

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Донецкий государственный университет»

Факультет физико-технический  
Кафедра радиофизики и инфокоммуникационных технологий



УТВЕРЖДАЮ

проректор

П.А. Машаров

«29» марта 2024 г.

МП

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ИНФОРМАТИКИ»**

Укрупненная группа направлений подготовки	10.00.00 Информационная безопасность
Программа высшего образования	Программа магистратуры
Направление подготовки	10.04.01 Информационная безопасность
Магистерская программа	Информационная безопасность
Квалификация	Магистр
Форма обучения	очная; очно-заочная

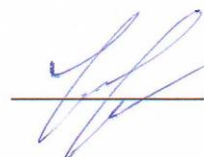
Рабочая программа адаптирована для лиц  
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2024

Рабочая программа дисциплины «**Основы квантовой информатики**» для обучающихся по направлению подготовки 10.04.01 Информационная безопасность (Магистерская программа: Информационная безопасность), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 10.04.01 Информационная безопасность, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации Приказ от 26 ноября 2020 г. № 1455(с изм. и доп.). Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2024 года.

Разработчик:

Доцент  
кафедры радиопизики  
и инфокоммуникационных технологий

 И.И. Худяков

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры радиопизики и  
инфокоммуникационных технологий  
Протокол от 26.03.2024 г. № 16

Заведующий кафедрой

 В.В. Данилов

СОГЛАСОВАНО:

И.о. декана физико-технического факультета  
28.03.2024 г.

 С.А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета  
Протокол от 27.03.2024 г. № 2  
Председатель

 В. Н. Котенко

Руководитель основной профессиональной  
образовательной программы  
д-р тех. наук, проф.  
26.03.2024 г.

 В.В. Данилов

## 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной:

дисциплины программы бакалавриата: Теория информации, Квантовая механика  
Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Информационная безопасность

## 2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы	10.04.01 Информационная безопасность (Магистерская программа: Информационная безопасность)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ОД.5 Основы квантовой информатики
Часть образовательной программы	Вариативная часть: выбор вуза
Количество зачетных единиц / всего часов	4 / 144

### 2.2. Распределение часов по формам и периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контроль	всего	
Очная	1	1	17	–	34	94	144	экзамен
Очно-заочная	2	3	5	10	-	129	144	зачет

## 3. ЦЕЛИ 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.

На основе квантовой электродинамики и квантовой механики познакомиться с информационно полными измерениями теории сцепленности и телепортацией квантовых состояний.

## 4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

### 4.1. Компетенции

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и	ОПК-1.1. Обладает базовыми знаниями, полученными в	ОПК-1.1.1. Знает основы квантовой теории информации. ОПК-1.1.2. Умеет выбирать и использовать необходимые математические методы и вычислительные средства.

использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	областях физики, радиофизики, а также в областях математических и естественных наук.	ОПК-111.3. Аргументированно выбирает метод решения задачи, устанавливает свойства математических объектов, закономерности между ними, доводит решение задачи до приемлемого (числового или символического) результата, оценивает и анализирует полученный результат, строит математические модели для решения профессиональных задач.
--	--	---

## 5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Квантовые наблюдаемые: построение из аксиом	Использование формализма Дирака для представления векторов и операторов. Соотношение полноты в гильбертовом пространстве.
Раздел 2. Выпуклая структура множества наблюдаемых. Экстремальные наблюдаемые	Сцепленное (запутанное) состояние. Разложение Шмидта.
Раздел 3. Информационно-полные измерения и томография квантового состояния	Статистический постулат Борна-фон Неймана. Математическое ожидание и распределение вероятностей квантовой наблюдаемой. Пространство состояний q-бита. Шар Блоха. Векторы чистых состояний
Раздел 4. Квантовые каналы связи	
Раздел 5. Монотонность относительной энтропии. Квантовая H-теорема	Функции от эрмитова оператора. Совместимые наблюдаемые. Соотношение неопределенностей
Раздел 6. Основы квантовой теории информации.	

