



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

Г.С. Крайнова

(подпись)

«15» сентября 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
Физики низкоразмерных структур

Саранин А. А.

(подпись)

«15» сентября 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

«Квантовая теория твердых тел»

Направление подготовки – 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Форма подготовки очная

курс 3 семестр 6

лекции 36 час.

практические занятия 54 час.

лабораторные работы не предусмотрены.

в том числе с использованием МАО лек. 0 /пр. 36 /лаб. 0 час.

в том числе в электронной форме лек. 0 /пр. 0 /лаб. 0 час.

всего часов аудиторной нагрузки 90 час.

в том числе с использованием МАО 36 час.

в том числе в электронной форме 0 час.

самостоятельная работа 54 час.

в том числе на подготовку к экзамену 27 час.

контрольные работы 6 семестр

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены.

зачет не предусмотрен.

экзамен 6 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 18.02.2016 № 12-13-235.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики низкоразмерных структур, протокол № 1 от «15» сентября 2017 г.

Заведующий (ая) кафедрой д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Саранин А.А.

Составитель (ли): д. ф.-м. н., профессор Афремов Л. Л., к. ф.-м. н., доцент Шульга Д. В.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Bachelor's degree in 11.03.04 "Electronics and nanoelectronics"**

**Study profile "Electronics and nanoelectronics"**

**Course title: "Quantum theory of solids"**

**Variable part of Block 1, 4 credits**

**Instructor: Shulga D. V.**

**At the beginning of the course a student should be able to:**

GCC-4 the ability to creatively perceive and use the achievements of science and technology in the professional sphere in accordance with the needs of the regional and global labor market.

**Learning outcomes:**

GPC-1, ability to present an adequate modern level of knowledge of the scientific picture of the world on the basis of knowledge of the basic provisions, laws and methods of natural Sciences and mathematics

GPC-2, the ability to identify the nature of natural science problems arising in the course of professional activity, to involve for their solution the appropriate physical and mathematical apparatus

SPC-3, readiness to analyze and systematize research results, to present materials in the form of scientific reports, publications, presentations

**Course description:**

The laws of quantum mechanics form the basis for the study of the structure of matter. They allowed to find out the structure of atoms, to establish the nature of the chemical bond, to explain the periodic system of elements, to understand the structure of atomic nuclei, to study the properties of elementary particles. Since the properties of macroscopic bodies are determined by the motion and interaction of the particles from which they are composed, the laws of quantum mechanics are the basis for understanding most macroscopic phenomena. Quantum mechanics allowed, for example, to explain the temperature dependence and calculate the heat capacity of gases and solids, to determine the structure and understand many properties of solids (metals, dielectrics, semiconductors). Only on the basis of quantum mechanics could consistently explain such phenomena as ferromagnetism, superfluidity, superconductivity,. There are also phenomena (such as the Josephson effect) in which the laws of quantum mechanics are directly manifested in the behavior of macroscopic objects.

**Main course literature:**

1. SHpol'skij, EH.V. Atomnaya fizika. Tom 2. Osnovy kvantovoj mekhaniki i stroenie ehlektronnoj obolochki atoma [Atomic physics. Volume 2. Fundamentals of quantum mechanics and the structure of the electron shell of the atom] [EHlektronnyj resurs] : uchebnik / EH.V. SHpol'skij. — EHlektron. dan. — Sankt-Peterburg : Lan', 2010. — 448 s. (rus) — Access: <https://e.lanbook.com/book/443>

2. Bajkov, YU.A. Kvantovaya mekhanika [Quantum mechanics] [EHlektronnyj resurs] : uchebnoe posobie / YU.A. Bajkov, V.M. Kuznecov. —

EHlektron. dan. — Moskva : Izdatel'stvo "Laboratoriya znaniy", 2015. — 294 s. (rus)  
— Access: <https://e.lanbook.com/book/70719>

3. Kvantovaya mekhanika [Quantum mechanics]: uchebnik / Vedrinskij R.V.  
- Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo YUFU, 2009. - 384 s. ISBN 978-5-9275-0706-1 (rus)  
- Access: <http://znanium.com/catalog/product/553266>

**Form of final control:** exam.

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Квантовая теория твердых тел»**

Курс «Квантовая теория твердых тел» предназначен для студентов очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника».

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 часов), практические занятия (54 часа), самостоятельная работа (54 часа, в том числе 27 часов на подготовку к экзамену). Дисциплина реализуется на 3 курсе в 6-м семестре.

Дисциплина «Квантовая теория твердых тел» относится к вариативной части профессионального цикла дисциплин (Б1.В.ОД.1.3).

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах: «Математический анализ», «Физика конденсированного состояния», «Электричество и магнетизм», «Методы математической физики».

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: «Термодинамика и статистическая физика», «Материалы и элементы квантовой и оптической электроники», «Физика и технология квантовых приборов».

