

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Компьютерное моделирование квантовых операций и алгоритмов

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Курс «Компьютерное моделирование квантовых операций и алгоритмов» является профильной дисциплиной магистерской программы «Квантовые вычисления». Данный курс направлен на приобретение навыков компьютерного моделирования различных квантовых систем и алгоритмов. В процессе прохождения настоящего курса студенты научатся строить программные модели квантовых схем, проводить учет квантовых шумов и анализировать запутанность между различными квантовыми подсистемами. В рамках занятий в компьютерном классе и самостоятельной работы студенты освоят базовые квантовые алгоритмы, научатся моделировать процессы декогерентизации и получат опыт работы с основными методами исправления квантовых ошибок. В качестве контрольных мероприятий студентам будут предлагаться различные задачи моделирования, позволяющие преподавателю дать оценку качества усвоенного материала и навыков обучающихся.

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 1 зачетную единицу, всего 36 часов, из которых 18 часов составляют практические занятия с преподавателем, 18 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. Понятие кубита и основные квантовые преобразования 1.1. Математическое определение кубита. Представление квантового состояния кубита на сфере Блоха. 1.2. Основные однокубитные квантовые вентили. Визуализация эволюции квантового состояния на сфере Блоха. 1.3. Измерение однокубитового квантового состояния. Измерения общего вида, проективные измерения, POVM измерения.	4		2	Защита индивидуальных задач по теме «Понятие кубита и основные квантовые преобразования»	2	2 часа Подготовка к теме «Понятие кубита и основные квантовые преобразования» Решение индивидуальных задач по теме «Понятие кубита и основные квантовые преобразования»		2

<p>1.4. Методы сравнения двух квантовых состояний. Вероятность совпадения (Fidelity).</p> <p>1.5. Эффективный подход к моделированию квантовых систем с использованием квантовых компьютеров и симуляторов. Алгоритм Залки-Визнера.</p>						преобразования»	
<p>2. Методы моделирования многокубитовых систем</p> <p>2.1. Генерация многокубитовых состояний. Основные двухкубитные квантовые вентили. Вентиль Тоффоли.</p> <p>2.2. Алгоритмические методы моделирования многокубитовых систем.</p> <p>2.3. Генерация сложных многокубитовых квантовых вентилях (C(n)NOT, Оракулы и т.д.).</p> <p>2.4. Квантовые схемы: расчет эволюции многокубитовых квантовых состояний. Квантовый параллелизм. Алгоритм Дойча-Джозсы.</p> <p>2.5. Алгоритм квантового преобразования Фурье. Оценка эффективности алгоритма.</p> <p>2.6. Алгоритм нахождения периода. Моделирование алгоритма Шора.</p> <p>2.7. Компьютерная реализация алгоритма Гровера.</p>	4		2	Защита индивидуальных задач по теме «Методы моделирования многокубитовых систем»	2	2 часа Подготовка к теме «Методы моделирования многокубитовых систем» Решение индивидуальных задач по теме «Методы моделирования многокубитовых систем»	2
<p>3. Запутанность квантовых состояний</p> <p>3.1. Основные методы оценки квантовой запутанности: негативность, коэффициент корреляции Шмидта.</p> <p>3.2. Запутанность как основной ресурс квантовых алгоритмов. Алгоритм сверхплотного кодирования. Алгоритм квантовой телепортации.</p> <p>3.3. Некоторые алгоритмы квантовой</p>	4		2	Защита индивидуальных задач по теме «Запутанность квантовых состояний»	2	2 часа Подготовка к теме «Запутанность квантовых состояний» Решение индивидуальных	2

псевдотелепатии.						задач по теме «Запутанность квантовых состояний»		
<p>4. Формализм описания квантовых шумов и качества квантовых операций</p> <p>4.1. Моделирование квантовых схем в терминах матриц плотности. Визуализация смешанных квантовых состояний на сфере Блоха. Понятие частичного следа.</p> <p>4.2. Моделирование квантовых шумов методом Монте-Карло.</p> <p>4.3. Операторное разложение. Модели квантовых шумов: классическая, фазовая ошибка, деполяризующий шум, амплитудно-фазовая релаксация.</p> <p>4.4. Формализм Чоя-Ямилковского. Расчет точности квантовых схем с помощью матрицы эволюции.</p> <p>4.5. Моделирование квантовых схем с учетом декогерентизации и шумов.</p> <p>4.6. Динамика запутанности в неидеальных квантовых операциях.</p>	8		4	Защита индивидуальных задач по теме «Формализм описания квантовых шумов и качества квантовых операций»	4	4 часа Подготовка к теме «Формализм описания квантовых шумов и качества квантовых операций» Решение индивидуальных задач по теме «Формализм описания квантовых шумов и качества квантовых операций»		4
<p>5. Основные методы коррекции квантовых ошибок</p> <p>5.1. Коды коррекции ошибок, основанные на повторении: реализация трехкубитового кода коррекции ошибок.</p> <p>5.2. Моделирование девятикубитового кода Шора. Анализ эффективности кода коррекции. Понятие каскадных кодов.</p>	4		2	Защита индивидуальных задач по теме «Основные методы коррекции квантовых	2	2 часа Подготовка к теме «Основные методы коррекции квантовых ошибок» Решение индивидуальных		2