## 6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Форма обучения – очная, курс – 1, семестр – 1

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
1. Квантовые наблюдаемые: построение из аксиом	3	–	6	15	24
2. Выпуклая структура множества наблюдаемых. Экстремальные наблюдаемые	2	–	6	15	23
3. Информационно-полные измерения и томография квантового состояния	4	–	6	15	25
4. Квантовые каналы связи	2	–	6	15	23
5. Монотонность относительной энтропии. Квантовая H-теорема	4	–	6	15	25
6. Основы квантовой теории информации.	2	–	4	18	24
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	17	–	34	93	144

Форма обучения – очно-заочная, курс – 2, семестр – 3

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
1. Квантовые наблюдаемые: построение из аксиом	1	1	-	22	24
2. Выпуклая структура множества наблюдаемых. Экстремальные наблюдаемые	1	2	-	21	24
3. Информационно-полные измерения и томография квантового состояния	0,5	2	-	22	24,5
4. Квантовые каналы связи	0,5	1	-	22	23,5
5. Монотонность относительной энтропии. Квантовая H-теорема	1	2	-	21	24
6. Основы квантовой теории информации.	1	2	-	21	24
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	5	10	-	129	144

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 7.1. Контрольные вопросы

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.

21. Алгоритм Саймона  
22. Алгоритм Гровера.

## 8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже. Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, своевременное и качественное выполнение домашних заданий, активность во время проведения лекционных и практических занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

### 8.1. Семестр 1

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1-3	Организационно-учебная работа в аудитории	5
	Самостоятельная работа	15
	Контрольные работы по практике	5
	Контрольная работа по теоретическому материалу	5
ИТОГО		30
Зачет		70
Общий итог за семестр		100

### 8.2. Семестр 2

#### Соответствие баллов оценке

Количество баллов из 100	ECTS	Оценка по пятибалльной шкале	
		Экзамен, дифференцированный зачет	Зачет
90-100	A	отлично	зачтено
80-89	B	хорошо	зачтено
75-79	C		зачтено
70-74	D	удовлетворительно	зачтено
60-69	E		зачтено
35-59	FX	неудовлетворительно	не зачтено
0-34	F		не зачтено

## 9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

- 1) для слепых и слабовидящих:
  - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
  - для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;



- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом.
- 2) для глухих и слабослышащих:
  - лекции оформляются в виде электронного документа;
  - письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
  - экзамен проводится в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.
- 3) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
  - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
  - письменные задания выполняются на компьютере;
  - экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

- 1) для слепых и слабовидящих:
  - в печатной форме увеличенным шрифтом;
  - в форме электронного документа;
- 2) для глухих и слабослышащих:
  - в печатной форме;
  - в форме электронного документа.
- 3) для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
  - в печатной форме;
  - в форме электронного документа.

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в Главном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения лекционных и практических занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных, учебно-методическое обеспечение, представленное в учебно-методическом кабинете Главного корпуса (ауд.405).

Обучающиеся имеют возможность использовать учебные материалы по дисциплине, размещенные на платформе Moodle Центра дистанционного образования ФГБОУ ВО «ДонГУ». При изучении дисциплины применяются электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

С использованием ресурсов платформы дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

## 11. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 11.1. Основная литература

1. А.С.Холево Введение в квантовую теорию информации. М.: МЦНМО, 2002.-128с.
2. Прескилл Дж. Квантовая информация и квантовые вычисления. Институт компьютерных исследований. 2008.

## 12. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Национальная электронная библиотека (НЭБ):** федеральная государственная информационная система / Министерство Культуры РФ; Российская государственная библиотека. – Москва, 2019- . – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный, подписка. Необходима установка программного обеспечения. – Текст: электронный.
2. **eLIBRARY.RU:** научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000- . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/>. – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
4. Электронно-библиотечная система **«Лань»:** [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
5. **ЭБС Юрайт:** электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://biblio-online.ru> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.
6. **Электронно-библиотечная система ДонГУ:** сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
7. **Электронный каталог** Научной библиотеки ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://library.donnu.ru/catalog/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: поиск свободный, электронные документы – для пользователей ДонГУ.
8. **Электронный архив ДонГУ:** раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://repo.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). – Режим доступа: свободный.

## 13. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДонГУ № 46484614)
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДонГУ № 46472919)
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы Dream Spark для высших учебных заведений)
4. Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF (лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения).