

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)

Фундаментальные основы квантовых технологий

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) «Фундаментальные основы квантовых технологий» являются:

- формирование основных физических представлений о технологических основах построения квантовых вычислительных систем и сетей;
- изучение физических основ способов построения квантовых компьютеров.

Задачами дисциплины (модуля) «Фундаментальные основы квантовых технологий» являются:

- изучение основных способов построения квантовых компьютеров;
- изучение основ теории твердого тела;
- изучение свойств низкоразмерных квантовых структур;
- изучение ядерного магнитного резонанса как основы квантовой архитектуры;
- изучение основных технологий осуществления квантовых вычислений.

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;

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 классической и квантовой теории твердого тела, включая теории сверхпроводимости;
- основные способы построения квантовых вычислительных систем;
- основные положения теории ядерного магнитного резонанса.

Уметь:

- рассчитывать основные магнитные и диэлектрические свойства твердых тел;
- определять основные характеристики квантовых низкоразмерных структур;
- определять основные свойства квантовых систем;
- анализировать зонную структуру твердых тел;
- определять свойства сверхпроводящих систем;
- использовать основы метода ядерного магнитного резонанса.

Владеть:

- методами определения свойств твердых тел во внешних полях;
- методами анализа свойств квантовых технологических систем;
- методами классификации способов построения квантовых вычислительных систем.

3. Объем дисциплины (модуля).**3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).**

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 4 з.е. (144 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 №5
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	64	64
В том числе:		
Занятия лекционного типа	32	32
Занятия семинарского типа	32	32

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 80 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	Обзор основных принципов построения квантовых компьютеров Рассматриваемые вопросы: - история развития квантовых компьютеров; - основные требования к построению квантовых компьютеров и сетей; - принципы построения квантовых компьютеров и сетей.
2	Основы теории конденсированных сред Рассматриваемые вопросы: - кристаллы и кристаллическая решетка; - анизотропия кристаллов; - типы связи в кристаллах; - упругие волны в кристаллах; - акустические и оптические ветви колебаний; - фононы, зоны Бриллюэна.
3	Магнитные и диэлектрические свойства твердых тел Рассматриваемые вопросы: - классификация твердых тел по магнитным свойствам; - ферромагнетизм и обменное взаимодействие; - магнитные спектры веществ; - характеристики диэлектриков и виды поляризации; - свойства диэлектриков.
4	Зонная теория твердых тел Рассматриваемые вопросы: - одноэлектронное приближение, теорема Блоха; - энергетические зоны; - модель Кронинга-Пенни; - структура энергетических зон; - носители заряда, эффективная масса; - примеси и примесные материалы.
5	Квантование энергии электрона в магнитном поле Рассматриваемые вопросы: - квантование энергетического спектра свободных электронов в магнитном поле; - уровни Ландау; - спиновое расщепление уровней Ландау; - спектральная плотность состояний электронов в магнитном поле; - квантовые осцилляционные эффекты.
6	Сверхпроводимость Рассматриваемые вопросы: - сверхпроводящие материалы, эффект Мейснера;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> - сверхпроводники 1 и 2 рода; - теория Бардина-Купера-Шриффера, куперовские пары; - эффекты Джозефсона; - высокотемпературная сверхпроводимость.
7	<p>Сверхпроводимость второго рода</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - уравнения Гинзбурга-Ландау; - квантование магнитного потока; - критические магнитные поля.
8	<p>Квантовые низкоразмерные структуры</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - энергетические уровни электрона в квантовой яме; - гетероструктуры; - оптические переходы между подзонами размерного квантования; - квантовые точки, понятие и классификация; - методы синтеза квантовых точек.
9	<p>Приборы на квантовых точках</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - лазеры на квантовых точках и квантовых ямах; - квантово-каскадный лазер; - электрооптический модулятор; - светодиоды на основе квантовых точек.
10	<p>Ядерный магнитный резонанс</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - магнитные свойства ядер; - основы метода ядерного магнитного резонанса (ЯМР); - классическая теория ЯМР.
11	<p>ЯМР спектроскопия</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основы метода ЯМР спектроскопии; - ЯМР спектроскопия высокого разрешения; - импульсная ЯМР спектроскопия; - приборы ЯМР исследований.
12	<p>Фотоника</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - линейные оптические процессоры; - полупроводниковый квантовый транзистор; - топологический фотонный чип.
13	<p>Квантовые электродинамические резонаторы</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теория квантовых электродинамических резонаторов и их реализация; - эксперименты с ридберговскими атомами; - наблюдение осцилляций Раби; - синтез трехчастичного запутанного состояния.
14	<p>Ионы в радиочастотной ловушке</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ионные ловушки; - охлаждение ионов; - колебательное движение ионов в кристалле; - рамановская схема;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- фононный кубит; - измерение результатов; - декогерентизация состояний в квантовом компьютере на ионах.
15	Квантовый компьютер с архитектурой клеточных автоматов Рассматриваемые вопросы: - понятие клеточного автомата; - основные свойства клеточных автоматов; - периодическая структура двухуровневых элементов.
16	Твердотельные и полупроводниковые квантовые компьютеры Рассматриваемые вопросы: - жидкостные и ядерные магниторезонансные ЯМР компьютеры; - твердотельные ЯМР квантовые компьютеры; - полупроводниковые ЯМР квантовые компьютеры; - твердотельные компьютеры на квантовых точках; - квантовые компьютеры на сверхпроводящих элементах.