Законы квантовой механики составляют фундамент изучения строения вещества. Они позволили выяснить строение атомов, установить природу химической связи, объяснить периодическую систему элементов, понять строение ядер атомных, изучать свойства элементарных частиц. Поскольку свойства макроскопических тел определяются движением и взаимодействием частиц, из которых они состоят, законы квантовой механики лежат в основе понимания большинства макроскопических явлений. Квантовая механика позволила, например, объяснить температурную зависимость и вычислить величину теплоемкости газов и твердых тел, определить строение и понять многие свойства твердых тел (металлов, диэлектриков, полупроводников). Только на основе квантовой механики удалось последовательно объяснить такие явления, как ферромагнетизм, сверхтекучесть, сверхпроводимость. Существуют также явления (например, Джозефсона эффект), в которых законы квантовой механики непосредственно проявляются в поведении макроскопических объектов.

**Цель** изучения дисциплины – приобретение систематизированных знаний по основам квантовой механики.

### **Задачи:**

- изучение основных принципов квантовой механики;
- освоение математического аппарата квантовой механики;
- изучение основных понятий и уравнений квантовой механики;

- приобретение навыков решения задач по дисциплине квантовой механики.

Для успешного изучения дисциплины «Квантовая теория твердых тел» у студентов должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОК-4 способность творчески воспринимать и использовать достижения науки, техники в профессиональной сфере в соответствии с потребностями регионального и мирового рынка труда.

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие общекультурные/ общепрофессиональные/ профессиональные компетенции (элементы компетенций).

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-1 Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	Знает	теоретические основания квантовой теории, основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией.
	Умеет	решать типовые задачи квантовой теории.
	Владеет	точными и приближенными методами квантовой теории.
ОПК-2 Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Знает	предпосылки создания квантовой механики; математический аппарат квантовой механики; основные принципы квантовой механики.
	Умеет	находить средние значения физических величин; находить собственные значения и собственные функции операторов; вычислять коэффициент прохождения через потенциальный барьер.
	Владеет	самостоятельной работы с учебной и научной литературой
ПК-3 Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	Знает	основные уравнения квантовой механики; приближенные методы решения квантовомеханических задач
	Умеет	применять теорию возмущений к решению задач; применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общезначимую информацию
	Владеет	использования базовых теоретических знаний в

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Квантовая теория твердых тел» применяются следующие методы активного/интерактивного обучения: обсуждение в группах, решение задач с обсуждением.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 часов)**

### **Раздел 1. Физические основы квантовой теории (4 часа)**

#### **Тема 1. Излучение абсолютно черного тела (2 часа)**

Тепловое излучение. Испускательная и поглощательная способность тела. Закон Кирхгофа. Абсолютно черное тело. Спектр излучения абсолютно черного тела. Кванты энергии и постоянная Планка.

#### **Тема 2. Фотоэффект (1 час)**

Законы фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

#### **Тема 3. Спектр атома водорода (1 час)**

Строение атома. Модели строения атома. Элементарная боровская теория строения атома водорода. Спектр атома водорода. Затруднения теории Бора. Волны материи.

### **Раздел 2. Математический аппарат квантовой теории (4 часа)**

#### **Тема 1. Векторы и операторы (1 час)**

Линейное векторное пространство и его свойства. Скалярное произведение. Норма вектора. Линейные операторы в гильбертовом пространстве. Коммутирующие и некоммутирующие операторы. Свойства собственных векторов и собственных линейных самосопряженных операторов.

#### **Тема 2. Теория представлений (1 час)**

Матрицы операторов и представления волновой функции. Эквивалентность любого представления гильбертова пространства матричному. Переход от одного представления к другому как унитарное преобразование. Координатное и импульсное представления. Волновая функция, ее вероятностная интерпретация.

#### **Тема 3. Уравнение движения (2 часа)**

Временное уравнение Шредингера. Причинность. Плотность потока вероятности. Стационарные состояния. Решение задачи с начальными условиями. Зависимость средних от времени. Интегралы движения.

### **Раздел 3. Простейшие точно решаемые задачи (4 часа)**

#### **Тема 3. Потенциальная яма (1 час)**

Конечная потенциальная яма. Дискретный спектр. Туннельный эффект.

## **Тема 2. Гармонический осциллятор (1 час)**

Спектр энергий. Волновые функции. Нулевая энергия гармонического осциллятора и соотношение неопределенности. Гармонический осциллятор в представлении операторов рождения-уничтожения.

## **Тема 3. Кулоновский потенциал (2 часа)**

Движение в центральном поле. Спектр и волновые функции атома водорода.

## **Раздел 4. Момент импульса в квантовой теории (4 часа)**

### **Тема 1. Орбитальный момент импульса (2 часа)**

Магнитный и механический момент атома. Собственные значения и собственные функции момента импульса. Сложение двух моментов импульса.

