

**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)**

**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: 24.10.2024

## 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 положения теории ядерного магнитного резонанса;
- основные способы построения квантовых вычислительных систем.

### **Уметь:**

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

**Владеть:**

- методами классификации способов построения квантовых вычислительных систем;
- методами определения свойств твердых тел во внешних полях;
- методами анализа свойств квантовых технологических 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	<p>Обзор основных принципов построения квантовых компьютеров</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- история развития квантовых компьютеров;</li> <li>- основные требования к построению квантовых компьютеров и сетей;</li> <li>- принципы построения квантовых компьютеров и сетей.</li> </ul>
2	<p>Основы теории конденсированных сред</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- кристаллы и кристаллическая решетка;</li> <li>- анизотропия кристаллов;</li> <li>- типы связи в кристаллах;</li> <li>- упругие волны в кристаллах;</li> <li>- акустические и оптические ветви колебаний;</li> <li>- фононы, зоны Бриллюэна.</li> </ul>
3	<p>Магнитные и диэлектрические свойства твердых тел</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- классификация твердых тел по магнитным свойствам;</li> <li>- ферромагнетизм и обменное взаимодействие;</li> <li>- магнитные спектры веществ;</li> <li>- характеристики диэлектриков и виды поляризации;</li> <li>- свойства диэлектриков.</li> </ul>
4	<p>Зонная теория твердых тел</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- одноэлектронное приближение, теорема Блоха;</li> <li>- энергетические зоны;</li> <li>- модель Кронинга-Пенни;</li> <li>- структура энергетических зон;</li> <li>- носители заряда, эффективная масса;</li> <li>- примеси и примесные материалы.</li> </ul>
5	<p>Квантование энергии электрона в магнитном поле</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- квантование энергетического спектра свободных электронов в магнитном поле;</li> <li>- уровни Ландау;</li> <li>- спиновое расщепление уровней Ландау;</li> <li>- спектральная плотность состояний электронов в магнитном поле;</li> <li>- квантовые осцилляционные эффекты.</li> </ul>
6	<p>Сверхпроводимость</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- сверхпроводящие материалы, эффект Мейснера;</li> <li>- сверхпроводники 1 и 2 рода;</li> </ul>

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

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- измерение результатов; - декогерентизация состояний в квантовом компьютере на ионах.
15	<b>Квантовый компьютер с архитектурой клеточных автоматов</b> Рассматриваемые вопросы: - понятие клеточного автомата; - основные свойства клеточных автоматов; - периодическая структура двухуровневых элементов.
16	<b>Твердотельные и полупроводниковые квантовые компьютеры</b> 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	<b>Принципы построения квантовых компьютеров</b> В результате выполнения практического задания студент получает умение классификации основных методов построения квантовых компьютеров, умение анализа необходимых требований к квантовым компьютерам.
2	<b>Конденсированные среды</b> 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	<b>Магнитные и диэлектрические свойства твердых тел</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач определения магнитных и диэлектрических свойств твердых тел.
4	<b>Зонная теория твердых тел</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык построения зонных структур твердых тел различного типа, анализа свойств полупроводников, в том числе нахождения концентрации носителей заряда.
5	<b>Квантование энергии электрона в магнитном поле</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык определения уровней Ландау, решения задач по определению энергетических спектров электронов.
6	<b>Сверхпроводимость</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык применения основных положений теории Бардина-Купера-Шриффера для анализа свойств сверхпроводников.
7	<b>Сверхпроводимость второго рода</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык использования уравнения Гинзбурга-Ландау для анализа основных свойств сверхпроводников, а также определения критических параметров сверхпроводников.
8	<b>Квантовые низкоразмерные структуры</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач определения энергетических уровней электрона в квантовых ямах, анализа переходов между подзонами размерного

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	квантования.
9	<b>Приборы на квантовых точках</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык решения задач для определения свойств приборов на квантовых точках.
10	<b>Ядерный магнитный резонанс</b> В результате выполнения практического задания студент получает умение использования основных положений теории ядерного магнитного резонанса для решения практических задач.
11	<b>ЯМР спектроскопия</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык решения различных задач ЯМР спектроскопии.
12	<b>Фотоника</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык определения основных свойств линейных оптических процессоров, полупроводниковых квантовых транзисторов и топологических фотонных чипов.
13	<b>Квантовые электродинамические резонаторы</b> В результате выполнения практического задания студент получает навык использования теории квантовых электродинамических резонаторов для оценки основных свойств квантовых компьютеров, создаваемых на их основе.
14	<b>Ионы в радиочастотной ловушке</b> В результате выполнения практического задания студент получает умение анализировать свойства ионных ловушек, рассчитывать колебательные движения ионов в кристалле.
15	<b>Квантовый компьютер с архитектурой клеточных автоматов</b> 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	<b>Твердотельные полупроводниковые квантовые компьютеры</b> 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.	<a href="https://library.miit.ru/bookcatalog/metod/DC-">https://library.miit.ru/bookcatalog/metod/DC-</a>

	<p>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.</p>	260.pdf
2	<p>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.</p>	<a href="https://e.lanbook.com/book/367055">https://e.lanbook.com/book/367055</a>
3	<p>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.</p>	<a href="https://e.lanbook.com/book/233297">https://e.lanbook.com/book/233297</a>
4	<p>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.</p>	<a href="https://e.lanbook.com/book/196960">https://e.lanbook.com/book/196960</a>
5	<p>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.</p>	<a href="https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-811.pdf">https://library.miit.ru/bookscatalog/metod/DC-811.pdf</a>
6	<p>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.</p>	<a href="https://e.lanbook.com/book/412214">https://e.lanbook.com/book/412214</a>
7	<p>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.</p>	<a href="https://e.lanbook.com/book/319688">https://e.lanbook.com/book/319688</a>



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](http://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, практических занятий):

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

Аудитория подключена к сети «Интернет».

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