

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
БУРЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ДОРЖИ БАНАЗАРОВА
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК
КАФЕДРА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ИНФОРМАТИКИ

Утверждена на заседании
Ученого совета ИМФКН
«__»_____ 202__ г.
Протокол № __

**Рабочая программа дисциплины
«Квантовая информатика»**

Направление подготовки / специальность
09.04.02 Информационные системы и технологии

Профиль
Проектирование, разработка и эксплуатация информационных систем

Квалификация (степень) выпускника
Магистр

Форма обучения
Очная

Улан-Удэ
2025

Пояснительная записка

Цели освоения дисциплины

- углубленное понимание закономерностей передачи, хранения и преобразования информации в микро- и наносистемах, подчиняющихся законам квантовой механики. Освоение новых возможностей квантовых информационных технологий, принципов оптимального, помехоустойчивого кодирования и декодирования классической и квантовой информации с использованием различных дополнительных ресурсов.

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина В1.О.02.01 Квантовая информатика входит в Блок 1. Дисциплины (модули). Обязательная часть Б1.О.02 Математическое моделирование учебного плана 09.04.02 Информационные системы и технологии.

Программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности. Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов, изучающих дисциплину «Квантовая информатика».

Планируемые результаты обучения по дисциплине и индикаторы достижения компетенций.

ОПК-1. Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте

ОПК-1.1. Определяет источники, осуществляет поиск и развивает математические, естественнонаучные и социально-экономические методы для использования в профессиональной деятельности

ОПК-1.2. Формулирует решение нестандартных профессиональных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте, с применением математических, естественнонаучных, социально-экономических и профессиональных знаний

ОПК-4. Способен применять на практике новые научные принципы и методы исследований

ОПК-4.1. Понимает методологические основы и общие принципы исследований

ОПК-4.2. Применяет новые научные принципы и методы проведения исследований для решения практических задач профессиональной деятельности

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

принципы статистического описания классических и квантовых информационных систем

Уметь:

оценивать основные количественные критерии качества функционирования квантовых информационных систем при наличии шумов и декогеренции

Владеть:

навыками применения основных квантовых протоколов передачи и обработки информации и вспомогательных информационных ресурсов

Планируемые результаты освоения образовательной программы:

Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

№	Название разделов дисциплины	Лекция	Лабораторная работа	Самостоятельная работа
Семестр 1		14	14	116
1	Основы квантовой теории статистических решений	6	6	34
2	Квантовые каналы связи	4	4	30
3	Основы квантовой теории информации	4	4	52

Тематическое планирование курса

Темы

Основы квантовой теории статистических решений

Семестр 1

Основы квантовой теории статистических решений

Лекция. 6(0) ч. Квантовые наблюдаемые: построение из аксиом Вероятностные операторно-значные меры. Переполненные системы Выпуклая структура множества наблюдаемых. Экстремальные наблюдаемые Оптимальное различение и оценивание квантовых состояний Информационно-полные измерения и томография квантового состояния.

Лабораторная работа. 6(0) ч. Квантовые наблюдаемые: построение из аксиом Вероятностные операторно-значные меры. Переполненные системы Выпуклая структура множества наблюдаемых. Экстремальные наблюдаемые Оптимальное различение и оценивание квантовых состояний Информационно-полные измерения и томография квантового состояния.

Самостоятельная работа. 34(0) ч. Проработка лекционного материала.

Квантовые каналы связи

Семестр 1

Квантовые каналы связи

Лекция. 4(0) ч. Эволюции квантовой системы и вполне положительные отображения Расширение Стайнспринга. Представление Крауса. Открытые квантовые системы Квантовые энтропийные и информационные количества Монотонность относительной энтропии. Квантовая H-теорема

Лабораторная работа. 4(0) ч. Эволюции квантовой системы и вполне положительные отображения Расширение Стайнспринга. Представление Крауса. Открытые квантовые системы Квантовые энтропийные и информационные количества Монотонность относительной энтропии. Квантовая H-теорема

Самостоятельная работа. 30(0) ч. Проработка лекционного материала. Подготовка докладов.

Основы квантовой теории информации

Семестр 1

Основы квантовой теории информации

Лекция. 4(0) ч. Классическая пропускная способность квантового канала связи Передача классической информации с помощью сцепленного состояния Передача квантовой информации. Квантовые коды, исправляющие ошибки Канал с подслушивателем. Квантовая криптография Секретная классическая пропускная способность и когерентная информация

Лабораторная работа. 4(0) ч. Классическая пропускная способность квантового канала связи Передача классической информации с помощью сцепленного состояния Передача квантовой информации. Квантовые коды, исправляющие ошибки Канал с подслушивателем. Квантовая криптография Секретная классическая пропускная способность и когерентная информация

Самостоятельная работа. 52(0) ч. Проработка лекционного материала. Подготовка докладов. Подготовка к коллоквиуму.