### **Тема 2. Спин (2 часа)**

Спин электрона. Спиновые функции. Уравнения Паули. Принцип Паули. Периодическая система элементов Менделеева.

## **Раздел 5. Приближенные методы вычисления собственных значений и собственных функций операторов (4 часа)**

### **Тема 1. Теория возмущений в состояниях с дискретным спектром (2 часа)**

Теория возмущений (невырожденные состояния). Теория возмущений при наличии вырождения. Теория нестационарных возмущений. Переход системы из одного состояния в другое под действием возмущения.

### **Тема 2. Другие приближенные методы (2 часа)**

Вариационный метод. Метод канонических преобразований. Интегральная форма теории возмущений.

## **Раздел 6. Спин и тождественность частиц (4 часа)**

### **Тема 1. Спин элементарных частиц (1 час)**

Операторы спина. Матрицы Паули. Собственные функции оператора спина. Матрица поворотов.

### **Тема 2. Тождественность частиц (1 час)**

Принцип тождественности частиц. Уравнение Шредингера для тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные состояния. Схемы Юнга. Волновые функции системы двух электронов.

### **Тема 3. Атом гелия (1 час)**

Элементарная теория основного состояния атомов с двумя электронами. Возбужденные состояния атома гелия. Орто – и парагелий. Обменное взаимодействие в системе двух электронов.

### **Тема 4. Описание многоэлектронных систем (1 час)**

Метод самосогласованного поля (метод Хартри – Фока). Статистическая модель атома (метод Томаса – Ферми). Периодическая система химических элементов (Менделеева).

## **Раздел 7. Вторичное квантование в системе бозонов (4 часа)**

### **Тема 1. Фотоны (1 час)**

Собственные колебания и квантование электромагнитного поля. Фотоны с определенным моментом и четностью.

### **Тема 2. Фононы (1 час)**

Вторичное квантование упругого поля. Фононы в трехмерном кристалле.

### **Тема 3. Взаимодействие в системе бозонов (2 часа)**

Квазичастицы в системе взаимодействующих бозонов. Основы теории сверхтекучести. Взаимодействие электронов с излучением. Поглощение и излучение света

## **Раздел 8. Вторичное квантование в системе фермионов (4 часа)**

### **Тема 1. Система невзаимодействующих фермионов (2 часа)**

Представление чисел заполнения для систем невзаимодействующих фермионов. Энергия Ферми. «Дырочное» представление. Химический потенциал.

### **Тема 2. Система взаимодействующих фермионов (2 часа)**

Парное взаимодействие в системе фермионов. Каноническое преобразование Боголюбова. Взаимодействие электронов с фононами металла. Основы теории сверхпроводимости.

## **Раздел 9. Упругое рассеяние частиц (4 часа)**

### **Тема 1. Рассеяние частиц без спина (2 часа)**

Амплитуда и сечение рассеяния. Уравнение (Шредингера) теории рассеяния. Функция Грина. Приближение Борна. Рассеяние быстрых заряженных частиц атомами.

### **Тема 2. Фазовая теория рассеяния (1 час)**

Метод парциальных волн. Интегральное сечение рассеяния. Оптическая теорема. Упругое рассеяние медленных частиц. Упругое рассеяние в кулоновском поле.

### **Тема 3. Рассеяние тождественных частиц (1 час)**

Эффекты обмена тождественных частиц без спина. Эффекты обмена тождественных частиц, обладающих спином. Поляризация при рассеянии.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (54 часа)**

**Занятие 1. Основные понятия теории линейных операторов. (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 2. Собственные функции, собственные значения, средние. (решение задач с обсуждением) (2 часа)**

**Занятие 3. Проекционные операторы. (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 4. Представления операторов и волновых функций. Унитарные преобразования. (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 5. Стационарные состояния дискретного спектра. (решение задач с обсуждением) (2 часа)**

**Занятие 6. Уравнение Шрёдингера в импульсном представлении. Функция Грина уравнения Шрёдингера. Интегральная форма уравнения Шрёдингера. (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 7. Состояния непрерывного спектра. Прохождение через потенциальные барьеры. (решение задач с обсуждением) (2 часа)**

**Занятие 8. Системы с несколькими степенями свободы. Частица в периодическом потенциале. (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 9. Общие свойства момента импульса. (решение задач с обсуждением) (2 часа)**

**Занятие 10. Момент  $L = 1$ . (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 11. Сложение моментов. (решение задач с обсуждением) (2 часа)**

**Занятие 12. Тензорный формализм в теории момента. (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 13. Состояния дискретного спектра в центральных полях. (решение задач с обсуждением) (2 часа)**

**Занятие 14. Состояния с малой энергией связи. Частица в совместном поле короткодействующего и далекодействующего потенциалов. (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 15. Системы с аксиальной симметрией. (решение задач с обсуждением) (2 часа)**