5.3. Симплектические коды коррекции ошибок: реализация семикубитового кода Стаина.				ошибок»		задач по теме «Основные методы коррекции квантовых ошибок»	
6. Некоторые аспекты применения квантовой информатики 6.1. Коэффициент корреляции Шмидта как метод оценки корреляций классических распределений. 6.2. Исследование динамических систем методами квантовой теории. Логистическая модель. Осциллятор Ван дер Поля. Динамические системы Лоренца, Рёслера и Рабиновича-Фабриканта. Расчет показателей Ляпунова. 6.3. Фундаментальная связь между квантовой физикой и дискретной математикой. Использование полиномов Жегалкина для генерации квантовых схем. 6.4. Задача вычисления минимального собственного значения гамильтониана. Квантовый алгоритм оценки фазы QPE (Quantum Phase Estimation). Квантовый вариационный алгоритм нахождения собственных значений гамильтониана VQE (Variational Quantum Eigensolver)	8		4	Защита индивидуальных задач по теме «Некоторые аспекты применения квантовой информатики»	4	4 часа Подготовка к теме «Некоторые аспекты применения квантовой информатики» Решение индивидуальных задач по теме «Некоторые аспекты применения квантовой информатики»	4
Промежуточная аттестация – зачет	4		2	Проведение промежуточной аттестации (зачет)	2	2 часа Подготовка к промежуточной аттестации (зачету)	2
Итого	36		18		18	18	18

* 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. Формализм операторного разложения. Основные модели квантовых шумов.
2. Оценка запутанности в квантовых операциях. Негативность.
3. Алгоритм Гровера. Принцип работы.
4. Семикубитовый код коррекции Стина. Преимущества и недостатки.
5. Принципы моделирования классических динамических систем методами квантовой теории.

Типовые вопросы к зачету:

1. Представление кубита на сфере Блоха.
2. Основные квантовые гейты. Обозначение на схемах.
3. Фиделити квантовых состояний.
4. Формализм Чоя-Ямилковского.
5. Классическая и фазовая ошибка. Соответствующие операторы Крауса.
6. Деполяризующий шум. Соответствующие операторы Крауса.
7. Амплитудная и фазовая релаксация. Соответствующие операторы Крауса.
8. Описание квантовых состояний с помощью матриц плотности.
9. Система кубитов. Понятие тензорного произведения. Методы моделирования.

10. Многокубитовые вентили. Декомпозиция гейтов.
11. Алгоритм сверхплотного кодирования. Алгоритм квантовой телепортации.
12. Алгоритм Залки-Визнера.
13. Связь полиномов Жегалкина, определяющих алгебраически нормальную форму булевой функции, с схемами квантовой логики.
14. Исследование динамических систем методами квантовой теории. Описание на основе формализма Гамильтона-Якоби.
15. Квантовый вариационный алгоритм нахождения собственных значений гамильтониана.

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 (ЗЗ, 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 (В1, СПК-1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых вычислений	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых 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

<p><i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений (В3, СПК-3).</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений</p>	<p>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</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых вычислений</p>
<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 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><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><i>ЗНАТЬ:</i> 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>

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (ЗЗ, СПК-3)	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в области квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	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	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	Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования
---	-------------------	---	---	---	--

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:

- Quantum.msu.ru

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 «Компьютерное моделирование квантовых операций и алгоритмов» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами методических указаний. Курс имеет электронные версии методических указаний. Занятия проводятся в аудитории, оборудованной стационарными компьютерами с установленным пакетом прикладных программ MATLAB и базовых программ для работы с текстовыми документами.

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». Компьютерный класс с учебной доской и установленным программным обеспечением: MATLAB, Microsoft Office, Adobe Acrobat.