БРС

Семестр	Контрольные точки	Баллы
1	Текущий контроль в разделе «Квантовые каналы связи»	
	Доклад	30
1	Текущий контроль в разделе «Основы квантовой теории информации»	
	Коллоквиум	30
1	Экзамен	
	Ответы на вопросы по билетам	40

Итого за семестр 1: 100

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебного процесса

Образовательные технологии (в том числе на занятиях, проводимых в интерактивных формах).

Разбор примеров и практических задач.

Учебно-методические материалы, в том числе методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

1. Использование формализма Дирака для представления векторов и операторов.

Соотношение полноты в гильбертовом пространстве.

2. Спектральное разложение эрмитова оператора. Свойства собственных чисел и собственных векторов.
3. Классическое и квантовое описание статистического эксперимента, их сходство и отличия.
4. Матрица плотности. Классическое и квантовое чистое состояние. Вектор состояния.
5. Определение и свойства проекционного оператора. Разложение единицы (спектральная мера).
6. Спектральное разложение эрмитова оператора в терминах проекторов на собственные подпространства.
7. Статистический постулат Борна-фон Неймана. Математическое ожидание и распределение вероятностей квантовой наблюдаемой.
8. Пространство состояний q -бита. Шар Блоха. Векторы чистых состояний.
9. Свойства матриц Паули. Наблюдаемая «проекция спина».
10. Функции от эрмитова оператора. Совместимые наблюдаемые.
11. Соотношение неопределенностей.
12. Проекционный постулат фон Неймана-Людера. Изменение квантового состояния в результате измерения. Апостериорное состояние.
13. Определение и свойства унитарного оператора. Динамический постулат квантовой механики. Уравнение Шредингера.
14. Состояния составной квантовой системы. Тензорное произведение векторов, матриц и операторов.
15. Пространство состояний системы из n q -битов. Одно- и двух- q -битные операции.
16. Сцепленное (запутанное) состояние. Разложение Шмидта.
17. Протокол сверхплотного кодирования.
18. Протокол телепортации квантового состояния.
19. Протокол BB84 квантового распределения секретного ключа.
20. Алгоритм Дойча.

Оценочные средства

По данной дисциплине разработаны оценочные средства, критерии их оценивания, а также методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

- [ФОС Квантовая информатика](#)

Список литературы

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

Основная

1. [Квантовая механика](#): Учебное пособие для вузов/Ефремов Ю. С.. —Москва: Юрайт, 2022. —458 с.
Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/492838>
2. [Квантовая физика и неколмогоровские теории вероятностей](#): Учебное пособие для вузов/Хренников А. Ю.. —Москва: Юрайт, 2022. —219 с.
Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/491153>
3. [Электроника в 4 ч. Часть 3. Квантовая и оптическая электроника](#): Учебник для вузов/Щука А. А., Сигов А. С. ; отв. ред. Сигов А. С.. —Москва: Юрайт, 2022. — 117 с.
Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/490608>

Дополнительная

1. [Физика элементарных частиц: квантовая хромодинамика в 2 т. Том 1](#): Учебное пособие Для вузов/Иоффе Б. Л., Липатов Л. Н., Фадин В. С.. —Москва: Юрайт, 2019. —408 с.
Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/441447>
2. [Квантовая механика и квантовая химия](#): Учебник и практикум Для академического бакалавриата/Ермаков А. И.. —Москва: Юрайт, 2017. —555 с.
Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/402514>

Перечень ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Федеральный портал. Российское образование. <http://www.edu.ru/>

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

Портал электронного обучения БГУ e.bsu.ru

Система дифференцированного интернет-обучения Nacadem, Moodle.bsu.ru

Личный кабинет преподавателя или студента БГУ <https://my.bsu.ru/>

Федеральное интернет-тестирование: проекты «Интернет-тренажеры в сфере профессионального образования» и «Федеральный интернет-экзамен в сфере профессионального образования»

База данных «Университет»

Электронные библиотечные системы: Руконт, издательство «Лань», Консультант студента

Тестовый доступ: American Institute of Physics, Znanium.com, CASC, Редакция журналов

BMJ Group, БиблиоРоссика, электронная коллекция книг и журналов Informa Healthcare,

Polpred, Science Translational Medicine, коллекция журналов BMG Group

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

Для обеспечения преподавания данной дисциплины необходимы: аудитория, оборудованная

доской, интерактивной доской, учебными местами для студентов, рабочим местом преподавателя.

