон взаимодействует с потенциалом всех протонов кристалла.
3	При решении уравнения Шредингера в приближении сильной связи. а) за нулевой порядок теории взаимодействия принимается энергия электрона с собственным атомом; б) сильная связь означает, что электрон не покидает предела кристалла; в) сильная связь означает сильное взаимодействие между электронами.
4	При решении уравнения Шредингера в приближении слабой связи: а) движущейся свободный электрон испытывает периодические возмущения со стороны кристаллической решетки; б) электрон может покинуть объем кристалла; в) электроны слабо связаны между собой. Правильный ответ: а)
5	Эффективная масса электрона в кристалле: а) отражает влияние на движение электрона потенциального поля кристаллической решетки; б) определяется размерами кристалла; в) зависит от взаимодействия со всеми другими электронными кристалла.
6	Уравнение электронейтральности отражает: а) закон сохранения заряда; б) закон сохранения энергии; в) нейтральное поведение ионов примеси; г) закон сохранения объема.
7	Подвижность носителей зарядов в твердом теле определяется: а) тепловой скоростью электронов; б) тепловой скоростью отрицательных ионов; в) дрейфовой скоростью электронов; г) дрейфовой скоростью ионов.
8	Электросопротивление полупроводника с ростом температуры: 1) не изменяются. 2) увеличиваются.

	3) уменьшается. 4) становится переменной.
9	При каких соотношениях эффективных масс электронов и дырок положение уровня Ферми с ростом температуры не изменяется? а) $m_n^x = m_p^x$; б) $m_n^x < m_p^x$; в) $m_n^x > m_p^x$; г) не зависит от m_n^x и m_p^x.
10	Выбор статистики электронов в полупроводниках определяется: а) типом легирующей примеси; б) положением уровня Ферми в зонной структуре; в) наличием свободных электронов; г) отсутствием дырок в полупроводнике

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Гипотеза де-Бройля. Волны де-Бройля.
2. Дифракция электронов и атомов.
3. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
4. Статистическое толкование волн де-Бройля.
5. Уравнение Шредингера – временное и стационарное.
6. Движение свободной частицы. Частица в одномерной потенциальной яме.
7. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов.
8. Принцип размерного квантования.
9. Квантование энергии и импульса частицы.
10. Энергетические состояния в прямоугольной потенциальной яме сложной формы.
11. Частица в трехмерной прямоугольной потенциальной яме.
12. Отражение и прохождение через потенциальный барьер (туннельный эффект).
13. Теория атома водорода по Бору.
14. Квантование электронных орбит и энергии.
15. Объяснение закономерностей в атомных спектрах.
16. Атом водорода в квантовой механике.
17. Квантование энергии, импульса, момента импульса электрона в атоме водорода.
18. Квантовые числа. Принцип Паули. Правила заполнения электронных орбит.
19. Понятие об энергетических уровнях молекул.
20. Спонтанное и вынужденное излучение. Лазеры
21. Линейные самосопряженные операторы.
22. Общая формула для среднего значения величины и для среднего квадратичного отклонения.
23. Операторы координаты и импульса частицы.
24. Оператор кинетической энергии. Оператор полной энергии.
25. Сложение и умножение операторов.
26. Описание состояния системы в квантовой механике.
27. Уравнение Шредингера.
28. Волновая функция. Стационарные состояния.
29. Уравнение Шредингера для твердого тела.
30. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение.
31. Функция Блоха. Приближение сильной и слабой связи.