**Занятие 16. Спин. (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 17. Спин-орбитальные состояния частицы со спином  $a = 1/2$ . Высшие спины. (решение задач с обсуждением) (2 часа)**

**Занятие 18. Спиновая (поляризационная) матрица плотности. Угловые распределения и корреляции в распадах. (обсуждение в группах) (2 часа)**

**Занятие 19. Изменение состояния во времени. Представление Шрёдингера. Движение волновых пакетов. (2 часа)**

**Занятие 20. Изменение во времени физических величин. Интегралы движения. (2 часа)**

**Занятие 21. Унитарные преобразования, зависящие от времени. Гейзенберговское представление. (2 часа)**

**Занятие 22. Временные функции Грина. (2 часа)**

**Занятие 23. Квазистационарные и квазиэнергетические состояния. (2 часа)**

**Занятие 24. Стационарные состояния частицы в присутствии магнитного поля. (2 часа)**

**Занятие 25. Изменение состояний во времени в присутствии магнитного поля. (2 часа)**

**Занятие 26. Магнитное поле орбитальных токов и спинового магнитного момента. (2 часа)**

**Занятие 27. Стационарная теория возмущений. (2 часа)**

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Название дисциплины» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Физические основы квантовой теории	ОПК-1	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 1 - 6
		ОПК-2	знает умеет владеет		
2	Раздел 2. Математический аппарат квантовой теории	ПК-3	знает умеет владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 7 - 15
		ОПК-1	знает умеет владеет		
3		ОПК-2	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы

	Раздел 3. Простейшие точно решаемые задачи	ПК-3	знает умеет владеет		№ 15 - 20
4	Раздел 4. Момент импульса в квантовой теории	ОПК-1	знает умеет владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 21 - 27
		ОПК-2	знает умеет владеет		
5	Раздел 5. Приближенные методы вычисления собственных значений и собственных функций операторов	ПК-3	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 28 - 31
		ОПК-1	знает умеет владеет		
6	Раздел 6. Спин и тождественность частиц	ОПК-2	знает умеет владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 32 - 34
		ПК-3	знает умеет владеет		
7	Раздел 7. Вторичное квантование в системе бозонов	ОПК-1	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 35 - 41
		ОПК-2	знает умеет владеет		
8	Раздел 8. Вторичное квантование в системе фермионов	ПК-3	знает умеет владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 42
		ОПК-1	знает умеет владеет		
9	Раздел 9. Упругое рассеяние частиц	ОПК-2	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 43 - 48
		ПК-3	знает умеет владеет		

Контрольные и методические материалы, а также критерии и показатели необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы

формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Шпольский, Э.В. Атомная физика. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома [Электронный ресурс] : учебник / Э.В. Шпольский. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 448 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/443>

2. Байков, Ю.А. Квантовая механика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — Электрон. дан. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 294 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/70719>

3. Квантовая механика: учебник / Ведринский Р.В. - Ростов-на-Дону:Издательство ЮФУ, 2009. - 384 с. ISBN 978-5-9275-0706-1 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/553266>

### **Дополнительная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Магазинников А.Л. Введение в квантовую механику [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Магазинников А.Л., Мухачев В.А.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 112 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13860.html>. — ЭБС «IPRbooks»

2. Краснопевцев Е.А. Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Краснопевцев Е.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010.— 354 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45097.html>. — ЭБС «IPRbooks»

3. Трясучёв, В.А. Квантовая механика для студентов технических вузов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Трясучёв ; под ред. А.В. Попков. — Электрон. дан. — Томск : ТПУ, 2017. — 156 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/106765>

4. Левичев В.В. Основы квантовой механики в простейших задачах [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Левичев В.В.— Электрон. текстовые

данные.— СПб.: Университет ИТМО, 2014.— 38 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67477.html>.— ЭБС «IPRbooks»

5. Дырдин, В.В. Физика. Квантовая физика. Квантовая механика и атомная физика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.В. Дырдин, Т.Л. Ким, С.А. Шепелева. — Электрон. дан. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2018. — 182 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/115114>

6. Блохинцев, Д.И. Основы квантовой механики [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.И. Блохинцев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2004. — 672 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/619>

7. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика Т.3. Квантовая механика (нерелятивистская теория) [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2001. — 808 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2380>

8. Балашов В.В. Курс квантовой механики [Электронный ресурс]/ Балашов В.В., Долинов В.К.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001.— 336 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16546.html>.— ЭБС «IPRbooks»

9. Елютин, П.В. Квантовая механика с задачами [Электронный ресурс] : учебное пособие / П.В. Елютин, В.Д. Кривченков ; под ред. Боголюбова Н.Н.. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2001. — 300 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48207>

10. Демидович, Б.П. Математические основы квантовой механики [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б.П. Демидович. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2005. — 200 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/604>

