

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Наименование образовательной программы: Автоматизированные системы обработки информации и управления

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Квантовая информатика**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Вишняков С.В.
	Идентификатор	R35b26072-VishniakovSV-02810d9

С.В.
Вишняков

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зейн А.Н.
	Идентификатор	R54353a8f-ZeynAIN-7d1f3849

А.Н. Зейн

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Вишняков С.В.
	Идентификатор	R35b26072-VishniakovSV-02810d9

С.В.
Вишняков

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-3 Способен осуществлять проектирование вычислительных комплексов и систем, включая разработку аппаратного, программного обеспечения, системную интеграцию, ввод в эксплуатацию

ИД-2 Демонстрирует знание теории баз данных, включая перспективные технологии обработки больших данных

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа 1 (Контрольная работа)
2. Контрольная работа 2 (Контрольная работа)
3. Тест 2. (Контрольная работа)
4. Тест1 (Контрольная работа)

БРС дисциплины

2 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Физика квантовой информации: основные понятия.					
Физика квантовой информации: основные понятия. Квантовая суперпозиция, кубит, перепутывание. Квантовая криптография.	+				
Квантовая плотная кодировка и квантовая телепортация.					
Квантовая плотная кодировка и квантовая телепортация.		+			
Концепция квантовых вычислений.					
Концепция квантовых вычислений. Алгоритмы. Квантовые сети			+		
Декогерентность и квантовое исправление ошибок.					
Декогерентность и квантовое исправление ошибок.				+	
	Вес КМ:	15	35	15	35

§Общая часть/Для промежуточной аттестации§

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-3	ИД-2ПК-3 Демонстрирует знание теории баз данных, включая перспективные технологии обработки больших данных	Знать: классификацию квантовых систем, методы математического описания систем основные теоремы квантовых вычислений и методы квантовых вычислений Уметь: применять основы квантового программирования на языке Q# устанавливать кубиты в заданное состояние и измерять их	Тест1 (Контрольная работа) Контрольная работа 1 (Контрольная работа) Тест 2. (Контрольная работа) Контрольная работа 2 (Контрольная работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Тест1

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты получают индивидуальную задачу на 30 минут

Краткое содержание задания:

Студенты получают индивидуальную задачу на 30 минут

Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: классификацию квантовых систем, методы математического описания систем</p>	<ol style="list-style-type: none">1. Дайте определение волновой функции, каким образом функция определяет состояние частицы или системы?2. Покажите на примере решения уравнения Шредингера появление дискретных энергетических уровней3. Уравнение Шредингера, уравнение Дирака. Принцип запрета Паули. Статистика Ферми-Дирака и статистика Бозе-Эйнштейна4. Связь энергии частицы и макроскопических показателей тела. Примеры распределения энергий. Виды движения частиц в твердых телах. Подвижность частиц.5. Принцип неопределенности. Связь с распределением волновой функции, интерпретации. Квантовая запутанность.6. Кубит. Суперпозиция состояний. Схлопывание волновой функции.7. Базовые положения квантовой электродинамики. Диаграммы Фейнмана. Примеры.8. Физика твердого тела, зонная теория проводимости. Уровень Ферми. Типы твердых тел.9. Виртуальные частицы. Концепция физического вакуума. Туннелирование.10. Взаимодействие частиц. Диаграммы Фейнмана. Расщепление энергетических уровней.
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-2. Контрольная работа 1

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 35

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты получают индивидуальные задания на 30 мин.

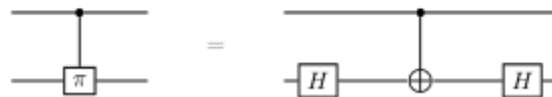
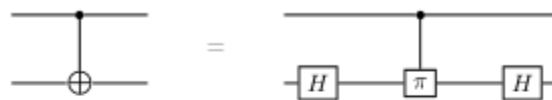
Краткое содержание задания:

Студенты получают индивидуальные задания на 30 мин.

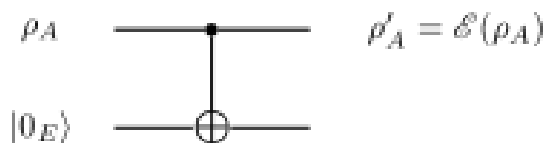
Контрольные вопросы/задания:

