

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Квантовая томография и обработка результатов квантовых измерений

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Курс «Квантовая томография и обработка результатов квантовых измерений» является профильной дисциплиной магистерской программы «Квантовые вычисления». Дисциплина обеспечивает теоретическую подготовку студентов в области описания принципов и методов квантовых измерений и томографии квантовых состояний с целью их использования в задачах квантовых вычислений, квантовой связи и квантовой метрологии. Важное значение придается принципам адекватности, полноты и точности в задачах квантовых измерений и томографии. Особое внимание уделяется построению методов квантовых измерений, обеспечивающих точность восстановления квантовых состояний, близкую к фундаментальному физико-статистическому пределу.

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. Три кита, на которых держится мир квантовых явлений. 1.1. Объективная случайность 1.2. Принцип дополнительности Нильса Бора 1.3. Квантовая запутанность и квантовые корреляции	3	1	1		2	1 час Решение задач по вычислению распределений вероятности при измерении однокубитовых и двухкубитовых чистых квантовых состояний		1

<p>2. Природа квантовых статистических явлений.</p> <p>2.1. Взаимно-дополнительные координатное и импульсное представления в квантовой механике</p> <p>2.1.1. Статистическая интерпретация прямого и обратного преобразований Фурье. Координатное и импульсное распределения</p> <p>2.1.2. Принцип дополнительности Н. Бора в контексте координатного и импульсного распределений</p> <p>2.1.3. Взаимно-дополнительные распределения в опыте Юнга. Анализ экспериментов «который путь».</p>	2	1		1	1 час Повторение лекционного материала по теме «Взаимно-дополнительные координатное и импульсное представления в квантовой механике»		1
<p>2.2. Характеристические функции.</p> <p>2.2.1. Представление характеристической функции распределения в виде свёртки в канонически-сопряженном пространстве.</p> <p>2.2.2. Вычисление среднего и моментов.</p> <p>2.2.3. Неполнота классической и полнота квантовой статистики.</p> <p>2.2.4. Связь характеристических функций с операторами координаты и импульса в координатном и импульсном представлении.</p> <p>2.2.5. Фундаментальные коммутационные соотношения и квантовые статистические явления.</p> <p>2.3. Точность статистических характеристик в квантовой информатике</p> <p>2.3.1. Неравенство Коши-Буняковского для векторов</p>	11	4	3	7	4 часа Решение задач по теме «Точность статистических характеристик в квантовой информатике»		4

<p>состояния и его статистическая интерпретация</p> <p>2.3.2. Неравенство Коши-Буняковского в приложении к случайным величинам</p> <p>2.3.3. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса</p> <p>2.3.4. Соотношение неопределенностей Шредингера-Робертсона</p> <p>2.3.5. Многомерное соотношение неопределенностей</p> <p>2.3.6. Понятие информации Фишера</p> <p>2.3.7. Неравенство Рао-Крамера</p> <p>2.3.8. Многомерное неравенство Рао-Крамера.</p> <p>2.3.9. Статистические свойства корневых оценок многопараметрических распределений вероятности.</p> <p>2.4. Проблема построения аксиоматики науки о случайном. Принципы квантовой информатики и шестая проблема Гильберта</p> <p>2.4.1. Постулаты квантовой информатики в контексте квантовых статистических явлений.</p> <p>2.4.2. Шестая проблема Гильберта . История вопроса и связь с квантовой информатикой.</p>							
<p>3. Основы томографии квантовых состояний</p> <p>3.1. Корневая оценка плотности</p> <p>3.1.1. Метод максимального правдоподобия и информационная матрица Фишера</p>	12	1	1	2 часа Коллоквиум по темам «Метод максимального правдоподобия и информационная матрица	4	1 час Решение задач по теме «Метод максимального правдоподобия и информационная	8

<p>3.1.2. Корневой подход к оцениванию плотности. Пси – функция и уравнение правдоподобия</p> <p>3.1.3. Статистические свойства корневых оценок</p> <p>3.1.4. Набор плотностей распределений, обобщающий гауссово распределение. Корневая оценка плотности в базисе Чебышева- Эрмита.</p> <p>3.1.5. Некоторые другие важные наборы базисных состояний и их применение. Наборы функций, основанные на полиномах Лагерра, Кравчука, Шарлье и др.</p> <p>3.1.6. Оптимальные свойства корневых оценок. Сравнение корневой оценки плотности с ядерными и проекционными оценками.</p> <p>3.1.7. Аппроксимация распределений с тяжёлыми хвостами. Волновая функция, приводящая к распределениям Пирсона IV типа и базисный набор на ее основе</p>				<p>Фишера» и «Статистические свойства корневых оценок»</p>		<p>матрица Фишера»</p> <p>7 часов</p> <p>Подготовка к коллоквиуму</p>		
<p>3.2. Томография квантовых состояний, основанная на концепции адекватности, полноты и точности квантовых измерений</p> <p>3.2.1. Понятие протокола квантовых измерений. Амплитуда вероятности и интенсивность генерации событий. Аппаратная матрица. Неортогональное разложение единицы (POVM).</p> <p>3.2.2. Матрица измерений и её сингулярные значения. Полнота протокола квантовых измерений. Метод псевдо-инверсии Мура-Пенроуза</p> <p>3.2.3. Унифицированный метод квантовой томографии,</p>	8	3	2		5	<p>3 часа</p> <p>Решение задач по теме «Точность восстановления квантовых состояний. Универсальное распределение для точности восстановления квантовых</p>		3

