

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

«Утверждаю»

Декан факультета ВМК МГУ  
имени М.В. Ломоносова  
академик \_\_\_\_\_



Е.И. Моисеев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Компьютерное и суперкомпьютерное моделирование квантовых систем

Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки – «Информатика и вычислительная техника» (09.06.01)

Направленность (профиль) – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (05.13.18)

2018

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Компьютерное и суперкомпьютерное моделирование квантовых систем

### **2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

### **3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ**

Направление подготовки – «Информатика и вычислительная техника» (09.06.01) Направленность (профиль) – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (05.13.18)

### **4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина входит в вариативную часть образовательной программы.

### **5 АННОТАЦИЯ (+ желательно еще и английский вариант)**

Дисциплина «Компьютерное и суперкомпьютерное моделирование квантовых систем» содержит принципы распараллеливания вычислительных задач квантовой электродинамики отдельных зарядов и поля с ограниченными видами взаимодействий, предназначенных для создания квантовых компьютеров и иных приборов обработки квантовой информации. Дисциплина включает в себя: конечномерные модели КЭД, элементы теории открытых квантовых систем в марковском окружении, компьютерные методы моделирования многокубитных систем зарядов и поля. Акцент делается на изучении состояний атомных ансамблей, устойчивых к декогерентности и допускающих простое управление.

The discipline "Computer and supercomputer modeling of quantum systems" contains the basic principle of parallelism in computational problems of quantum electrodynamics of several charges and field with the limited types of interaction, which are designed for the creation of quantum computers and other devices processing quantum information. The discipline includes: finite dimensional models of QED, elements of the theory of open quantum systems in Markov type environment, computer methods of simulation of the many qubit systems of charges and field. We highlight the treatment of atomic states resistant to the decoherence and admitting simple control.

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
<p>Владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности</p> <p>(ОПК-1)</p>	<p>31 (ОПК-1) ЗНАТЬ: современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий</p> <p>У1 (ОПК-1) УМЕТЬ: применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики</p> <p>В1 (ОПК-1) ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики</p>
<p>Способность к реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, ориентированных на современную вычислительную технику</p> <p>(ПК-4)</p>	<p>ЗНАТЬ: современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенности современных вычислительных комплексов</p> <p><b>Код 31 (ПК-4)</b></p> <p>УМЕТЬ: применять современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов</p> <p><b>Код У1 (ПК-4)</b></p> <p>ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов</p> <p><b>Код В1 (ПК-4)</b></p>
<p>Владение современными методами построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также методами разработки и реализации алгоритмов их решения на основе фундаментальных знаний в области математики и информатики</p>	<p>ЗНАТЬ: современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p> <p><b>Код 31 (ПК-1)</b></p>

(ПК-1)	<p><b>УМЕТЬ:</b>          применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения  <b>Код У1 (ПК-1)</b></p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b>          навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения  <b>Код В1 (ПК-1)</b></p>
--------	--

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

## 6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часа.

72 часа составляет контактная работа с преподавателем – 32 часов занятий лекционного типа, 26 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 12 часов индивидуальных консультаций, 4 часа групповых консультаций, 8 часов мероприятий текущего контроля успеваемости, 4 часа промежуточной аттестации.

36 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

## 7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по программированию, математическому анализу, линейной алгебре, дифференциальным уравнениям и краевым задачам, численным методам в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки», а также материалом дисциплины «Квантовая механика и квантовые вычисления», читаемой в 1 семестре магистратуры.

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются пакеты прикладных программ MATHEMATICA, язык программирования Python, пакет прикладных программ Lараск, методы распараллеливания OpenMP и MPI.

## 9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы						Самостоятельная работа учащегося, часы		
		из них						из них		
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего		
<p><b>Тема 1. Квантовая электродинамика</b></p> <p>Уравнения Максвелла. Калибровки, лоренцевская калибровка. Потенциал поля как четырехмерный вектор, его релятивистская инвариантность. Векторная и скалярная компоненты поля. Кулоновский потенциал. Квантование поля. Понятие о фотоне данной моды. Однофотонные и двух-фотонные состоя-</p>	<b>36</b>	12	10	-	-	2	<b>24</b>	12	-	<b>12</b>

<p>ния. Сжатые и когерентные состояния. Число фотонов и частота. Гармонические осцилляторы поля. Квантование поля через интегралы по путям Фейнмана.</p> <p>Метод возмущений в применении к полю. Взаимодействие зарядов и поля как возмущение. Дипольное приближение и его границы применимости. Сильные и слабые взаимодействия. Понятие темного атомного состояния.</p> <p>Испускание фотона атомом в дипольном приближении. Сечение рассеяния. Связанное и транспортное состояние электрона. Модель Джейнса-Каммингса и ее практическая реализация.</p>										
<b>Тема 2. Модифициро-</b>	<b>16</b>	4	4	-	-	2	<b>10</b>	6	-	<b>6</b>

<p><b>ванные конечномерные модели КЭД.</b></p> <p>Обобщения модели Джейнса-Каммингса и их физические реализации. Приближение вращающейся волны и условие его применимости. Ридберговские атомы.</p> <p>Модель Тависа-Каммингса. Темные, светлые и невидимые состояния атомных ансамблей. Двух-уровневые и многоуровневые атомы. Ансамблевые осцилляции Раби.</p> <p>Оптическая проводимость графов в классическом и квантовом случаях.</p> <p>.</p>										
<p><b>Тема 3. Элементы теории открытых квантовых систем</b></p> <p>Квантовые марковские процессы и их описание</p>	<p><b>16</b></p>	<p>4</p>	<p>4</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>2</p>	<p><b>10</b></p>	<p>6</p>	<p>-</p>	<p><b>6</b></p>

