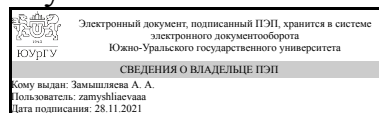


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Институт естественных и точных  
наук



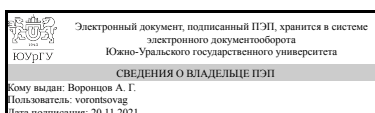
А. А. Замышляева

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.П1.15.02 Специальные главы квантовой механики  
для направления 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника  
уровень Бакалавриат  
профиль подготовки Нанoeлектроника: проектирование, технология, применение  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем

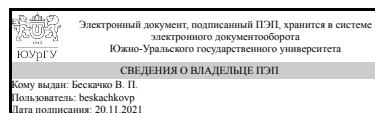
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению  
подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утверждённым приказом  
Минобрнауки от 19.09.2017 № 927

Зав.кафедрой разработчика,  
д.физ.-мат.н., доц.



А. Г. Воронцов

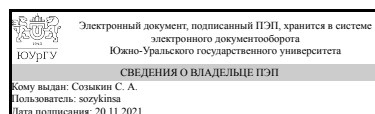
Разработчик программы,  
д.физ.-мат.н., доц., профессор



В. П. Бескачко

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной  
программы  
к.физ.-мат.н., доц.



С. А. Созыкин

## 1. Цели и задачи дисциплины

Освоение основных понятий, представлений и методов, необходимых для описания движений микроскопических систем, формирование физической картины строения материи на атомном и субатомном уровнях.

## Краткое содержание дисциплины

Курс содержит: 1) изложение математического аппарата, необходимого для адекватной интерпретации опытных фактов о свойствах и поведении микросистем, 2) мотивировку, формулировку и обсуждение основных положений нерелятивистской квантовой механики (аксиом), 3) формулировку квантовых законов движения в картинах Шредингера и Гейзенберга, 4) изложение приближенных методов решения задач квантовой механики (теории возмущений и вариационных методов), 5) рассмотрение квантовой теории момента импульса, имеющего орбитальное происхождение и связанного со спином частиц, 6) изучение особенностей в поведении систем, состоящих из тождественных частиц, 7) дает представления о характере и способах решения задач о рассеянии частиц и о тех изменениях, которые нужно сделать в нерелятивистском варианте теории, чтобы описать движения и релятивистских частиц.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Имеет практический опыт: применять положения квантовой механики для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Физика конденсированного состояния, Теория функций комплексного переменного, Вычислительная электродинамика, Схемотехника цифровых устройств, Введение в квантовую обработку информации, Вычислительная математика, Уравнения математической физики, Компьютерные сети и системы, Статистическая физика, Квантовая механика, Введение в твердотельную электронику, Программные системы инженерного анализа	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Вычислительная математика	Знает: алгоритмы вычислительной математики необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Квантовая механика	Знает: положения квантовой механики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Вычислительная электродинамика	Знает: положения вычислительной электродинамики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Введение в квантовую обработку информации	Знает: принципы и алгоритмы квантовой обработки информации; принципы работы квантовых компьютеров Умеет: Имеет практический опыт:
Уравнения математической физики	Знает: принципы построения математических моделей на основе законов физики; основные методы решения уравнений математической физики Умеет: Имеет практический опыт:
Статистическая физика	Знает: положения статистической физики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения Умеет: на основе атомистических моделей вычислять основные макроскопические характеристики (структурные, электрические и магнитные) конденсированных тел на основе методов статистической физики Имеет практический опыт:
Схемотехника цифровых устройств	Знает: схемотехнические решения цифровых устройств; основные узлы и блоки цифровых электронных устройств Умеет: Имеет практический опыт:
Теория функций комплексного переменного	Знает: положения теории функций комплексного переменного, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Физика конденсированного состояния	Знает: положения теорий, описывающих атомную структуру, электрические и магнитные свойства тел в конденсированном состоянии

	Умеет: строить упрощенные модели структурных, электрических и магнитных свойств конденсированных тел с использованием математического аппарата квантовой и классической физики Имеет практический опыт:
Введение в твердотельную электронику	Знает: Умеет: строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков твердотельной электроники Имеет практический опыт:
Программные системы инженерного анализа	Знает: Умеет: строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Имеет практический опыт: компьютерного моделирования моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
Компьютерные сети и системы	Знает: принципы проектирования и настройки компьютерных сетей и систем Умеет: Имеет практический опыт:

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 52,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		8	
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72	
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48	
Лекции (Л)	36	36	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	12	12	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	19,75	19,75	
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к зачету	9,75	9.75	
Подготовка к коллоквиумам по теории	10	10	
Консультации и промежуточная аттестация	4,25	4,25	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Математические основы квантовой механики	8	6	2	0
2	Основные положения квантовой механики	10	8	2	0

3	Квантовая теория момента импульса	9	6	3	0
4	Приближенные методы квантовой механики	11	8	3	0
5	Квантовая механика систем тождественных частиц	10	8	2	0

## 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Введение. Предмет и задачи квантовой механики. Линейные, унитарные и гильбертовы пространства ( $H$ ). Обобщенный ряд Фурье. $L_2(\Omega)$ и $l_2$ -реализации $H$ . $l_2$ -реализация $H$ как следствие $L_2(\Omega)$ -реализации. Волновая механика Шредингера и матричная механика Гейзенберга.	2
2	1	Алгебра линейных операторов в $H$ . Оператор, эрмитово сопряженный к данному. Эрмитов, антиэрмитов и унитарный операторы. Задача на собственные значения для линейных операторов в $H$ . Основные теоремы о свойствах собственных значений (СЗ) и собственных векторов (СВ) эрмитовых операторов.	2
3	1	Обобщенные решения задачи на СЗ. Обобщенная ортогональность СВ. $\delta$ -функция Дирака, ее свойства. Интеграл Фурье. Унитарная эквивалентность $L_2(R^3)$ реализаций $H$ . Оператор Фурье. Координатное и импульсное представления в квантовой механике.	2
4	2	Мотивировка основных положений КМ. Амплитуды вероятностей, состояния квантовой системы и векторы гильбертова пространства. Наблюдаемые и эрмитовы операторы Собственные состояния наблюдаемых. Основные аксиомы КМ: 1) состояний, 2) наблюдаемых, 3) о статистической интерпретации. Полные наборы коммутирующих наблюдаемых. Основные теоремы о наблюдаемых: 1) о среднем значении наблюдаемой, 2) о флуктуациях несовместных наблюдаемых (принцип неопределенностей Гейзенберга)	2
5	2	Классические и квантовые скобки Пуассона. Алгебра Ли - универсальная алгебра наблюдаемых. Принцип соответствия (формулировка Дирака). Перестановочные соотношения для фундаментальных операторов КМ. Явный вид основных операторов КМ в координатном и импульсном представлениях	2
6	2	Квантовая динамика в картине Гейзенберга. Физический смысл зависимости наблюдаемых от времени. Интегралы движения. Пример: линейный гармонический осциллятор. Теорема Эренфеста. Контрпример - ангармонический линейный осциллятор.	2
7	2	Квантовая динамика в картине Шредингера. Уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности. Закон сохранения «квантовой информации». Парадокс ЭПР и квантовая информатика.	2
8	3	Преобразование состояний и наблюдаемых при вращениях системы координат. Коммутационные соотношения между компонентами оператора момента импульса и компонентами векторной наблюдаемой. Активная точка зрения на вращения - поворот вектора состояния. Связь между операторами поворота системы координат и поворота состояния.	2
9	3	Свойства операторов компонент момента импульса, вытекающие только из коммутационных соотношений. Спектры операторов $j_x, j_y, j_z$ . Свойство спектра $j_z$ быть целым или полуцелым. Спин частиц. Классификация частиц: бозоны и фермионы. Система собственных функций операторов $l_x, l_y, l_z$ орбитального момента импульса. Сферические гармоники. Оператор инверсии и четность	2