<p>основанный на процедуре дополнения смешанного состояния до чистого. Алгоритм статистического восстановления квантовых состояний. Корневая оценка очищенного вектора состояния. Уравнение правдоподобия.</p> <p>3.2.4. Матрица полной информации для вектора очищенного состояния и её свойства.</p> <p>3.2.5. Точность восстановления квантовых состояний. Универсальное распределение для точности восстановления квантовых состояний.</p> <p>3.2.6. Проверка адекватности статистической модели квантового состояния. Критерий хи-квадрат. Оценка адекватного ранга квантового состояния.</p> <p>3.2.7. Примеры протоколов квантовых измерений. Протоколы, основанные на правильных многогранниках и многогранниках с высокой симметрией.</p> <p>3.2.8. Симметричные информационно полные протоколы. Протоколы, основанные на взаимно несмещённых базисах. Проектирование на запутанные состояния.</p> <p>3.2.9. Нижняя граница для неточности квантовых измерений. Понятие эффективности квантовых измерений. Эффективные и сверхэффективные протоколы.</p> <p>3.2.10. Адаптивные и байесовские стратегии томографии квантовых состояний.</p> <p>3.2.11. Проблема восстановления смешанных состояний, близких к чистым. Слабо-возмущающие квантовые измерения. Сверхэффективные адаптивные протоколы квантовых измерений, основанные на преобразованиях Лоренца.</p>					состояний»		
--	--	--	--	--	------------	--	--

<p>4. Томография оптических квантовых состояний.</p> <p>4.1. Преобразование Радона. Функция Вигнера.</p> <p>4.1.1. Радоновские образы. Теорема о центральном сечении. Формула обращения.</p> <p>4.1.2. Функция распределения квазивероятности Вигнера. Квадратурные состояния. Реконструкция функции Вигнера на основе обратного преобразования Радона. Ограниченность метода реконструкции квантовых состояний посредством обратного преобразования Радона.</p> <p>4.2. Статистическое восстановление оптических квантовых состояний на основе взаимно-дополнительных квадратурных квантовых измерений</p> <p>4.2.1 Пространство состояний Фока. Операторы сдвига и сжатия. Набор базисных функций, на основе сжатых сдвинутых фоковских состояний. Примеры его использования.</p> <p>4.2.2. Корневой подход к статистическому восстановлению квадратурных квантовых состояний.</p> <p>4.2.3. Дробное преобразование Фурье</p> <p>4.2.4. Уравнение правдоподобия для восстановления квадратурных квантовых состояний.</p> <p>4.2.5. Реконструкция квантового состояния и информация, содержащаяся в квантовых измерениях</p> <p>4.2.6. Критерий адекватности томографического эксперимента</p> <p>4.2.7. Эффективность квантовой томографии, основанной на регистрации фотонов.</p> <p>4.2.8. Полнота протокола квантовых измерений по отношению к решению обратной задачи.</p> <p>4.2.9. Универсальное распределение точности</p>	18	8	5		13	5 часов Решение задач по теме «Томография оптических квантовых состояний»		5
--	----	---	---	--	----	--	--	---

4.2.10. Алгоритм разработки адекватной конечномерной модели								
4.3. Исследование статистики фотонов с использованием компаунд-распределения Пуассона и квадратурных измерений								
4.3.1. Производящие функции, статистика фотонов и корреляции. Свойства производящих функций и статистических распределений.								
4.3.2. Условные распределения, отвечающие вычитанию (отщеплению) фотонов, а также добавлению фотонов								
4.3.3. Квадратурные распределения								
4.3.4. Делитель пучка: перевод одномерного распределения в двумерное распределение, корреляция каналов								
4.3.5. Многоуровневая иерархия компаунд-распределений Пуассона								
4.3.6. Сжатый вакуум: производящие и корреляционные функции								
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 ФФ МГУ

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

Типовые контрольные вопросы и темы для обсуждения:

1. Разложение Шмидта и статистический анализ многомерных данных. SVD- разложение и моды Шмидта.
2. Гауссовы корреляции. Число Шмидта и коэффициент корреляции. Коэффициент корреляции Шмидта.
3. Информационные статистические аспекты интерференционных экспериментов «который путь» с микрочастицами
4. Статистические характеристики дифракции микрочастиц на экране с произвольным числом щелей
5. Универсальное распределение для точности восстановления квантовых состояний.
6. Статистическое восстановление квадратурных квантовых состояний.
7. Статистическое восстановление тепловых квантовых состояний с отщеплением заданного числа фотонов

Типовые вопросы к зачету:

1. Статистическая интерпретация прямого и обратного преобразований Фурье. Координатное и импульсное распределения
- Принцип дополнительности Н. Бора.
2. Характеристические функции и их свойства.
3. Представление характеристической функции распределения в виде свёртки в канонически-сопряженном пространстве.
4. Неравенство Коши-Буняковского для векторов состояния и его статистическая интерпретация
5. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса
6. Соотношение неопределенностей Шредингера- Робертсона
7. Многомерное соотношение неопределенностей
8. Метод максимального правдоподобия и информационная матрица Фишера.
9. Неравенство Рао-Крамера
10. Корневой подход к оцениванию плотности. Пси – функция и уравнение правдоподобия
11. Статистические свойства корневых оценок
12. Матрица измерений и её сингулярные значения. Полнота протокола квантовых измерений.
13. Матрица полной информации для вектора очищенного состояния и её свойства.
14. Точность восстановления квантовых состояний. Универсальное распределение для точности восстановления квантовых состояний.
15. Проверка адекватности статистической модели квантового состояния. Критерий хи-квадрат. Оценка адекватного ранга квантового состояния.

16. Примеры протоколов квантовых измерений. Протоколы, основанные на правильных многогранниках и многогранниках с высокой симметрией.
17. Адаптивные и байесовские стратегии томографии квантовых состояний. Проблема восстановления смешанных состояний, близких к чистым. Слабо-возмущающие квантовые измерения. Сверхэффективные адаптивные протоколы квантовых измерений, основанные на преобразованиях Лоренца.
18. Уравнение правдоподобия для восстановления квадратурных квантовых состояний.
19. Производящие функции, статистика фотонов и корреляции. Свойства производящих функций и статистических распределений.
20. Условные распределения, отвечающие вычитанию (отщеплению) фотонов, а также добавлению фотонов

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 (ВЗ, 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>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 (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>

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.

Дополнительная литература

1. Валиев К.А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления // Успехи Физических Наук. 2005. Т.175. №1. С.3-39.
2. Bogdanov Yu.I., Chekhova M.V., Kulik S.P. et al. Statistical reconstruction of qutrits // Phys. Rev. A. 2004. Vol. 70. 042303. 16 p.

3. Bogdanov Yu.I., Chekhova M.V., Kulik S.P. et al. Qutrit state engineering with biphotons // Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 93. 230503. 4p.
4. Ю.И. Богданов, Унифицированный метод статистического восстановления квантовых состояний, основанный на процедуре очищения // ЖЭТФ. 2009. Т.135. Вып.6.с.1068-1078.
5. Bogdanov Yu.I., Brida G, Genovese M., Kulik S.P., Moreva E.V., Shurupov A.P. Statistical Estimation of the Efficiency of Quantum State Tomography Protocols // Phys. Rev. Lett. 2010. V.105. 010404. 4p.
6. Yu. I. Bogdanov, G. Brida, I. D. Bukeev, M. Genovese, K. S. Kravtsov, S. P. Kulik, E. V. Moreva, A. A. Soloviev, A. P. Shurupov Statistical Estimation of Quantum Tomography Protocols Quality // Phys. Rev. A. 2011. V.84. 042108. 19 p.
7. Богданов Ю.И., Авосопянц Г.В., Белинский Л.В., Катамадзе К.Г., Кулик С.П., Лукичев В.Ф. Статистическое восстановление оптических квантовых состояний на основе взаимно-дополнительных квадратурных квантовых измерений // ЖЭТФ. 2016. Т.150. №2. вып. 2(8). с. 246- 253.
8. Yu. I. Bogdanov, K. G. Katamadze, G. V. Avosopyants, L. V. Belinsky, N. A. Bogdanova, A. A. Kalinkin, S. P. Kulik Multi-photon subtracted thermal states: description, preparation and reconstruction // Physical Review A. 2017 V.96. № 6. 063803
9. James D.F., Kwiat P.G., Munro W.J., and White A.G. Measurement of qubits // Phys. Rev. A. 2001. V.64. 052312. 15p.
10. Lvovsky A.I., Raymer M.G. Continuous-variable optical quantum-state tomography // Rev. Mod. Phys. 2009. Vol. 81, № 1. P. 299–332.

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 «Квантовая томография и обработка результатов квантовых измерений» 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.