Технические средства обучения (ноутбук, документ-камера, мультимедийное оборудование).

Компьютерный класс.

Фонд оценочных средств

• Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

№	Контролируемые разделы, темы, модули ¹	Наименование компетенции	Этапы формирования	Оценочные средства	Количество
1	Квантовые каналы связи	ОПК-1.1 ОПК-4.1	1 семестр	Доклад	1
2	Основы квантовой теории информации	ОПК-1.2 ОПК-4.1 ОПК-4.2	1 семестр	Коллоквиум	1
3	Экзамен	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-4.1 ОПК-4.2	1 семестр	Ответы на вопросы по билетам	1

¹Наименования разделов, тем, модулей соответствуют рабочей программе дисциплины.

ОПК-1. Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте

ОПК-1.1. Определяет источники, осуществляет поиск и развивает математические, естественнонаучные и социально-экономические методы для использования в профессиональной деятельности

ОПК-1.2. Формулирует решение нестандартных профессиональных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте, с применением математических, естественнонаучных, социально-экономических и профессиональных знаний

ОПК-4. Способен применять на практике новые научные принципы и методы исследований

ОПК-4.1. Понимает методологические основы и общие принципы исследований

ОПК-4.2. Применяет новые научные принципы и методы проведения исследований для решения практических задач профессиональной деятельности

Сопоставление шкал оценивания

4-балльная шкала (уровень освоения)	Отлично (повышенный уровень)	Хорошо (базовый уровень)	Удовлетворительно (пороговый уровень)	Неудовлетворительно (уровень не сформирован)
100-балльная шкала	85-100	70-84	50-69	0-49
Бинарная шкала	Зачтено			Не зачтено

Оценивание выполнения практических заданий

4-балльная шкала (уровень освоения)	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	<ul style="list-style-type: none"> • Полнота выполнения практического задания. • Своевременность выполнения задания. • Последовательность и рациональность выполнения задания. • Самостоятельность решения. 	Студентом задание решено самостоятельно. При этом составлен правильный алгоритм решения задания, в логических рассуждениях, в выборе формул и решении нет ошибок, получен верный ответ, задание решено рациональным способом.
Хорошо (базовый уровень)		Студентом задание решено с подсказкой преподавателя. При этом составлен правильный алгоритм решения задания, в логическом рассуждении и решении нет существенных ошибок; правильно сделан выбор формул для решения; есть объяснение решения, но задание решено нерациональным способом или допущено не более двух несущественных ошибок, получен верный ответ.
Удовлетворительно (пороговый уровень)		Студентом задание решено с подсказками преподавателя. При этом задание понято правильно, в логическом рассуждении нет существенных ошибок, но допущены существенные ошибки в выборе формул или в математических расчетах; задание решено не полностью или в общем виде.
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		Студентом задание не решено.

Оценивание ответа на зачете

4-балльная шкала (уровень освоения)	Показатели	Критерии
Отлично (повышенный уровень)	<ul style="list-style-type: none"> • Полнота изложения теоретического материала. • Полнота и правильность решения практического задания. • Правильность и/или 	Студентом дан полный, в логической последовательности развернутый ответ на поставленный вопрос, где он продемонстрировал знания предмета в полном объеме учебной программы, достаточно глубоко осмысливает дисциплину, самостоятельно, и исчерпывающе отвечает на дополнительные вопросы, приводит

	аргументированность изложения (последовательность действий).	собственные примеры по проблематике поставленного вопроса, решил предложенные практические задания без ошибок.
Хорошо (базовый уровень)	<ul style="list-style-type: none"> Самостоятельность ответа. Культура речи. 	Студентом дан развернутый ответ на поставленный вопрос, где студент демонстрирует знания, приобретенные на лекционных и семинарских занятиях, а также полученные посредством изучения обязательных учебных материалов по курсу, дает аргументированные ответы, приводит примеры, в ответе присутствует свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается неточность в ответе. Решил предложенные практические задания с небольшими неточностями.
Удовлетворительно (пороговый уровень)		Студентом дан ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой дисциплины, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы, знанием основных вопросов теории, слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры, недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа и решении практических заданий.
Неудовлетворительно (уровень не сформирован)		Студентом дан ответ, который содержит ряд серьезных неточностей, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы, незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов, неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и

