

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
высшего образования - программы бакалавриата
по направлению подготовки
02.03.02 Фундаментальная информатика и
информационные технологии,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Физические принципы квантовой теории информации

Направление подготовки: 02.03.02 Фундаментальная информатика и
информационные технологии

Направленность (профиль): Квантовые вычислительные системы и сети

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 1178210
Подписал: заведующий кафедрой Быков Никита Валерьевич
Дата: 15.05.2025

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения дисциплины (модуля) «Физические принципы квантовой теории информации» являются:

- получение знаний об основных физических принципах квантовой передачи данных;
- формирование компетенций в области физического описания элементов квантовых вычислительных систем и сетей.

Задачами дисциплины (модуля) «Физические принципы квантовой теории информации» являются:

- изучение классической и квантовой теории информации;
- уяснение основных принципов представления информации в квантовых информационных системах;
- овладение основными приемами и операциями над кубитами;
- изучение основных способов реализации кубитов;
- изучение особенностей квантовой передачи информации.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ОПК-1 - Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности;

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

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

- основные положения квантовой механики, квантовой теории информации;
- различие между квантовыми и классическими вычислениями;
- основные модели квантовых вычислений;
- физические принципы квантовых информационных технологий.

Уметь:

- осуществлять поиск, критический анализ;

- обобщать и систематизировать информацию в области физики квантовых вычислений;
- анализировать альтернативные варианты решения задач в области физики квантовых вычислений.

Владеть:

- приемами и методами построения эффективных квантовых моделей;
- навыками решения задач квантовой теории информации;
- профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений.

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 3 з.е. (108 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Семестр №4
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	48	48
В том числе:		
Занятия лекционного типа	32	32
Занятия семинарского типа	16	16

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 60 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	Введение в квантовую информацию Рассматриваемые вопросы: - классические и квантовые вычисления; - биты и кубиты; - квантовые вычислители и симуляторы; - основные элементы квантовых вычислительных систем и сетей; - требования, предъявляемые к квантовому компьютеру.
2	Информация и энтропия. Связь энтропии и информации Рассматриваемые вопросы: - теорема Лиувилля; - микроканоническое распределение; - физическая энтропия, формула Больцмана, второе начало термодинамики; - информация; - демон Максвелла. - информационная энтропия Шеннона; - условная энтропия; - сжатие данных; - теорема Шеннона.
3	Квантовое состояние Рассматриваемые вопросы: - описание состояний в квантовой механике, волновая функция и принцип суперпозиции; - чистые и смешанные состояния; - вычисление средних величин; - матрица и оператор плотности.
4	Основные понятия квантовой теории информации Рассматриваемые вопросы: - энтропия фон Неймана; - вычисление энтропии фон Неймана и Шеннона для двухуровневой системы; - неравенство Клейна; - совместная энтропия, взаимная информация.
5	Теорема о запрете клонирования Рассматриваемые вопросы: - различие между классической и квантовой информацией, достижимая информация; - теорема о запрете клонирования; - квантовый канал связи; - теорема Шумахера.
6	Кубиты Рассматриваемые вопросы: - двухуровневая система, операции над единичными битами; - геометрическое представление состояния кубита; - чистые и смешанные состояния; - операторы Паули; - преобразование Адамара.
7	Оптическая реализация кубитов Рассматриваемые вопросы:

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- оптическая реализация кубитов, поляризованные фотоны; - интерферометры Маха-Цендера и Юнга; - продольная и поперечная когерентность; - квантовая интерференция; - интерференция одиночных фотонов; - вектор Джонса и поляризационные преобразования; - фазовые пластинки; - квантовые состояния высокой размерности.
8	Квантовая теория измерений Рассматриваемые вопросы: - классические вероятностные модели; - приготовление классического состояния; - вероятностные модели; - прямые и косвенные измерения; - опыты Штерна и Герлаха; - измерительный и проекционный постулаты; - квантовая томография.
9	Квантовые состояния света Рассматриваемые вопросы: - определение квантового (неклассического) света; - полуклассическая теория фотодетектирования; - формула Мандела; - распределение Глаубера-Сударшана; - мера Ли; - примеры.
10	Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена Рассматриваемые вопросы: - вариант Боба; - антисимметрические состояния и их инвариантность относительно поворота базиса; - неравенства Белла; - парадокс Белла для трех наблюдаемых; - примеры реализации.
11	Перепутанные состояния Рассматриваемые вопросы: - составные, двухкомпонентные и коррелированные системы; - роль перепутанных состояний в квантовой информации; - оптическая реализация перепутанных состояний; - перепутывание во времени; - перепутывание состояний с непрерывными переменными.
12	Меры перепутывания Рассматриваемые вопросы: - состояние Белла; - чистые и перепутанные состояния; - разложение Шмидта, число Шмидта; - энтропия перепутывания.
13	Квантовая телепортация кубитов Рассматриваемые вопросы: - копирование и передача квантовых состояний; - протокол квантовой телепортации; - требования к протоколу квантовой телепортации; - экспериментальные реализации квантовой телепортации;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- протокол сверхплотной кодировки кубитов; - протокол обмена перепутыванием.
14	Квантовые вычисления на основе ультрахолодных атомов Рассматриваемые вопросы: - принципы квантовых вычислений на основе ультрахолодных атомов; - концепция ридберговской блокады; - модель Хаббарда.
15	Квантовые вычисления на основе ионов в ловушках Рассматриваемые вопросы: - принципы квантовых вычислений на основе ионов в ловушках; - нативные гейты для ионной платформы; - экспериментальные реализации квантовых вычислений на основе ионов в ловушках.
16	Физическая реализация квантовых вычислений Рассматриваемые вопросы: - вращение кубита вокруг различных осей с использованием осцилляций Раби; - примеры применения схем квантовой коррекции ошибок; - управление квантовыми состояниями ультрахолодных атомов и ионов; - твердотельные реализации квантовых вычислений.