Уметь: применять основы квантового программирования на языке Q#

1. Постройте элемент CNOT из одного элемента CZ («Управляемый Z») и двух элементов Адамара.
2. Пусть измерение описывается операторами измерения M_m . Покажите, что существуют такие унитарные операторы U_m , что $M_m = U_m \sqrt{E_m}$, где $E_m = M_m^\dagger M_m$ — POVM-элементы, описывающие статистику результатов измерения.
3. Оператор $C2U$, где $U = X$, который, обычно, обозначается через C2NOT, называется элементом Тоффоли. Реализуйте элемент C_nU с помощью квантовой схемы, использующей $n - 1$ вспомогательных кубитов, которые в начале и в конце преобразования находятся в состоянии $|0\rangle$, и $2(n - 1)$ вентиля Тоффоли.
4. Разработайте квантовую схему, создающую N -кубитовые состояния $1/\sqrt{N} * [|000\dots 0\rangle + |11\dots 1\rangle]$ из состояния $|000\dots 0\rangle$
5. Докажите, что, используя элементы Адамара, можно выразить элемент CNOT через элемент управляемого обращения фазы и наоборот:



6. Найдите представление Крауса для следующей модели квантового канала:



7. Найдите разложение Шмидта для следующих состояний двухкубитовой квантовой системы:

$$\frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

8. Найдите разложение Шмидта для следующих состояний двухкубитовой квантовой системы:

$$\frac{|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle}{2};$$

9. Найдите разложение Шмидта для следующих состояний двухкубитовой квантовой системы:

$$\frac{|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{3}};$$

10. Найдите разложение Шмидта для следующих состояний двухкубитовой квантовой системы:

$$\frac{\sqrt{3}-\sqrt{2}}{2\sqrt{6}}|00\rangle + \frac{\sqrt{6}+1}{2\sqrt{6}}|01\rangle + \frac{\sqrt{3}+\sqrt{2}}{2\sqrt{6}}|10\rangle + \frac{\sqrt{6}-1}{2\sqrt{6}}|11\rangle.$$

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. Тест 2.

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенты получают индивидуальное задание на 30 мин.

Краткое содержание задания:

Студенты получают индивидуальное задание на 30 мин.

Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: основные теоремы квантовых вычислений и методы квантовых вычислений</p>	<ol style="list-style-type: none">1. Дайте определение энтропии фон Неймана, приведите формулу с разложением по собственным значениям.2. “Вогнутость” энтропии фон Неймана (определение, примеры)3. Суб-аддитивность энтропии фон Неймана (определение, примеры)4. Информационная энтропия по Шеннону и энтропия фон Неймана - различия и особенности5. Докажите следующее свойство энтропии фон Неймана: Энтропия неотрицательна и обращается в нуль только тогда, когда система находится в чистом состоянии;6. Докажите следующее свойство энтропии фон Неймана: Энтропия не меняется при унитарных преобразованиях;7. Докажите следующее свойство энтропии фон Неймана: Если размерность гильбертова пространства равна d, то энтропия не превышает значения $\log_2 d$, причем максимум достигается только тогда, когда система находится в максимально смешанном (однородном) состоянии $\rho = I/d$.8. Покажите, что вогнутость энтропии фон Неймана является следствием субаддитивности. Для доказательства введите вспомогательную квантовую систему.9. Докажите неотрицательность энтропии Холево исходя из суб-аддитивности энтропии фон Неймана.10. Связь энтропии фон Неймана и редукции, неравенство треугольника.
---	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "зачтено" выставляется если задание выполнено правильно или с незначительными недочетами

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "не зачтено" выставляется если задание не выполнено в отведенный срок или результат не соответствует заданию

КМ-4. Контрольная работа 2

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 35

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студент получает индивидуальное задание на 1 час.

Краткое содержание задания:

Студент получает индивидуальное задание на 1 час.

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: устанавливать кубиты в заданное состояние и измерять их

1. Вычислите энтропию фон Неймана для следующих состояний:

$$\rho = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2. Вычислите энтропию фон Неймана для следующих состояний:

$$\rho = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

3. Вычислите энтропию фон Неймана для следующих состояний:

$$\rho = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

4. Вычислите энтропию фон Неймана для состояния Вернера:

$$\rho(p) = p|\text{Bell}\rangle\langle\text{Bell}| + \frac{1-p}{4}I,$$

где $0 \leq p \leq 1$ и $|\text{Bell}\rangle$ – любое из состояний Белла.

5. Имеется некоторый источник классической информации, выдающий значения битов 0 и 1 с

