

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Моделирование квантовых систем

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Курс «Моделирование квантовых систем» является профильной дисциплиной магистерской программы «Квантовые вычисления». Дисциплина обеспечивает теоретическую подготовку студентов в области описания принципов и методов моделирование квантовых систем с использованием как классических компьютеров, так и квантовых компьютеров и квантовых симуляторов. Важное значение придается учету процессов декогерентизации квантовых состояний и операций. Особое внимание уделяется построению наиболее полных, адекватных и точных методов исследования квантовых схем с учетом декогерентизации и квантовых шумов.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 2 часа коллоквиумов), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Формируемые компетенции и входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

НАЗВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ:

СПК-1 Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области квантовых вычислений.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области квантовых вычислений.

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области квантовых вычислений и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Для того чтобы формирование данных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные методы научно-исследовательской деятельности.
- **УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

Для освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые в рамках дисциплин общей физики «Оптика», «Электромагнетизм» и теоретической физики «Электродинамика», «Квантовая механика», а также математических дисциплин «Математический анализ», «Теория функций комплексной переменной», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятностей и основы математической статистики».

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

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 из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. Введение. Квантовая механика и развитие информационных технологий 1.1. Закон Мура и развитие информационных технологий 1.2. Блеск и нищета современной физики. Примеры актуальных для материаловедения и медицины задач, которые недоступны для современных и перспективных суперкомпьютеров. 1.3. Необходимость разработки квантовых компьютеров и симуляторов 1.4. Общие требования, необходимые для	3	1	1		2	1 час Решение задач по сравнению вычислительной сложности различных классических и квантовых алгоритмов, в том числе для преобразования		1

реализации квантовых компьютеров и симуляторов.						Фурье, факторизации чисел и поиска в неструктурированной базе данных.		
2. Общий формализм для описания квантовых шумов и качества квантовых операций 2.1. Квантовые операции, декогерентизация и квантовые шумы. 2.2. Концепция полной положительности. Операторное разложение. 2.3. Формализм Чоя- Ямилковского.	2	1			1	1 час Повторение лекционного материала по теме «Формализм Чоя-Ямилковского»		1
2.4. Некоторые простейшие модели квантовых шумов. Классическая и фазовая ошибки. Шум деполяризации. 2.5. Амплитудная и фазовая релаксация состояний кубитов 2.6. Общие подходы к математическому моделированию квантовых операций на классических компьютерах. 2.7. Моделирование динамики запутанности в квантовых операциях 3. Некоторые физические модели реализации кубитов с учетом декогерентизации и квантовых шумов 3.1. Кубит на спиновом магнитном резонансе 3.2. Поляризационный кубит с учетом фазового шума и деполяризации 3.3. Спиральность электромагнитного поля.	11	4	3		7	4 часа Решение задач по теме «Физические модели реализации кубитов с учетом декогерентизации и квантовых шумов»		4

<p>Когерентное состояние электромагнитного поля в резонаторе. Квантование электромагнитного поля</p> <p>3.4. Поляризационное преобразование, задаваемое оптической фазовой пластинкой с учетом фазовой декогерентизации</p> <p>3.5. Общность описания поляризационных преобразований в квантовой физике и поляризационной оптике. Осцилляции нейтрино.</p> <p>3.6 Квантовые компьютеры на основе ионов и атомов в ловушках с учетом декогерентизации</p> <p>3.7. Атомы и ионы в ловушках. Взаимодействие атома или иона в ловушке с электромагнитным полем. Описание процессов декогерентизации</p> <p>3.8. Сверхпроводниковые кубиты с учетом декогерентизации и квантовых шумов.</p> <p>3.9. Эффект Джозефсона. Уравнения для джозефсоновского перехода. Джозефсоновский переход под токовым смещением (управлением). Уравнение маятника.</p> <p>3.10 Квантование квази- механической системы</p> <p>3.11. Зарядовый, потоковый и фазовый кубиты. Сверхпроводниковые кубиты в резонаторах.</p> <p>3.12. Измерение сверхпроводниковых кубитов</p> <p>3.13. Кубиты на основе квантовых точек с учетом декогерентизации и квантовых шумов</p> <p>3.14. Квантовые точки в резонаторе. Теория Флоке (квантовая точка в резонаторе на лазерных качелях). Квантовые преобразования</p> <p>3.15. Квантовый компьютер на NV- центрах в алмазе.</p>								
<p>4. Влияние квантовых шумов на основные логические элементы квантовой информатики</p>	12	1	1	2 часа Коллоквиум	4	1 час Решение задач по		8