4.2. Занятия семинарского типа.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Принципы построения квантовых компьютеров В результате выполнения практического задания студент получает умение классификации основных методов построения квантовых компьютеров, умение анализа необходимых требований к квантовым компьютерам.
2	Конденсированные среды В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач по определению типов кристаллических решеток, анализа типов связей в кристаллах; построения акустических и оптических ветвей спектров фононов.
3	Магнитные и диэлектрические свойства твердых тел В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач определения магнитных и диэлектрических свойств твердых тел.
4	Зонная теория твердых тел В результате выполнения практического задания студент получает навык построения зонных структур твердых тел различного типа, анализа свойств полупроводников, в том числе нахождение концентрации носителей заряда.
5	Квантование энергии электрона в магнитном поле В результате выполнения практического задания студент получает навык определения уровней Ландау, решения задач по определению энергетических спектров электронов.
6	Сверхпроводимость В результате выполнения практического задания студент получает навык применения основных положений теории Бардина-Купера-Шриффера для анализа свойств сверхпроводников.
7	Сверхпроводимость второго рода В результате выполнения практического задания студент получает навык использования уравнения Гинзбурга-Ландау для анализа основных свойств сверхпроводников, а также определения критических параметров сверхпроводников.
8	Квантовые низкоразмерные структуры В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	определения энергетических уровней электрона в квантовых ямах, анализа переходов между подзонами размерного квантования.
9	Приборы на квантовых точках В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач для определения свойств приборов на квантовых точках.
10	Ядерный магнитный резонанс В результате выполнения практического задания студент получает умение использования основных положений теории ядерного магнитного резонанса для решения практических задач.
11	ЯМР спектроскопия В результате выполнения практического задания студент получает навык решения различных задач ЯМР спектроскопии.
12	Фотоника В результате выполнения практического задания студент получает навык определения основных свойств линейных оптических процессоров, полупроводниковых квантовых транзисторов и топологических фотонных чипов.
13	Квантовые электродинамические резонаторы В результате выполнения практического задания студент получает навык использования теории квантовых электродинамических резонаторов для оценки основных свойств квантовых компьютеров, создаваемых на их основе.
14	Ионы в радиочастотной ловушке В результате выполнения практического задания студент получает умение анализировать свойства ионных ловушек, рассчитывать колебательные движения ионов в кристалле.
15	Квантовый компьютер с архитектурой клеточных автоматов В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач по тематике клеточных автоматов, изучает основные свойства клеточных автоматов и методы построения квантовых компьютеров с архитектурой клеточных автоматов.
16	Твердотельные полупроводниковые квантовые компьютеры В результате выполнения практического задания студент получает умение анализировать основные методы построения квантовых компьютеров на ЯМР, их достоинства и недостатки.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Подготовка к практическим занятиям.
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	Физика твердого тела: учебно-метод. пособие к лаб. работам 71, 89 для студ. ИУИТ, ИПСС, ИТТСУ и Вечернего факультета / С. В. Мухин, С. М. Кокин ; под ред. В. А. Никитенко; МИИТ. Каф. Физика. - М.: РУТ(МИИТ), 2017. - 36 с.	https://library.mii.ru/bookscatalog/metod/DC-260.pdf (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
2	Савельев, И. В. Курс физики. В 3 томах. Том 3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев. — 9-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 308 с. — ISBN 978-5-507-47404-2.	https://e.lanbook.com/book/367055 (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
3	Прудников, В. В. Квантово-статистическая теория твердых тел : учебное пособие для вузов / В. В. Прудников, П. В. Прудников, М. В. Мамонова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-507-44520-2.	https://e.lanbook.com/book/233297 (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
4	Квантовые точки: синтез, свойства и методы их характеристики : учебное пособие / П. П. Гладышев, С. А. Новикова, Е. В. Андреев [и др.]. — Дубна : Государственный университет «Дубна», 2021. — 52 с. — ISBN 978-5-89847-624-3.	https://e.lanbook.com/book/196960 (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
5	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.mii.ru/bookscatalog/metod/DC-811.pdf (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
6	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 (дата обращения: 12.03.2026). Текст: электронный.
7	Моргунов, Р. Б. Физические основы квантовых вычислений : учебное пособие / Р. Б. Моргунов, О. В. Коплак, О. С. Дмитриев. — Тамбов : ТГТУ, 2017. — 98 с. — ISBN 978-5-8265-1690-4.	https://e.lanbook.com/book/319688 (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.miiit.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:

Экзамен в 5 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