<p>через операторы Крауса и уравнение Линдблада (основное квантовое уравнение). Стабилизация квантовых состояний при декогерентности и ее виды. Роль темных состояний ансамблей двухуровневых атомов.</p>										
<p><b>Тема 4. Принципы распараллеливания для конечномерных моделей КЭД</b></p> <p>Квантовые эффекты, имеющие практическое применение, описываемые в модели ТСН: dephasing assisted transport и квантовое бутылочное горлышко. Связь между ними.</p> <p>Структура темных состояний в конечномерных моделях КЭД.</p> <p>Построение и компьютерное моделирование квантовых гейтов на фо-</p>	<b>34</b>	10	10	-	-	2	<b>22</b>	12	-	<b>12</b>



тонных состояниях.										
<b>Промежуточная аттестация – практическое контрольное задание + индивидуальное собеседование</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>-</b>	<b>0</b>
<b>Итого</b>	<b>108</b>						<b>72</b>	<b>36</b>		

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к практическим заданиям текущего контроля и промежуточной аттестации.

## 11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература

- 1) Р.Фейнман, Д.Лейтон, П.Сэндз, «Квантовая механика», М.Наука, 2006.
- 2) В.М.Акулин, «Динамика сложных квантовых систем», М.Наука, Физ-мат. Лит., 496 стр., 2009.
- 3) Дж. Прескилл, «Квантовые вычисления и квантовые коммуникации» (1,2,3 тома), М.:Бином, 2009. Электронный вариант: Jh. Preskill, Quantum computations and communications, Lecture Notes in Computer Science, 2001.
- 4) Д.А.Кронберг, Ю.И.Ожигов, А.Ю.Чернявский, «Квантовая информатика и квантовый компьютер», изд.-во Макс-Пресс, МГУ, М. 2011.
- 5) Х-П.Бройер, Ф.Петруччione, «Теория открытых квантовых систем», РХД, Москва-Ижевск, 2010.

Дополнительная учебно-методическая литература

- 1) Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, «Квантовая механика. Нерелятивистская теория», М.Наука, Физ-мат. Лит. 1971.
- 2) Д.А.Кронберг, Ю.И.Ожигов, А.Ю.Чернявский, «Алгебраический аппарат квантовой информатики», изд.-во Макс-Пресс, МГУ, М. 2011.
- 3) Ю.И.Ожигов, «Квантовые вычисления», изд.-во Макс-Пресс, МГУ, 2003.
- 4) К.Козн-Таннуджи, Б.Диу, Ф.Лалоз, «Квантовая механика.» тома 1,3. М., URSS, 2016. - 412 стр.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1) <http://www.arxiv.org>, quant-ph
- 2) <http://sci.cs.msu.ru/>
- 3) <http://sqi.cs.msu.su/learning/materials>

Информационные технологии, используемые в процессе обучения

В процессе обучения используются пакеты прикладных программ МАТЕМАТИКА, Lapack.

Материально-техническая база

Для преподавания дисциплины желательно иметь на ноутбуках слушателей установленный пакет МАТЕМАТИКА, или интерпретатор Python, а также подключение к Интернет.

## **12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ**

Русский

## **13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ**

д.ф.- м.н., профессор Ожигов Юрий Игоревич (ozhigov@cs.msu.su)

**Приложение**

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Компьютерное и суперкомпьютерное моделирование  
квантовых систем

»

Промежуточная аттестация состоит из двух этапов – выполнения практического контрольного задания, проверяющего приобретенные учащимся умения и навыки, и индивидуального собеседования, проверяющего приобретенные знания.

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ из соответствующих карт компетенций					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Отлично</b>	
ЗНАТЬ: современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий Код 31 (ОПК-1)	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	В целом сформированные, но неполные знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Сформированные систематические знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Устный экзамен
УМЕТЬ: применять со-	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные	В целом успешное, но не систематическое	Успешное, но содержащее отдельные про-	Сформированное умение применять	Устный экзамен

временные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики Код У1 (ОПК-1)		методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	белы умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики Код В1 (ОПК-1)	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	реферат
<b>ЗНАТЬ:</b> современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенности современных вычислительных комплексов Код З1 (ПК-4)	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных методах реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенностях современных вычислительных комплексов	В целом сформированные, но неполные знания о современных методах реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенностях современных вычислительных комплексов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных методах реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенностях современных вычислительных комплексов	Сформированные систематические знания о современных методах реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенностях современных вычислительных комплексов	Устный экзамен
<b>УМЕТЬ:</b> применять современные методы реализации различных	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде про-	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы реализации различных ма-	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы реализации раз-	Сформированное умение применять современные методы реализации различных математических	отчет

математических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов <b>Код У1 (ПК-4)</b>		граммных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов	тематических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов	личных математических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов	алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов	
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов <b>Код В1 (ПК-4)</b>	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов	Сформированное владение навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов	отчет
<b>ЗНАТЬ:</b> современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также	В целом сформированные, но неполные знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при ре-	Сформированные систематические знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при реше-	Устный экзамен

решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения <b>Код 31 (ПК-1)</b>		современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	шении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	нии естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	
УМЕТЬ: применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения <b>Код У1 (ПК-1)</b>	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения	Сформированное умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения	Отчет
ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа мате-	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических мо-	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математиче-	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа мате-	Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа мате-	отчет

<p>матических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения <b>Код В1 (ПК-1)</b></p>		<p>делей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>ских моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>ских моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>ских моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	
---	--	---	--	--	--	--