		последовательности. Выводы поверхностны. Решение практических заданий не выполнено. Т.е студент не способен ответить на вопросы даже при дополнительных наводящих вопросах преподавателя.
--	--	---

• Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки планируемых результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Учебно-методические материалы, в том числе методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Примерные вопросы к экзамену:

1. Использование формализма Дирака для представления векторов и операторов. Соотношение полноты в гильбертовом пространстве.
2. Спектральное разложение эрмитова оператора. Свойства собственных чисел и собственных векторов.
3. Классическое и квантовое описание статистического эксперимента, их сходство и отличия.
4. Матрица плотности. Классическое и квантовое чистое состояние. Вектор состояния.
5. Определение и свойства проекционного оператора. Разложение единицы (спектральная мера).
6. Спектральное разложение эрмитова оператора в терминах проекторов на собственные подпространства.
7. Статистический постулат Борна-фон Неймана. Математическое ожидание и распределение вероятностей квантовой наблюдаемой.
8. Пространство состояний q -бита. Шар Блоха. Векторы чистых состояний.
9. Свойства матриц Паули. Наблюдаемая «проекция спина».
10. Функции от эрмитова оператора. Совместимые наблюдаемые.
11. Соотношение неопределенностей.
12. Проекционный постулат фон Неймана-Людера. Изменение квантового состояния в результате измерения.
13. Апостериорное состояние. Определение и свойства унитарного оператора. Динамический постулат квантовой механики. Уравнение Шредингера.
14. Состояния составной квантовой системы. Тензорное произведение векторов, матриц и операторов.
15. Пространство состояний системы из n q -битов. Одно- и двух- q -битные операции.
16. Сцепленное (запутанное) состояние. Разложение Шмидта.
17. Протокол сверхплотного кодирования.
18. Протокол телепортации квантового состояния.
19. Протокол BB84 квантового распределения секретного ключа.
20. Алгоритм Дойча.

Баллы для учета в рейтинге	Степень удовлетворения критериям
-------------------------------	----------------------------------

(оценка ответа на зачете)	
34-40 баллов	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован. Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован высокий уровень понимания материала. Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.
27-33 баллов	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме. Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован хороший уровень понимания материала. Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.
20-26 баллов	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат освоен частично. Понимание отдельных положений из материала по теме. Удовлетворительное умение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.
19 баллов и меньше	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно. Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение формулировать свои мысли, обсуждать дискуссионные положения.

Темы докладов:

1. Безопасность информации: применение квантовых технологий
2. Квантовая информация: методы защиты информации
3. Квантовая информация: методы защиты информации
4. О некоторых прикладных аспектах квантовой криптографии в контексте развития квантовых вычислений и появления квантовых компьютеров
5. Компенсация ошибок при распределении квантового ключа с помощью перепутанных поляризационных состояний бифотонов
6. Квантовые технологии и квантовый компьютер

Баллы для учета в рейтинге (оценка ответа на зачете)	Степень удовлетворения критериям
25-30 баллов	обозначена проблема и обоснована её актуальность, сделан краткий анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично изложена собственная позиция, сформулированы выводы, тема раскрыта полностью, выдержан объём, соблюдены требования к внешнему оформлению, даны правильные ответы на дополнительные вопросы
19-24 балла «хорошо»	основные требования к докладу и его защите выполнены, но при этом допущены недочёты имеются неточности в изложении материала; отсутствует логическая последовательность в суждениях; не выдержан объём реферата; имеются упущения в оформлении; на

	дополнительные вопросы при защите даны неполные ответы
13-18 баллов «удовлетворительно»	имеются существенные отступления от требований к докладу. В частности, тема освещена лишь частично; допущены фактические ошибки в содержании докладаа или при ответе на дополнительные вопросы; во время защиты отсутствует вывод.
0-12 баллов	тема доклада не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание проблемы.

Учебно-методические материалы, в том числе методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методы и средства организации и реализации образовательного процесса:

а) методы и средства, направленные на теоретическую подготовку:

самостоятельная работа студентов;

б) методы и средства, направленные на практическую подготовку: практические навыки игры.

При реализации дисциплины применяются следующие виды учебной работы: самостоятельная работа

обучающихся. Результат самостоятельной работы контролируется преподавателем.

Самостоятельная работа

может выполняться обучающимся в аудиториях, библиотеке, компьютерных классах, а также в домашних

условиях. Самостоятельная работа обучающихся подкрепляется учебно-методическим и информационным

обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, аудио и видео материалы и т.д.

Для получения экзамена требуется 100% выполнение всех практических заданий.