<p>4.1 Квантовые биты с учетом декогерентизации и шумов</p> <p>4.2. Влияние процессов декогерентизации на реализацию произвольного состояния кубита посредством унитарного поворота.</p> <p>4.3. Влияние процессов декогерентизации на систему кубитов</p> <p>4.4. Измерение кубитов, подверженных декогерентизации. Нечеткие измерения.</p> <p>4.5. Простейшие квантовые логические элементы с учетом декогерентизации и шумов</p> <p>4.6. Преобразование Уолша-Адамара (Walsh-Hadamard Transformation) с учетом декогерентизации</p> <p>5. Влияние процессов декогерентизации на некоторые алгоритмы квантовой информатики</p> <p>5.1. Сверхплотное кодирование и телепортация с учетом декогерентизации и шумов</p> <p>5.2. Квантовый параллелизм с учетом декогерентизации и шумов. Алгоритмы Дойча и Дойча-Джозсы. Разрушение суперпозиции квантовых состояний под действием шумов.</p> <p>5.3. Влияние процессов декогерентизации на квантовое преобразование Фурье</p> <p>5.4. Нахождение периода функции и факторизация чисел с учетом декогерентизации и шумов</p> <p>5.5. Квантовая криптография с учетом декогерентизации и постороннего вмешательства</p> <p>5.6. Влияние процессов декогерентизации на алгоритм Гровера</p> <p>5.7. Влияние квантового исправления ошибок</p>			<p>по темам «Метод максимального правдоподобия и информационная матрица Фишера» и «Статистические свойства корневых оценок»</p>		<p>теме «Квантовые биты с учетом декогерентизации и шумов»</p> <p>7 часов</p> <p>Подготовка к коллоквиуму</p>		
---	--	--	---	--	---	--	--

на качество и надёжность квантовых операций								
6. Квантовая информатика и некоторые задачи математического моделирования. 6.1. Корневой подход к исследованию механических систем. Иллюстрация квазиквантового метода моделирования 6.2. Томографический метод моделирования квантовых систем. Физические и вычислительные аспекты реализации метода 6.3. Диффузионный метод Монте-Карло моделирования квантовых систем 6.4. Исследование динамических систем методами квантовой теории 6.5. Представление классических динамических систем на языке квантовых статистических ансамблей. 6.6. Описание на основе формализма Гамильтона-Якоби. 6.7. Примеры различных динамических систем. Логистическая модель, осциллятор Ван дер Поля, динамические системы Лоренца, Рёслера (включая Ресслеровский гиперхаос) и Рабинович-Фабриканта. 6.8. Показатели Ляпунова для различных динамических систем.	8	3	2		5	3 часа Решение задач по теме «Исследование динамических систем методами квантовой теории»		3
7. Квантовые симуляторы в приложении к актуальным задачам материаловедения и медицины. 7.1. Эффективный и конструктивный подход к моделированию квантовых систем с использованием квантовых компьютеров и	18	8	5		13	5 часов Решение задач по теме «Фундаментальная взаимосвязь между квантовой физикой и		5

<p>симуляторов. Алгоритм Залки-Визнера.</p> <p>7.2. Алгоритмы проецирования гамильтониана, описывающего фермионную систему на пространство кубитов.</p> <p>7.3. Задача вычисления его минимального собственного значения гамильтониана. Квантовый алгоритм оценивания фазы QPE (Quantum Phase Estimation). Квантовый вариационный алгоритм нахождения собственных значений гамильтониана VQE (Variational Quantum Eigensolver). Обобщенный квантовый вариационный алгоритм нахождения собственных значений GVQE (Generalised Variational Quantum Eigensolver).</p> <p>7.4. Взаимодействие молекул- лигандов белком-мишенью и двойной спиралью ДНК. Оценка прочности соединений белок-лиганд и ДНК-лиганд. Принципы разработки новых лекарственных соединений.</p> <p>7.5. Симуляторы на основе ультрахолодных захваченных в ловушки атомов или ионов. Симуляторы на основе сверхпроводников.</p> <p>7.6. Моделирование физических систем, которые описываются обобщенными моделями Изинга и Хаббарда (метаматериалы на основе Мотовского перехода металл-диэлектрик, искусственные кристаллы с заданным законом дисперсии, новые сверхпроводниковые, нано-магнитные материалы и др.).</p> <p>7.7. Фундаментальная взаимосвязь между квантовой физикой и дискретной математикой. Интерпретация дискретных объектов математики в терминах квантовых вычислений. Связь полиномов Жегалкина, определяющих</p>					<p>дискретной математикой. Интерпретация дискретных объектов математики в терминах квантовых вычислений.»</p>		
---	--	--	--	--	---	--	--