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	Информация в дискретных и непрерывных сообщениях В результате выполнения лабораторной работы студент получит навык практического определения количества информации в различных дискретных;
2	Информация в дискретных и непрерывных сообщениях(продолжение) В результате выполнения лабораторной работы студент получит навык практического определения количества информации в непрерывных сообщениях.
3	Изучение работы оптического квантового генератора В результате выполнения лабораторной работы студент изучит основные принципы работы оптического квантового генератора;
4	Изучение работы оптического квантового генератора(продолжение) В результате выполнения лабораторной работы студент научиться анализировать степень и вид поляризации света.
5	Квантовое распределение ключа на боковых частотах фазомодулированного излучения В результате выполнения лабораторной работы студент изучит основные принципы фазовой модуляции монохроматического излучения;
6	Квантовое распределение ключа на боковых частотах фазомодулированного излучения(продолжение) В результате выполнения лабораторной работы студент исследует влияние основных характеристик системы квантового распределения ключа на боковых частотах на ее производительность.
7	Проверка нарушения неравенства Белла В результате выполнения лабораторной работы студент изучит свойства запутанных состояний, построит квантовые логические схемы для приготовления и измерения запутанных состояний;

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
8	Проверка нарушения неравенства Белла(продолжение) В результате выполнения лабораторной работы студент проверит нарушение неравенства Белла.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Подготовка к лабораторным работам
2	Работа с лекционным материалом
3	Работа с литературой
4	Подготовка к промежуточной аттестации.
5	Подготовка к текущему контролю.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Квантовая физика: Метод. указ. к лаб. раб. по дисц. Физика для студ. всех спец. ИУИТ, ИСУТЭ, ИЭФ, ИТТОП, Вечерний. Работы № 39, 45, 54, 56, 59 / А.В. Пауткина, В.Г. Колотилова, С.В. Мухин, И.В. Пыканов; Ред. В.А. Никитенко, Е.А. Серов; МИИТ. Каф. Физика-2.М.: МИИТ, 2007. - 82 с.	https://library.mii.ru/bookscatalog/metod/04-63044.pdf
2	Блохинцев Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 672 с. — ISBN 978-5-8114-0554-1.	https://e.lanbook.com/book/210197
3	Демидович Б. П. Математические основы квантовой механики : учебное пособие для вузов / Б. П. Демидович. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 200 с. — ISBN 978-5-507-50047-5.	https://e.lanbook.com/book/409463
4	Основы квантовой информации: учеб. пособие для студ. спец. Системы обеспечения движения поездов / Л. М. Журавлева, О. Е. Журавлев; МИИТ. Каф. Автоматика, телемеханика и связь на ж.-	https://library.mii.ru/bookscatalog/metod/DC-811.pdf

	д. транспорте. - М.: РУТ (МИИТ), 2018. - 60 с. - Б. ц.	
5	Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / В. К. Прилипко, И. И. Коваленко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 216 с. — ISBN 978-5-507-50139-7.	https://e.lanbook.com/book/412214
6	Квантовая физика: учебно-метод. пособие к лаб. работам по физике 45, 47, 50, 52, 55, 147, 150, 151, 155 для студ. спец. ИУИТ, ИТТСУ, ИПСС / Л. М. Касименко, С. М. Кокин, С. В. Мухин [и др.] ; ред.: С. М. Кокин, В. А. Никитенко; МИИТ. Каф. Физика. - М.: РУТ (МИИТ), 2020. - 100 с. - Б. ц.	https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-1253.pdf
7	Элементы квантовой механики: учеб. пособие для студ. ИУИТ, ИПСС, ИТТСУ, ИПТ и Вечернего ф-та / Н. П. Наумов; МИИТ. Каф. Физика. - М.: РУТ (МИИТ), 2019. - 22 с. - Б. ц	https://library.miit.ru/bookscatalog/upos/DC-935.pdf

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru>).

Электронно-библиотечная система ЛАНЬ (<https://e.lanbook.com/>).

Образовательная платформа Юрайт (<https://urait.ru/>).

Информационный портал Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru);

Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов (<http://window.edu.ru>).

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Интернет-браузер (Yandex и др.)

Microsoft Windows.

Microsoft Office

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Учебная аудитория для проведения учебных занятий (занятий лекционного типа, лабораторных работ):

- компьютер преподавателя, рабочие станции студентов, мультимедийное оборудование, доска.

Аудитория подключена к сети «Интернет».

9. Форма промежуточной аттестации:

Экзамен в 4 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

заведующий кафедрой, доцент, д.н.
кафедры «Физика»

Н.В. Быков

Согласовано:

Заведующий кафедрой ВССиИБ

Б.В. Желенков

Заведующий кафедрой Физика

Н.В. Быков

Председатель учебно-методической
комиссии

Н.А. Андриянова