		состояния.	
10	3	Частицы со спином $\frac{1}{2}$ . Явный вид операторов поворота. Бинарные преобразования. Спиноры. Сложение спиновых моментов двух частиц со спином $\frac{1}{2}$ . Пример: атом гелия. Орто- и парасостояния гелия. Полный момент импульса частицы со спином $1/2$ .	2
11 - 12	4	Приближенные методы квантовой механики. Стационарная теория возмущений. Теория возмущений Рэлея-Шредингера для невырожденного и вырожденного спектра. Теория возмущений Вигнера-Бриллюэна.	4
13 - 14	4	Теория возмущений, зависящих от времени. Вариационные методы. Метод Ритца-Хиллерааса. Квазиклассическое приближение, метод ВКБ.	4
15-16	5	Принцип неразличимости частиц в квантовой механике. Оператор перестановки пары частиц, его свойства. Свойства симметрии волновой функции системы тождественных частиц: бозоны и фермионы. Принцип Паули, различные формулировки	4
17-18	5	Система тождественных бозонов. Статистика Бозе-Эйнштейна. Система тождественных фермионов. Статистика Ферми.	4

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Характеризация множества как линейного, унитарного или гильбертова пространства. Линейная независимость элементов, базис. Ортонормированные базисы. Ортогонализация Грамма-Шмидта, примеры. Функциональная $L_2(\Omega)$ и $l_2$ -реализация ГП. Операторы, сопряженные к данному. Самосопряженные и унитарные операторы. Задачи на собственные значения (СЗ) для линейных операторов в ГП. Линейные операторы в $L_2(\Omega)$ . Фундаментальные операторы КМ, оператор Гамильтона (Г). Задачи на СЗ для оператора Г. Интеграл Фурье. Прямое и обратное преобразования Фурье. Координатное и импульсное представления в КМ.	2
2	2	Аксиомы КМ. Вычисление средних значений и флуктуаций наблюдаемых. Нахождение коммутаторов наблюдаемых из принципа соответствия. Квантовая динамика, картина Гейзенберга. Задача о линейном гармоническом осцилляторе. Теорема Эренфеста: контрпример - ангармонический осциллятор. Квантовая динамика, картина Шредингера. Уравнение Шредингера (УШ). Стационарное УШ. Пример: свободная частица.	2
3	3	Задача на СЗ для операторов $J_2$ и $J_z$ , спектр и система СВ в случае орбитального момента. Сферические гармоники, четность состояния. Преобразование вектора состояния при вращениях системы координат для частиц со спином $\frac{1}{2}$ . Явный вид операторов спина в представлении, в котором операторы $S_2, S_z$ диагональны. Матрицы Паули, их свойства. Сложение угловых моментов: 1) две частицы со спином $\frac{1}{2}$ , 2) полный момент импульса частицы со спином $\frac{1}{2}$ .	3
4	4	Приближенные методы КМ. Теория возмущений Рэлея-Шредингера для невырожденного спектра и для случая вырождения. Пример: энергия ионизации атома гелия. Вариационные методы. Вариационный принцип. Метод Ритца-Хиллерааса для основного состояния системы. Пример: энергия основного состояния атома гелия. Нестационарная теория возмущений. Быстрые и медленные возмущения.	3
5	5	Системы тождественных частиц в квантовой механике. Операторы перестановки частиц. Свойства симметрии векторов состояния по отношению к перестановкам частиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули.	2

		Система фермионов. Детерминант Слэтера. Система тождественных бозонов.	
--	--	--	--

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к зачету	ЭУМД, осн. лит 2, глава 1, с.5-23; 24-36; , глава 4, с. 59-77; глава 6, с. 96-116; глава 9, с.147-176; глава 13, с.223-237. ПУМД, осн. лит. 1, глава 1, с.8-63; глава 3, с. 162-196; глава 8, с. 297-307; глава 9, с. 308-332; глава 15, с. 466-490. ЭУМД, осн. лит. 1, глава 1, с. 13-39; 44-111; глава 4, с. 112-135; глава 6, с. 171-248; глава 8, с. 249-275; глава 9, с.281-290; глава 17, с. 609-616, 622- 630. ПУМД, доп.лит. 2, глава 13, с. 13-77.	8	9,75
Подготовка к коллоквиумам по теории	ЭУМД, осн. лит 2, глава 1, с.5-23; 24-36; , глава 4, с. 59-77; глава 6, с. 96-116; глава 9, с.147-176; глава 13, с.223-237. ПУМД, осн. лит. 1, глава 1, с.8-63; глава 3, с. 162-196; глава 8, с. 297-307; глава 9, с. 308-332; глава 15, с. 466-490. ЭУМД, осн. лит. 1, глава 1, с. 13-39; 44-111; глава 4, с. 112-135; глава 6, с. 171-248; глава 8, с. 249-275; глава 9, с.281-290; глава 17, с. 609-616, 622- 630. ПУМД, доп.лит. 2, глава 13, с. 13-77.	8	10

