



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)**

**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ШКОЛА)**

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП

Директор департамента ДТФИТ ИНТиПМ

\_\_\_\_ д.п.н., проф. Т.Н. Гнитецкая  
(подпись) (ФИО)



\_\_\_\_ д.ф.-м.н., проф. К. В. Нефедев  
(подпись) (И.О. Фамилия)

Научный руководитель ОП

«20» сентября 2023 г.

\_\_\_\_ д.ф.-м.н., проф. Л. Л. Афремов  
(подпись) (ФИО)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Отдельные главы квантовой механики в приложении к квантовым вычислениям

Специальность 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика  
Специализация Фундаментальная физика и информатика

(Совместно с ИАПУ ДВО РАН, ТОИ ДВО РАН)

Форма подготовки: очная

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика, утвержденного приказом Минобрнауки России от 1 марта 2018 г. N 158 (с изменениями и дополнениями) Рабочая программа обсуждена на заседании департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий, протокол № 1 от «20» сентября 2023 г.

Директор департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий д.ф.-м.н., проф. К.В. Нефедев  
Составитель: профессор, д.ф.-м.н. Белоконь В.И.

Владивосток  
2023

## Оборотная сторона титульного листа РПД

### **I. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:**

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

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

### **II. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:**

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

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

### **III. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:**

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

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

### **IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента теоретической физики и интеллектуальных технологий:**

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

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **Аннотация дисциплины**

### *Отдельные главы квантовой механики в приложении к квантовым вычислениям*

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы и 108 академических часов. Является дисциплиной части, формируемой участниками образовательных отношений, профессионального блока дисциплин, модуль вычислительной физики, изучается в 9 семестре и завершается зачетом. Учебным планом предусмотрено проведение лекционных занятий в объеме 32 часов, практических – 32 часов, а также выделено 44 часа на самостоятельную работу студента.

*Язык реализации: русский.*

**Цель:** изучение дополнительных разделов квантовой механики, на которые опирается курс «Отдельные главы квантовой механики в приложении к квантовым вычислениям».

#### **Задачи:**

1. Напомнить основные положения квантовой теории применительно к «чистым» состояниям, уделив особое внимание принципу суперпозиции и проблеме квантовых измерений.
2. Более детально изучить теорию представлений и общую теорию унитарных преобразований, определение собственных функций и собственных значений операторов, задаваемых в виде матриц.
3. Рассмотреть методы описания смешанных состояний с помощью матрицы плотности.

Дисциплина «Отдельные главы квантовой механики в приложении к квантовым вычислениям» логически связана с содержанием следующих дисциплин «Основы цифровой грамотности», «Основы алгоритмизации и программирования», «Python для решения практических задач вычислительной физики и смежных областей знания», «Введение в квантовые алгоритмы и компьютеры», «Квантовая механика» и других.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (элементы компетенций):

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	<b>ПК-13</b> Способен осуществлять разработку и внедрение новых методов и технологий исследования больших данных	<b>ПК-13.1</b> Совершенствует и разрабатывает новые методы, модели, алгоритмы, технологии и инструментальные средства работы с большими данными	Знает параллельные и распределённые вычисления Умеет планировать выполнение научно-технических работ Владеет планированием и выполнением научно-исследовательской работы в области разработки новых методов, моделей, алгоритмов, технологий и инструментальных средств работы с большими данными

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:

**Цель:** изучение дополнительных разделов квантовой механики, на которые опирается курс «Квантовые вычисления».

### **Задачи:**

1. Напомнить основные положения квантовой теории применительно к «чистым» состояниям, уделив особое внимание принципу суперпозиции и проблеме квантовых измерений.
2. Более детально изучить теорию представлений и общую теорию унитарных преобразований, определение собственных функций и собственных значений операторов, задаваемых в виде матриц.
3. Рассмотреть методы описания смешанных состояний с помощью матрицы плотности.