<p>алгебраическую нормальную форму булевой функции, и схем квантовой логики. Алгоритм решения задачи коммивояжера, основанный на вычислении перманента. Применение метода бозонных выборок (boson sampling) для расчета перманентов произвольной квадратной матрицы.</p> <p>7.8. Анализ влияния квантовых ошибок и декогерентизации на точность квантовой симуляции.</p> <p>7.9. Схемы коррекции квантовых ошибок на разных уровнях архитектуры квантовых компьютеров и симуляторов.</p> <p>7.10. Прецизионные квантовые измерения и томография как инструменты для настройки квантового симулятора и экстрагирования из него информации на всех этапах жизненного цикла алгоритма симуляции, включая инициализацию квантового состояния, его эволюцию и измерение.</p>								
Промежуточная аттестация - зачет	18		4		4	14 часов Подготовка к промежуточной аттестации (зачету).		14
Итого	72	18	16	2	36			36

* Текущий контроль успеваемости в рамках занятий семинарского типа реализуется в форме обсуждения.

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

- 8.1 Основная и дополнительная литература доступная студентам через Интернет или по запросу лектору.
- 8.2 Электронные презентации основных тем дисциплины доступные через сайт ЦКТ: quantum.phys.msu.ru

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Типовые контрольные вопросы и темы для обсуждения:

1. Условие полной положительности преобразования. Операторное разложение.
2. Классическая и фазовая ошибки. Шум деполяризации.
3. Оценка запутанности в квантовых операциях. Негативность
4. Поляризационное преобразование, задаваемое оптической фазовой пластинкой с учетом фазовой декогерентизации. Осцилляции нейтрино.
5. Симуляторы на основе ультрахолодных захваченных в ловушки атомов или ионов.
6. Симуляторы на основе сверхпроводников.
7. Моделирование физических систем, которые описываются обобщенными моделями Изинга и Хаббарда

Типовые вопросы к зачету:

1. Закон Мура и развитие информационных технологий
2. Общие требования, необходимые для реализации квантовых компьютеров и симуляторов
3. Формализм Чоя- Ямилковского.
4. Амплитудная и фазовая релаксация состояний кубитов
5. Математическое моделирование квантовых операций на классических компьютерах.
6. Кубит на спиновом магнитном резонансе
7. Поляризационный кубит с учетом фазового шума и деполяризации
8. Эффект Джозефсона. Уравнения для джозефсоновского перехода. Джозефсоновский переход под токовым смещением (управлением). Уравнение маятника. Квантование квази- механической системы
9. Квантовые точки в резонаторе. Теория Флоке (квантовая точка в резонаторе на лазерных качелях). Квантовые преобразования
10. Квантовые биты с учетом декогерентизации и шумов
11. Влияние процессов декогерентизации на реализацию произвольного состояния кубита посредством унитарного поворота.
12. Влияние процессов декогерентизации на систему кубитов

13. Измерение кубитов, подверженных декогерентизации. Нечеткие измерения.
14. Простейшие квантовые логические элементы с учетом декогерентизации и шумов
15. Сверхплотное кодирование и телепортация с учетом декогерентизации и шумов
16. Влияние процессов декогерентизации на квантовое преобразование Фурье
17. Влияние процессов декогерентизации на алгоритм Гровера
18. Исследование динамических систем методами квантовой теории. Описание на основе формализма Гамильтона- Якоби.
19. Алгоритм Залки-Визнера.
20. Квантовый алгоритм оценивания фазы QPE (Quantum Phase Estimation).
21. Квантовый вариационный алгоритм нахождения собственных значений гамильтониана VQE (Variational Quantum Eigensolver).
22. Взаимодействие молекул- лигандов белком-мишенью и двойной спиралью ДНК. Оценка прочности соединений белок-лиганд и ДНК-лиганд. Принципы разработки новых лекарственных соединений.
23. Фундаментальная взаимосвязь между квантовой физикой и дискретной математикой. Связь полиномов Жегалкина, определяющих алгебраическую нормальную форму булевой функции, и схем квантовой логики.
24. Алгоритм решения задачи коммивояжера, основанный на вычислении перманента. Применение метода бозонных выборок (boson sampling) для расчета перманентов произвольной квадратной матрицы.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области квантовых вычислений (В1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых вычислений (В2, СПК-2).

ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений (В3, СПК-3).

УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).

УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области квантовых вычислений (У2, СПК-2).

УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3).

ЗНАТЬ: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области квантовых вычислений (З1, СПК-1).

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области квантовых вычислений (З2, СПК-2).

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (З3, СПК-3).