11. Толмачев В.В. Основы квантовой механики [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Толмачев В.В., Федотов А.А., Федотова С.В.— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005.— 240 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16586.html>.— ЭБС «IPRbooks»

12. Карлов, Н.В. Начальные главы квантовой механики [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2006. — 360 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2193>

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. <http://www.physbook.ru/>
2. <http://hep.phys.msu.ru>

3. <http://elementy.ru/trefil/20>
4. [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/1557.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1557.html)
5. <http://www.quantumintro.com/>
6. <http://phys.org/physics-news/quantum-physics/>
7. [http://www.bbc.co.uk/science/space/universe/questions\\_and\\_ideas/quantum\\_mechanics](http://www.bbc.co.uk/science/space/universe/questions_and_ideas/quantum_mechanics)

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

Важной является самостоятельная работа по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. При подготовке к занятиям студенты могут пользоваться рабочей программой учебной дисциплины, а также справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

При промежуточной аттестации до экзамена должны сдать все отчетные работы и получить допуск к экзамену.

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

Аудитория для чтения лекций и проведения практических занятий:  
персональный компьютер Lenovo ThinkPad E125 с лицензионным и свободным программным обеспечением – MS PowerPoint 2007 и Acrobat Reader XI;  
проектор Benq MP770;  
переносной экран.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
«Квантовая теория твердых тел»  
Направление подготовки – 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
Форма подготовки очная

Владивосток  
2017

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	2 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
2	4 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
3	6 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
4	8 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
5	10 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
6	12 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
7	14 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
8	16 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях
9	18 неделя	Подготовка к семинарским занятиям	3 часа	Работа на семинарских занятиях

### Характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению

Самостоятельная работа помогает студентам:

1) овладеть знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы и т.д.);

- составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста и т.д.;

- работа со справочниками и др. справочной литературой;

- использование компьютерной техники и Интернета и др.;

2) закреплять и систематизировать знания:

- работа с конспектом лекции;

- обработка текста, повторная работа над учебным материалом учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей;

- подготовка плана;

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности и уровня умений студентов.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов должен осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

#### Самостоятельная работа на лекции

Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях. Конспект лекции лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек. Лучше если они будут собственными, чтобы не приходилось просить их у однокурсников и тем самым не отвлекать их во время лекции. Целесообразно разработать собственную «маркографию» (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

#### Работа с литературными источниками

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме. Более глубокому раскрытию вопросов способствует знакомство с дополнительной литературой.

#### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Требования к конспекту для практических занятий:

1. Должен быть в отдельной тетради, подписанный.

2. Обязательно писать план занятия с указанием темы, вопросов, списка литературы и источников.

3. Отражать проблематику всех поставленных вопросов (анализ источника, литературы).

4. Иметь по ним аргументированные выводы. Слово «аргументированные» является ключевым. Главное - доказуемость выводов.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);

• дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы:

• Работа на семинарских занятиях .

• Зачет.

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

• уровень освоения студентами учебного материала;

• сформированность общеучебных умений;

• умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;

• обоснованность и четкость изложения ответа;

• оформление материала в соответствии с требованиями;

• умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;

• умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;

• умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;

• умение сформулировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**«Квантовая теория твердых тел»**  
Направление подготовки – 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
Форма подготовки очная

Владивосток  
2017

## Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-1 Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	Знает	теоретические основания квантовой теории, основные физические системы и законы, описываемые квантовой теорией.
	Умеет	решать типовые задачи квантовой теории.
	Владеет	точными и приближенными методами квантовой теории.
ОПК-2 Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>- предпосылки создания квантовой механики;</li> <li>- математический аппарат квантовой механики;</li> <li>- основные принципы квантовой механики.</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- находить средние значения физических величин;</li> <li>- находить собственные значения и собственные функции операторов;</li> <li>- вычислять коэффициент прохождения через потенциальный барьер.</li> </ul>
	Владеет	- самостоятельной работы с учебной и научной литературой;
ПК-3 Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные уравнения квантовой механики;</li> <li>- приближенные методы решения квантовомеханических задач.</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>- применять теорию возмущений к решению задач;</li> <li>- применять теоретические знания к решению практических и научных задач;</li> <li>- излагать, понимать и критически анализировать общефизическую информацию.</li> </ul>
	Владеет	- использования базовых теоретических знаний в области естественных наук при решении профессиональных задач.