## 6. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	8	Текущий контроль	коллоквиум 1	1	5	В задании 5 вопросов из списка. Каждый правильный ответ - 1 балл	зачет
2	8	Текущий контроль	Коллоквиум 2	1	5	В задании 5 вопросов из списка. Каждый правильный ответ - 1 балл	зачет
3	8	Текущий	Коллоквиум	1	5	В задании 5 вопросов из списка. Каждый	зачет

		контроль	3			правильный ответ - 1 балл	
4	8	Текущий контроль	Коллоквиум 4	1	5	В задании 5 вопросов из списка. Каждый правильный ответ - 1 балл	зачет
5	8	Текущий контроль	Коллоквиум 5	1	5	В задании 5 вопросов из списка. Каждый правильный ответ - 1 балл	зачет
6	8	Промежуточная аттестация	Зачетное задание	-	10	В билете 2 теоретических вопроса и 2 задачи. Каждый теоретический вопрос: 2 балла - полностью правильный ответ, 1 балла - частично правильный ответ, 0 баллов - неправильный ответ. Каждая задача: 3 балла - полное правильное решение, 2 балла - правильное решение с недочетами, 1 балла - неправильное решение (есть правильные фрагменты решения), 0 баллов - неправильное решение.	зачет

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	Промежуточная аттестация является обязательной. Процедура - письменный ответ на задание, устные пояснения в случае необходимости. В билете 2 теоретических вопроса и 2 задачи. Время на работу - 1 час.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

## 6.3. Оценочные материалы

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ					
		1	2	3	4	5	6
ПК-1	Имеет практический опыт: применять положения квантовой механики для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	+	+	+	+	+	+

Фонды оценочных средств по каждому контрольному мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

Не предусмотрена

#### б) дополнительная литература:

1. Мессиа, А. Квантовая механика Т. 1 В 2-х т. Пер. с фр. В. Т. Хозяинова; Под ред. Л. Д. Фаддеева. - М.: Наука, 1978. - 478 с. ил.
2. Мессиа, А. Квантовая механика Т. 2 В 2-х т. Пер. с фр. П. П. Кулиша; Под ред. Л. Д. Фаддеева. - М.: Наука, 1979. - 583 с. ил.
3. Фейнман, Р. П. Фейнмановские лекции по физике [Текст] Вып. 8, 9 Квантовая механика пер. с англ. Р. П. Фейнман и др. - 2-е изд. - М.: Мир, 1978. - 524 с. ил.



4. Боум, А. Квантовая механика: основы и приложения Пер. с англ. А. В. Леонидова; Под ред. В. И. Манько. - М.: Мир, 1990. - 720 с. ил.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:  
Не предусмотрены

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Парфенов, П.С. Квантовая механика. Методическое пособие к практикуму по квантовой физике. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2012. — 133 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/43453> — Загл. с экрана

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Парфенов, П.С. Квантовая механика. Методическое пособие к практикуму по квантовой физике. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2012. — 133 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/43453> — Загл. с экрана

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ландау, Л.Д. Теоретическая физика Т.3. Квантовая механика (нерелятивистская теория). [Электронный ресурс] / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2001. — 808 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/2380">http://e.lanbook.com/book/2380</a> — Загл. с экрана.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Елютин, П.В. Квантовая механика с задачами. [Электронный ресурс] / П.В. Елютин, В.Д. Кривченков. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2001. — 300 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/48207">http://e.lanbook.com/book/48207</a> — Загл. с экрана.
3	Методические пособия для самостоятельной работы студента	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Парфенов, П.С. Квантовая механика. Методическое пособие к практикуму по квантовой физике. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2012. — 133 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/43453">http://e.lanbook.com/book/43453</a> — Загл. с экрана.
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Блохинцев, Д.И. Основы квантовой механики. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2004. — 672 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/619">http://e.lanbook.com/book/619</a> — Загл. с экрана.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)
2. Microsoft-Office(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	506 (16)	компьютерная техника
Практические занятия и семинары	505 (16)	компьютерная техника