Дисциплина «Отдельные главы квантовой механики в приложении к квантовым вычислениям» логически связана с содержанием следующих дисциплин «Основы цифровой грамотности», «Основы алгоритмизации и программирования», «Python для решения практических задач

вычислительной физики и смежных областей знания», «Введение в квантовые алгоритмы и компьютеры», «Квантовая механика» и других.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (элементы компетенций):

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
	<b>ПК-13</b> Способен осуществлять разработку и внедрение новых методов и технологий исследования больших данных	<b>ПК-13.1</b> Совершенствует и разрабатывает новые методы, модели, алгоритмы, технологии и инструментальные средства работы с большими данными	Знает параллельные и распределённые вычисления Умеет планировать выполнение научно-технических работ Владеет планированием и выполнением научно-исследовательской работы в области разработки новых методов, моделей, алгоритмов, технологий и инструментальных средств работы с большими данными

## II. ТРУДОЁМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётных единицы и 108 академических часов. Является дисциплиной части, формируемой участниками образовательных отношений, профессионального блока дисциплин, модуль вычислительной физики, изучается в 9 семестре и завершается зачетом. Учебным планом предусмотрено проведение лекционных занятий в объеме 32 часов, практических – 32 часов, а также выделено 44 часа на самостоятельную работу студента.

## III. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Форма обучения – очная

	Наименование раздела дисциплины	Семест	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося	Формы промежуточ

			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР	Контроль	ной аттестации
1.	Операторы, волновая функция, суперпозиция.	9	10	10	-	-	15		
2.	Унитарные преобразования, матрицы Паули.	9	10	10	-	-	17		
3.	Измерения, смешанные состояния, матрица плотности	9	12	12	-	-	12		
	Итого:		32	32	-	-	44		Зачет

#### **IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

##### **Раздел I. Операторы, волновая функция, суперпозиция**

Тема 1. Уравнение Шредингера, волновая функция, «чистые» состояния, теория представлений

Нормировка волновой функции свободно движущейся частицы. Операторы физических величин. Соотношение неопределенностей и возможность одновременного измерения разных физических величин. Операторы и матрицы.

Тема 2. Квантовые измерения и декогеренция.

Необратимость в квантовой механике. Неопределенности и повторные измерения.

##### **Раздел II. Унитарные преобразования, матрицы Паули.**

Тема 1. Элементарная теория представлений.

Различные представления вектора состояния. Операторы и матрицы. Общая теория унитарных преобразований

Тема 2. Спин. Уравнение Дирака и матрицы Паули.

Уравнение Дирака, матрицы Паули. Трансформационные свойства волновой функции. Спиноры.

### **Раздел III. Измерения, смешанные состояния, матрица плотности**

Тема 1. Проблема измерений, взаимодействие с резервуаром, матрица плотности.

Модельная система. Реализации. Система и резервуар. Матрица плотности.

Тема 2. Фермионы и бозоны. Термодинамические потенциалы и матрица плотности.

Распределения Ферми – Дирака и Бозе-Эйнштейна. Термодинамические потенциалы. Ансамбль Гиббса. Описание состояний с помощью матрицы плотности.

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

### **Лабораторные работы**

#### **Раздел I. Операторы, волновая функция, суперпозиция**

1. Волновая функция.

Свободно движущаяся частица. Суперпозиция. Результаты измерения импульса и энергии. Редукция волнового пакета и связь с результатами измерений.

2. Операторы физических величин.

Операторы импульса, момента импульса и энергии. Вычисление средних значений. Собственные функции и собственные значения операторов. Соотношение неопределенности.

3. Уравнение Шредингера.

Стационарные состояния. Изменение средних значений во времени. Интегралы движения и условия симметрии.

#### **Раздел II. Унитарные преобразования, матрицы Паули.**

Функции как векторы в гильбертовом пространстве. Различные представления вектора состояния и операторов физических величин. Определение собственных функций и собственных значений в матричной форме.

Уравнения Клейна-Гордона-Фока и Дирака. Матрицы Дирака и матрицы Паули. Коммутационные соотношения. Спиноры. Сфера Блоха. Кубиты. Неравенство Белла.

### Раздел III. Измерения, смешанные состояния, матрица плотности

1. Модельная система спинов. Подсчет состояний и степень вырождения. Ансамбль Гиббса. Температура и химический потенциал. Фактор Гиббса и фактор Больцмана.

2. Фермионы и бозоны. Функции распределения Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака.

3. Термодинамические потенциалы и матрица плотности.

## VI. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел I. Операторы, волновая функция, суперпозиция	ПК-13.1 Совершенствует и разрабатывает новые методы, модели, алгоритмы,	Знает параллельные и распределённые вычисления	УО-2 ПР-6	
2	Раздел II. Унитарные преобразования, матрицы Паули.	технологии и инструментальные средства работы с большими данными	Умеет планировать выполнение научно-технических работ		

3	Раздел III. Измерения, смешанные состояния, матрица плотности		Владеет планированием и выполнением научно- исследовательской работы в области разработки новых методов, моделей, алгоритмов, технологий и инструментальных средств работы с большими данными	УО-2 ПР-1 ПР-6	
	Зачет				Зачет

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

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем. Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий зависит и определяется самим студентом.

Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровней, что в итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своему направлению подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов:

- работа с основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами;
  - самостоятельное ознакомление с лекционным материалом, представленным на электронных носителях, в библиотеке образовательного учреждения;
  - подготовка реферативных обзоров источников периодической печати, опорных конспектов, заранее определенных преподавателем;
  - поиск информации по теме с последующим ее представлением в аудитории в форме доклада, презентаций;
  - подготовка к выполнению аудиторных контрольных работ;
  - выполнение домашних контрольных работ;
  - выполнение тестовых заданий, решение задач;
  - составление кроссвордов, схем;
  - подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции;
  - заполнение рабочей тетради;
  - написание эссе, курсовой работы;
  - подготовка к деловым и ролевым играм;
  - составление резюме;
  - подготовка к зачетам и экзаменам;
- другие виды деятельности, организуемые и осуществляемые образовательным учреждением и органами студенческого самоуправления.

## **VIII. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(печатные и электронные издания)*

1. Шпольский Э.В. Атомная физика. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки. 6-е изд, стер. М.: Лань, 2010. - 448 с. <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:307393&theme=FEFU>

2. Давыдов А. С. Квантовая механика: учеб. пособие. 2 изд., испр. и перераб. Москва.: Наука, 1973. - 703 с.  
<https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:83835&theme=FEFU>

3. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. 6-е изд., стер. М.: Наука, 1983. – 664 с. <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=chamo:48230&theme=FEFU>

**Дополнительная литература**  
(печатные и электронные издания)

1. Ефремов, Ю. С. Квантовая механика : учебное пособие для вузов / Ю. С. Ефремов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 458 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04975-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=Urait:Urait-454020&theme=FEFU>

2. Ведринский, Р. В. Квантовая механика : учебник / Р. В. Ведринский. — Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2009. — 384 с. — ISBN 978-5-9275-0706-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-46976&theme=FEFU>

3. Савельев, И. В. Основы теоретической физики : учебник : в 2 томах / И. В. Савельев. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, [б. г.]. — Том 2 : Квантовая механика — 2018. — 432 с. — ISBN 978-5-8114-0620-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://lib.dvfu.ru/lib/item?id=Lan:Lan-104957&theme=FEFU>

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/>

Платформа электронного обучения Blackboard ДВФУ.

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

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы: лекциях и практиках, выполнении аттестационных мероприятий. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться на проработку лекционного материала, подготовку к практическим занятиям, выполнение контрольных и творческих работ.

Освоение дисциплины предполагает рейтинговую систему оценки знаний студентов и предусматривает со стороны преподавателя текущий контроль за посещением студентами лекций, подготовкой и выполнением всех практических заданий, выполнением всех видов самостоятельной работы.

Промежуточной аттестацией по дисциплине является *зачет*.

Студент считается аттестованным по дисциплине при условии выполнения всех видов текущего контроля и самостоятельной работы, предусмотренных учебной программой.

Шкала оценивания сформированности образовательных результатов по дисциплине представлена в фонде оценочных средств (ФОС).

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

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться в следующих помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением, расположенных по адресу 690022, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10:

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
Учебные аудитории для проведения учебных занятий:	
690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, этаж 4, 75,75 кв.м., № помещения 2249	Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий. Компьютерный класс (L450) 20 компьютеров (системный блок модель - 30AGCT01WW P3+монитором АОС 28» L12868POU).
690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, этаж 4, 78,71 кв.м., № помещения 3101	Лаборатория аналитической лазерной спектроскопии. Лазерно-искровой спектрометр, спектрометр комбинационного рассеяния, наборы оптики и опто-механики (L478a)
Помещения для самостоятельной работы:	
690922, Приморский край, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, этаж 10, 1016,2 кв.м., № помещения 477	Аудитории для самостоятельной работы студентов. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ДВФУ. Комплекты учебной мебели (столы и стулья). Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 115 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C). Полноцветный копир-принтер-сканер Xerox WorkCentre 7530 (WC7530CPS). Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек. Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля (A1007 (A1042))

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступно следующее лабораторное оборудование и специализированные кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.