

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



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
базового высшего образования
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: 01.06.2026

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-1 - Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической 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.

Уметь:

- анализировать альтернативные варианты решения задач в области физики квантовых вычислений;
- осуществлять поиск, критический анализ;

- обобщать и систематизировать информацию 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: <ul style="list-style-type: none">- 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: <ul style="list-style-type: none">- 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: <ul style="list-style-type: none">- 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: <ul style="list-style-type: none">- 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: <ul style="list-style-type: none">- различие между классической и квантовой информацией, достижимая информация;- теорема о запрете клонирования;- квантовый канал связи;- теорема Шумахера.
6	Кубиты Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none">- двухуровневая система, операции над единичными битами;- геометрическое представление состояния кубита;- чистые и смешанные состояния;- операторы Паули;- преобразование Адамара.
7	Оптическая реализация кубитов Рассматриваемые вопросы: <ul style="list-style-type: none">- оптическая реализация кубитов, поляризованные фотоны;- интерферометры Маха-Цендера и Юнга;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> - продольная и поперечная когерентность; - квантовая интерференция; - интерференция одиночных фотонов; - вектор Джонса и поляризационные преобразования; - фазовые пластинки; - квантовые состояния высокой размерности.
8	<p>Квантовая теория измерений Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - классические вероятностные модели; - приготовление классического состояния; - вероятностные модели; - прямые и косвенные измерения; - опыты Штерна и Герлаха; - измерительный и проекционный постулаты; - квантовая томография.
9	<p>Квантовые состояния света Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - определение квантового (неклассического) света; - полуклассическая теория фотодетектирования; - формула Манделя; - распределение Глаубера-Сударшана; - мера Ли; - примеры.
10	<p>Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вариант Бома; - антисимметрические состояния и их инвариантность относительно поворота базиса; - неравенства Белла; - парадокс Белла для трех наблюдаемых; - примеры реализации.
11	<p>Перепутанные состояния Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - составные, двухкомпонентные и коррелированные системы; - роль перепутанных состояний в квантовой информации; - оптическая реализация перепутанных состояний; - перепутывание во времени; - перепутывание состояний с непрерывными переменными.
12	<p>Меры перепутывания Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - состояние Белла; - чистые и перепутанные состояния; - разложение Шмидта, число Шмидта; - энтропия перепутывания.
13	<p>Квантовая телепортация кубитов Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - копирование и передача квантовых состояний; - протокол квантовой телепортации; - требования к протоколу квантовой телепортации; - экспериментальные реализации квантовой телепортации; - протокол сверхплотной кодировки кубитов; - протокол обмена перепутыванием.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
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 научится 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;
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.miit.ru/bookscatalog/metod/04-63044.pdf (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
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 (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
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 (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
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.-д. транспорте. - М.: РУТ (МИИТ), 2018. - 60 с. - Б. ц.	https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-811.pdf (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
5	Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / В. К. Прилипко,	https://e.lanbook.com/book/412214 (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.

	И. И. Коваленко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 216 с. — ISBN 978-5-507-50139-7.	
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 (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
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 (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.

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).

1) Интернет-браузер (Yandex и др.).

2) Microsoft Office.

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

Для проведения аудиторных занятий по дисциплине используется аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием: проектор, экран, персональный компьютер/ноутбук.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет 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