32. Модель Кронига-Пенни.
33. Свойства волного вектора электрона в кристалле.
34. Зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми.
35. Энергетический спектр в кристалле.
36. Эффективная масса электрона.
37. Энергетические уровни примеси в кристаллах.
38. Понятие о квантовой статистике Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака.
39. Распределение электронов проводимости в металле по энергиям. Энергия Ферми.
40. Энергетические зоны в кристаллах.
41. Распределение электронов по энергетическим уровням.
42. Валентная зона и зона проводимости.
43. Металлы, диэлектрики и полупроводники.
44. Собственная проводимость полупроводников.
45. Квазичастицы - электроны проводимости и дырки.
46. Примесная проводимость полупроводников.
47. Стационарная теория возмущений (невырожденный случай и с учетом вырождения).
48. Нестационарная теория возмущений.
49. Золотое правило Ферми.
50. Борновское приближение.
51. Приближение независимых электронов.
52. Метод самосогласованного поля Хартри.
53. Теория многоэлектронных систем.
54. Метод Хартри-Фока.
55. Аппроксимации атомных орбиталей, орбитали Слетера-Зенера.
56. Чистое и смешанное состояния. Матрица плотности для чистых состояний и ее свойства.
57. Физический смысл диагональных элементов матрицы плотности, среднее значение физических величин.
58. Уравнение фон Неймана.
59. Классический предел уравнения фон Неймана для классических функций распределения.
60. Теорема Лиувилля.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос оценивается 2 баллами, задача оценивается в 4 балла. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 9 до 10 баллов.
2. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 8 баллов.
3. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 3 до 5 баллов.
4. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

При получении оценок «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно» 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 (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Элементы квантовой механики	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7, ПКВ-3	Тест, зачет, устный опрос
2	Атом водорода в квантовой механике	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7, ПКВ-3	Тест, зачет, устный опрос
3	Математический аппарат квантовой механики. Операторы	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7, ПКВ-3	Тест, зачет, устный опрос
4	Основы зонной теории	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7, ПКВ-3	Тест, зачет, устный опрос
5	Элементы квантовой статистики и физики твердого тела	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7, ПКВ-3	Тест, зачет, устный опрос
6	Теория возмущений	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7, ПКВ-3	Тест, зачет, устный опрос
7	Теория многоэлектронных систем. Метод Хартри-Фока	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7, ПКВ-3	Тест, зачет, устный опрос
8	Матрица плотности	ОПК-1, ОПК-5, ОПК-7, ПКВ-3	Тест, зачет, устный опрос

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 методики 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 методики 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 методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
Основная литература				
1	Ландау Л.Д. и др.	Теоретическая физика : В 10 т.: Учеб. пособие. Т.3 : Квантовая механика. / Под ред. Л.П. Питаевского. - 5-е изд., стереотип. - М. : Физматлит, 2002. - 808 с.	2002 Печат.	1,0
2	Павлов П.В., Хохлов А.Ф.	Физика твердого тела : Учеб. пособие / П.В.Павлов, А.Ф.Хохлов. - 3-е изд., стереотип. - М. : Высш. шк., 2000. - 494 с.	2000 печат.	0,7
3	Воробьев Л.Е.	Оптические свойства наноструктур : Учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. В.И. Ильина, А.Я. Шика. - СПб. : Наука, 2001. - 188 с.	2001, печат	0,4
Дополнительная литература				
1	Галицкий В.М. Карнаков Б.М. Коган В.И.	Задачи по квантовой механике: учебное пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1992. - 880 с.	1992 печат.	0,5
2	Иродов И.Е.	Задачи по общей физике : Учеб. пособие / И.Е.Иродов. - 4-е изд., испр. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. - 432 с.	2001 печат.	0,5
3	Иродов И.Е.	Квантовая физика : Основные законы: [Учеб. пособие] / И.Е. Иродов. - М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. - 272 с.	2001 печат.	0,5

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

Системные программные средства: Microsoft Windows, Microsoft Vista
Прикладные программные средства: Microsoft Office.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

2. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в «Интернет».

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 практических навыков расчета параметров технологических процессов лучевых и плазменных технологий. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

Контроль усвоения материала 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, выполнение расчетно-графических заданий, 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		31.08.2018	
2		31.08.2019	
3		31.08.2020	