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства - наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел 1. Физические основы квантовой теории	ОПК-1	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 1 - 6
		ОПК-2	знает умеет владеет		
2	Раздел 2. Математический аппарат квантовой теории	ПК-3	знает умеет владеет	Контрольная работа (ПР- 2)	Экзамен, вопросы № 7 - 15
		ОПК-1	знает умеет владеет		
3	Раздел 3. Простейшие точно решаемые задачи	ОПК-2	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 15 - 20
		ПК-3	знает умеет владеет		
4	Раздел 4. Момент импульса в квантовой теории	ОПК-1	знает умеет владеет	Контрольная работа (ПР- 2)	Экзамен, вопросы № 21 - 27
		ОПК-2	знает умеет владеет		
5	Раздел 5. Приближенные методы вычисления собственных значений и собственных функций операторов	ПК-3	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 28 - 31
		ОПК-1	знает умеет владеет		
6	Раздел 6. Спин и тождественность частиц	ОПК-2	знает умеет владеет	Контрольная работа (ПР- 2)	Экзамен, вопросы № 32 - 34
		ПК-3	знает умеет владеет		
7		ОПК-1	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы

	Раздел 7. Вторичное квантование в системе бозонов	ОПК-2	знает умеет владеет		№ 35 - 41
8	Раздел 8. Вторичное квантование в системе фермионов	ПК-3	знает умеет владеет	Контрольная работа (ПР-2)	Экзамен, вопросы № 42
		ОПК-1	знает умеет владеет		
9	Раздел 9. Упругое рассеяние частиц	ОПК-2	знает умеет владеет	Работа на семинарских занятиях	Экзамен, вопросы № 43 - 48
		ПК-3	знает умеет владеет		

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели	баллы
ОПК-1 Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	знает (пороговый уровень)	теоретические основания квантовой теории, основные физические системы и законы, описываемые квантовой механикой.	Знание теоретических оснований квантовой механики.	Способность перечислить и охарактеризовать основные физические системы и законы, описываемые квантовой механикой.	45-64
	умеет (продвинутой)	решать типовые задачи квантовой механики.	Умение решать типовые задачи квантовой механики.	Способность решать квантовомеханические задачи.	65-84
	владеет (высокий)	точными и приближенными методами квантовой механики.	Владеет методами квантовой механики.	Способность применить точные и приближенные методы квантовой механики при решении конкретных задач.	85-100
ОПК-2 Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующих физико-математический аппарат	знает (пороговый уровень)	предпосылки создания квантовой механики; математический аппарат квантовой механики; основные принципы квантовой механики; основные уравнения квантовой механики; приближенные методы решения квантовомеханических задач.	Знание математического аппарата квантовой механики, основных принципов квантовой механики.	Способность перечислить и раскрыть суть основных принципов, методов и уравнений квантовой механики.	45-64
	умеет (продвинутой)	находить средние значения физических величин; находить собственные значения и собственные функции операторов; вычислять коэффициент прохождения через потенциальный барьер; применять теорию	Умение находить средние значения физических величин, собственные значения и собственные функции операторов.	Способность применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общефизическую информацию.	65-84

		возмущений к решению задач; применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общефизическую информацию.			
	владеет (высокий)	самостоятельной работы с учебной и научной литературой; использования базовых теоретических знаний в области естественных наук при решении профессиональных задач.	Владение навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой; использования базовых теоретических знаний в области квантовой механики при решении профессиональных задач.	Способность самостоятельно работать с учебной и научной литературой; использовать базовые теоретические знания в области квантовой механики при решении профессиональных задач.	85-100
ПК-3 Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	знает (пороговый уровень)	предпосылки создания квантовой механики; математический аппарат квантовой механики; основные принципы квантовой механики; основные уравнения квантовой механики; приближенные методы решения квантовомеханических задач.	Знание математического аппарата квантовой механики, основных принципов квантовой механики.	Способность перечислить и раскрыть суть основных принципов, методов и уравнений квантовой механики.	45-64
	умеет (продвинутой)	находить средние значения физических величин; находить собственные значения и собственные функции операторов; вычислять коэффициент прохождения через потенциальный барьер; применять теорию	Умение находить средние значения физических величин, собственные значения и собственные функции операторов.	Способность применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общефизическую информацию.	65-84

		возмущений к решению задач; применять теоретические знания к решению практических и научных задач; излагать, понимать и критически анализировать общефизическую информацию.			
	владеет (высокий)	самостоятельной работы с учебной и научной литературой; использования базовых теоретических знаний в области естественных наук при решении профессиональных задач.	Владение навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой; использования базовых теоретических знаний в области квантовой механики при решении профессиональных задач.	Способность самостоятельно работать с учебной и научной литературой; использовать базовые теоретические знания в области квантовой механики при решении профессиональных задач.	85-100

### **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

Промежуточная аттестация обучающихся по учебной дисциплине осуществляется в рамках завершения изучения данной дисциплины и позволяет определить качество и уровень ее освоения. Предметом оценки освоения являются умения и знания.

Промежуточная аттестация обучающихся осуществляется в форме экзамена и позволяет определить развитие общих компетенций, предусмотренных для ОПОП. Условием допуска к экзамену является успешное освоение обучающимися всех элементов дисциплины (выполнение и сдача всех коллоквиумов и контрольных работ).

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе повседневной учебной работы по курсу дисциплины. Данный вид контроля стимулирует у обучающихся стремление к систематической самостоятельной работе по изучению учебной дисциплины, овладению общими компетенциями.

## ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ по дисциплине «Квантовая теория твердых тел»

1. Спектр излучения абсолютно черного тела.
2. Кванты энергии и постоянная Планка.
3. Законы фотоэффекта.
4. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
5. Элементарная боровская теория строения атома водорода.
6. Спектр атома водорода. Затруднения теории Бора. Волны материи.
7. Линейное векторное пространство и его свойства. Скалярное произведение. Норма вектора.
8. Линейные операторы в гильбертовом пространстве. Коммутирующие и некоммутирующие операторы.
9. Свойства собственных векторов и собственных линейных самосопряженных операторов.
10. Матрицы операторов и представления волновой функции. Эквивалентность любого представления гильбертова пространства матричному.
11. Переход от одного представления к другому как унитарное преобразование. Координатное и импульсное представления.
12. Волновая функция, ее вероятностная интерпретация.
13. Временное уравнение Шредингера. Причинность. Плотность потока вероятности.
14. Стационарные состояния. Решение задачи с начальными условиями.
15. Зависимость средних от времени. Интегралы движения.
16. Потенциальная яма. Дискретный спектр. Туннельный эффект.
17. Гармонический осциллятор. Спектр энергий. Волновые функции.
18. Нулевая энергия гармонического осциллятора и соотношение неопределенности. Гармонический осциллятор в представлении операторов рождения-уничтожения.
19. Кулоновский потенциал. Движение в центральном поле.
20. Спектр и волновые функции атома водорода.
21. Момент импульса в квантовой теории.
22. Магнитный и механический момент атома.
23. Собственные значения и собственные функции момента импульса.
24. Сложение двух моментов импульса.
25. Спин электрона. Спиновые функции.
26. Уравнения Паули. Принцип Паули.
27. Периодическая система элементов Менделеева.

28. Теория стационарных возмущений (невырожденные состояния).
29. Теория стационарных возмущений (вырожденные состояния).
30. Теория нестационарных возмущений.
31. Применение вариационного метода для расчета энергии системы.
32. Принцип тождественности частиц. Симметричные и антисимметричные состояния. Волновые функции системы двух электронов.
33. Обменное взаимодействие в системе двух электронов.
34. Атом гелия. Орто- и парагелий.
35. Метод самосогласованного поля (Хартри-Фока).
36. Статистическая модель атома.
37. Вторичное квантование. Волновая функция в системе бозонов.
38. Операторы физических величин в представлении чисел заполнения.
39. Собственные колебания и квантование электромагнитного поля.
40. Фотон. Энергия, импульс и момент импульса фотона.
41. Взаимодействие заряженной частицы с электромагнитным полем.
42. Вторичное квантование и волновая функция в системе фермионов.
43. Упругое рассеяние частиц без спина. Амплитуда и сечение рассеяния. Уравнение и функция Грина для задачи рассеяния.
44. Теория упругого рассеяния в приближении Борна.
45. Борновское рассеяние атомами быстрых заряженных частиц.
46. Фазовая теория рассеяния. Оптическая теорема.
47. Упругое рассеяние на сферической прямоугольной потенциальной яме.
48. Упругое рассеяние тождественных частиц.
49. Общая теория неупругого рассеяния. Каналы рассеяния. Оптическая теорема.

### **Критерии оценки на экзамене по дисциплине**

#### **«Квантовая теория твердых тел»**

Оценка **«отлично»** ставится, если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

Оценка **«хорошо»** ставится, если ответ обнаруживает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и

обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

Оценка «**удовлетворительно**» ставится, если ответ свидетельствует в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличается недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

Оценка «**неудовлетворительно**» ставится, если ответ обнаруживает незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

## **Комплект заданий для контрольной работы**

### **Тема 1. Физические основы квантовой теории**

#### **Вариант 1. Излучение абсолютно черного тела**

Тепловое излучение. Испускательная и поглощательная способность тела. Закон Кирхгофа. Абсолютно черное тело. Спектр излучения абсолютно черного тела. Кванты энергии и постоянная Планка.

#### **Вариант 2. Фотоэффект**

Законы фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

#### **Вариант 3. Спектр атома водорода**

Строение атома. Модели строения атома. Элементарная боровская теория строения атома водорода. Спектр атома водорода. Затруднения теории Бора. Волны материи.

### **Тема 2. Математический аппарат квантовой теории**

#### **Вариант 1. Векторы и операторы**

Линейное векторное пространство и его свойства. Скалярное произведение. Норма вектора. Линейные операторы в гильбертовом пространстве. Коммутирующие и некоммутирующие операторы. Свойства

собственных векторов и собственных линейных самосопряженных операторов.