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области квантовых вычислений	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых вычислений

(В1, СПК-1).		вычислений	вычислений	вычислений	
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых вычислений (В2, СПК-2).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых вычислений	Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых вычислений
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений (В3, СПК-3).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений

<p><i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области квантовых вычислений (У2, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области квантовых вычислений</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области квантовых вычислений</p>

<p><i>УМЕТЬ:</i> организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3)</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>Успешное и систематическое проявление организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области квантовых вычислений (31, СПК-1)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области квантовых вычислений</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области квантовых вычислений</p>

<p>ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области квантовых вычислений (32, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области квантовых вычислений</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области квантовых вычислений</p>
<p>ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (33, СПК-3)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в области квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов организации и планирования исследований в области квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Нильсен М, Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация: Пер. с англ. Под ред. М.Н. Вялого и П.М. Островского с предисловием К.А. Валиева. - М.: Мир. 2006. 824 с.
2. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: Надежды и реальность. 2-е изд., исп. М.–Ижевск: НИЦ РХД, 2002. 320 с.
3. В.П. Шляйх, Квантовая оптика в фазовом пространстве. –М.: ФИЗМАТЛИТ, (2005),760с.
4. Мандель Л., Вольф Э. Оптическая когерентность и квантовая оптика. Москва: Физматлит, 2000. 896 р.
5. Скалли М.О., Зубайри М.С. Квантовая Оптика. Москва: Физматлит, 2003. 512 р.
6. Marvian I., Lloyd S. Universal Quantum Emulator // Science. 2016. Vol. 279, № 5354. P. 1113–1117.
7. Wiesner S. Simulations of Many-Body Quantum Systems by a Quantum Computer. 1996.
8. Zalka C. Efficient simulation of quantum systems by quantum computers // Fortschritte der Phys. 1998.

Дополнительная литература

1. Валиев К.А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // Успехи Физических Наук. 2005. Т.175. №1. С.3-39.
2. Jaksch D. et al. Cold bosonic atoms in optical lattices // Phys. Rev. Lett. 1998.
3. Deng X., Porras D., Cirac J. Quantum phases of interacting phonons in ion traps // Phys. Rev. A. 2008.
4. Byrnes T. et al. Quantum simulator for the Hubbard model with long-range Coulomb interactions using surface acoustic waves // Phys. Rev. 2007.
5. Hwang M., Plenio M. Quantum phase transition in the finite jaynes-cummings lattice systems // Phys. Rev. Lett. 2016.
6. I. M. Georgescu, S. Ashhab, and Franco Nori Quantum simulation, Rev. Mod. Phys. 86, 153, 2014.
7. Yu. I. Bogdanov, A. A. Kalinkin, S. P. Kulik, E. V. Moreva, V. A. Shershulin Quantum polarization transformations in anisotropic dispersive medium // New Journal of Physics. 2013. V.15. 035012. 24 p
8. Yu.I. Bogdanov, A.Yu. Chernyavskiy, A.S. Holevo, V.F. Luckichev, A.A. Orlikovsky Mathematical models of quantum noise // Proceedings of SPIE. 2013. V. 8700. Art. 870019
9. Yu.I. Bogdanov, A.Yu. Chernyavskiy, A.S. Holevo, V.F. Luckichev, A.A. Orlikovsky Modeling of quantum noise and the quality of hardware components of quantum computers// Proceedings of SPIE. 2013. V. 8700. Art. 87001A.
10. Yu.I. Bogdanov, A.Yu. Chernyavskiy, A.S. Holevo, V.F. Luckichev, A.A. Orlikovsky, B.I. Bantysh Creating, maintaining, and breaking of

quantum entanglement in quantum operations // Proceedings of SPIE. 2013. V. 8700. Art. 87001B.

11. Богданов Ю.И., Лукичев В.Ф., Нуянзин С.А., Орликовский А.А., Холево А.С., Чернявский А.Ю. Математическое моделирование влияния квантовых шумов на качество элементной базы квантовых компьютеров // Труды ФТИАН. М. Наука. 2012. Т.22. с. 39-77.
12. Богданов Ю.И., Лукичев В.Ф., Орликовский А.А., Семенихин И.А., Чернявский А.Ю. Моделирование многокубитовых квантовых систем на персональных компьютерах и суперкомпьютерах // Труды ФТИАН. М. Наука. 2014. Т.24. с.3-14.

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий (лекций и семинаров) и регулярная самостоятельная работа в течение семестра. Для большей части тем курса имеются электронные презентации, выложенные на сайте ЦКТ ФФ МГУ. Рекомендуется перед лекцией скачать соответствующую презентацию и иметь ее на интерактивном занятии на ноутбуке или планшете в режиме off-line или в распечатанном виде, используя как основу конспекта для собственных пометок и комментариев.

13. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):

При реализации учебной работы в рамках дисциплины «Моделирование квантовых систем» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами лекций и семинарских занятий. Курс имеет электронные версии (презентации) лекций. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика». Любая аудитория, оснащенная проекционным оборудованием с возможностью подключения к ноутбуку, экраном, и учебной доской.