### **Вариант 2. Теория представлений**

Матрицы операторов и представления волновой функции. Эквивалентность любого представления гильбертова пространства матричному. Переход от одного представления к другому как унитарное преобразование. Координатное и импульсное представления. Волновая функция, ее вероятностная интерпретация.

### **Вариант 3. Уравнение движения**

Временное уравнение Шредингера. Причинность. Плотность потока вероятности. Стационарные состояния. Решение задачи с начальными условиями. Зависимость средних от времени. Интегралы движения.

### **Тема 3. Простейшие точно решаемые задачи**

#### **Вариант 3. Потенциальная яма**

Конечная потенциальная яма. Дискретный спектр. Туннельный эффект.

#### **Вариант 2. Гармонический осциллятор**

Спектр энергий. Волновые функции. Нулевая энергия гармонического осциллятора и соотношение неопределенности. Гармонический осциллятор в представлении операторов рождения-уничтожения.

#### **Вариант 3. Кулоновский потенциал**

Движение в центральном поле. Спектр и волновые функции атома водорода.

### **Тема 4. Момент импульса в квантовой теории**

#### **Вариант 1. Орбитальный момент импульса**

Магнитный и механический момент атома. Собственные значения и собственные функции момента импульса. Сложение двух моментов импульса.

#### **Вариант 2. Спин**

Спин электрона. Спиновые функции. Уравнения Паули. Принцип Паули. Периодическая система элементов Менделеева.

### **Тема 5. Приближенные методы вычисления собственных значений и собственных функций операторов**

#### **Вариант 1. Теория возмущений в состояниях с дискретным спектром**

Теория возмущений (невырожденные состояния). Теория возмущений при наличии вырождения. Теория нестационарных возмущений. Переход системы из одного состояния в другое под действием возмущения.

#### **Вариант 2. Другие приближенные методы**

Вариационный метод. Метод канонических преобразований. Интегральная форма теории возмущений.

### **Тема 6. Спин и тождественность частиц**

#### **Вариант 1. Спин элементарных частиц**

Операторы спина. Матрицы Паули. Собственные функции оператора спина. Матрица поворотов.

### **Вариант 2. Тождественность частиц**

Принцип тождественности частиц. Уравнение Шредингера для тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные состояния. Схемы Юнга. Волновые функции системы двух электронов.

### **Вариант 3. Атом гелия**

Элементарная теория основного состояния атомов с двумя электронами. Возбужденные состояния атома гелия. Орто – и парагелий. Обменное взаимодействие в системе двух электронов.

### **Вариант 4. Описание многоэлектронных систем**

Метод самосогласованного поля (метод Хартри – Фока). Статистическая модель атома (метод Томаса – Ферми). Периодическая таблица химических элементов (Менделеева).

## **Тема 7. Вторичное квантование в системе бозонов**

### **Вариант 1. Фотоны**

Собственные колебания и квантование электромагнитного поля. Фотоны с определенным моментом и четностью.

### **Вариант 2. Фононы**

Вторичное квантование упругого поля. Фононы в трехмерном кристалле.

### **Вариант 3. Взаимодействие в системе бозонов**

Квазичастицы в системе взаимодействующих бозонов. Основы теории сверхтекучести. Взаимодействие электронов с излучением. Поглощение и излучение света

## **Тема 8. Вторичное квантование в системе фермионов**

### **Вариант 1. Система невзаимодействующих фермионов**

Представление чисел заполнения для систем невзаимодействующих фермионов. Энергия Ферми. «Дырочное» представление. Химический потенциал.

### **Вариант 2. Система взаимодействующих фермионов**

Парное взаимодействие в системе фермионов. Каноническое преобразование Боголюбова. Взаимодействие электронов с фононами металла. Основы теории сверхпроводимости.

## **Тема 9. Упругое рассеяние частиц**

### **Вариант 1. Рассеяние частиц без спина**

Амплитуда и сечение рассеяния. Уравнение (Шредингера) теории рассеяния. Функция Грина. Приближение Борна. Рассеяние быстрых заряженных частиц атомами.

### **Вариант 2. Фазовая теория рассеяния**

Метод парциальных волн. Интегральное сечение рассеяния. Оптическая теорема. Упругое рассеяние медленных частиц. Упругое рассеяние в кулоновском поле.

### **Вариант 3. Рассеяние тождественных частиц**

Эффекты обмена тождественных частиц без спина. Эффекты обмена тождественных частиц, обладающих спином. Поляризация при рассеянии.

### **Критерии оценки выполнения контрольной работы**

Отметка "Отлично"

Верно выполнено более 85% заданий.

Отметка "Хорошо"

Верно выполнено 75-85% заданий.

Отметка "Удовлетворительно"

Верно выполнено 60-75% заданий.

Отметка "Неудовлетворительно"

Верно выполнено менее 60% заданий.