	<p>вероятностями $p_0 = p_1 = 1/2$. Последовательность битов кодируется через неортогональные чистые состояния кубитов $0\rangle$ и $1/\sqrt{2}(0\rangle + 1\rangle)$. Во сколько раз можно сжать создаваемое таким образом квантовое сообщение? Найдите чистое состояние, дающее максимальную степень совпадения с исходным, и вычислите эту степень совпадения.</p> <p>6. Предположим, что нам необходимо закодировать три цвета — красный, зеленый и голубой — через три соответствующих квантовых состояния кубита $R\rangle$, $G\rangle$ и $B\rangle$. Какие состояния нужно взять, чтобы получить наиболее экономичные квантовые сообщения, т.е. требующие наименьшее количество ресурсов?</p> <p>7. Предположим, что имеется некоторый источник классической информации, выдающий значения битов 0 и 1 с вероятностями $p_0 = p_1 = 1/2$. Последовательность битов кодируется через неортогональные чистые состояния кубитов $0\rangle$ и $\cos \theta 0\rangle + \sin \theta 1\rangle$, где θ — вещественный параметр. Рассчитайте максимум доступной информации и проанализируйте его зависимость от параметра θ.</p> <p>8. Предположим, что имеется некоторый источник классической информации, выдающий значения битов 0 и 1 с вероятностями $p_0 = p_1 = 1/2$. Последовательность битов кодируется через неортогональные состояния кубитов $0\rangle \langle 0$ и $\cos \theta 0\rangle \langle 0 + \sin \theta 1\rangle \langle 1$, где θ — вещественный параметр. Рассчитайте максимум доступной информации и проанализируйте его зависимость от параметра θ.</p> <p>9. Одной из возможных ситуаций, когда для кодирования используются смешанные состояния, является следующая. Предположим, что Алиса посылает Бобу кубиты в чистых квантовых состояниях, но через неидеальный (шумящий) канал. Из-за потери когерентности в канале Боб получает кубиты в смешанных состояниях, которые он и должен декодировать. В этом случае величина $\chi(E)$ будет описывать максимальное количество информации, которую можно передать Бобу через неидеальный канал, используя заданное число кубитов. Рассчитайте максимум доступной информации и проанализируйте его зависимость от вероятности ошибки p.</p>
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

2 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Квантовая суперпозиция. Кубиты.
2. Докажите, что чистое состояние $|\psi_{AB}\rangle$ системы, состоящей из двух подсистем A и B, является перепутанным тогда и только тогда, когда $S(A|B) < 0$, где $S(A|B) = S(\rho_{AB}) - S(\rho_B)$ — так называемая условная энтропия.

Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме. Студент получает билет, содержащий два вопроса - теоретический и практический. Время подготовки - 1 час.

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-2пк-3 Демонстрирует знание теории баз данных, включая перспективные технологии обработки больших данных

Вопросы, задания

1. Квантовая суперпозиция. Кубиты.
2. Преобразования одного кубита. Перепутывание.
3. Квантовый логический элемент «управляемое НЕ».
4. Квантовая криптография - общие принципы. Квантовое распределение ключа
5. Квантовая криптография с открытыми ключами. Защита посредством неортогональных состояний: теорема о запрете клонирования.
6. Защита посредством перепутывания. Квантовое распределение ключа с одиночными частицами
7. Квантовое распределение ключа с помощью перепутанных состояний. Кодирование поляризации. Кодирование фазы
8. Протокол квантовой плотной кодировки
9. Протокол квантовой телепортации
10. Источники перепутанных фотонов. Анализатор состояний Белла. Эксперименты по квантовой телепортации кубитов
11. Обмен перепутыванием: телепортация перепутывания
12. Квантовые алгоритмы. Принцип локальных операций. Оракулы и алгоритм Дойча.
13. Квантовые логические элементы и квантовое вычисление с захваченными ионами.
14. Связывание атомов и фотонов. Модель передачи квантового состояния.
15. Состояние Гринберга-Хорна-Цайлингера
16. Декогерентность. Ограничения квантового вычисления из-за декогерентности
17. Исправление ошибок и устойчивое к сбоям вычисление.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Принцип запрета Паули распространяется на:

Ответы:

- фермионы
- бозоны
- частицы с целым спином

частицы с полужелтым спином

Верный ответ: фермионы частицы с полужелтым спином

2. Принцип запрета Паули распространяется на:

Ответы:

электроны

фотоны

дырки

протоны

бозоны Хиггса

Верный ответ: электроны дырки протоны

3. Разность энтропий (фон Неймана) двух подсистем не может

Ответы:

не может превышать энтропию полной системы

не может быть меньше энтропии полной системы

Верный ответ: не может превышать энтропию полной системы

4. Квантовая энтропия фон Неймана полной системы

Ответы:

может быть меньше энтропии составляющих подсистем

может быть больше энтропии составляющих подсистем

Верный ответ: может быть меньше энтропии составляющих подсистем

5. Энтропия фон Неймана взвешенной смеси состояний ... взвешенной сумме энтропий составляющих (вогнутость энтропии)

Ответы:

больше или равна

меньше или равна

равна

больше

меньше

Верный ответ: больше или равна

6. Полупроводник имеет уровень Ферми

Ответы:

в запрещенной зоне

в зоне валентности

в зоне проводимости

в зоне видимости

Верный ответ: в запрещенной зоне

7. Проводник имеет уровень Ферми

Ответы:

в запрещенной зоне

в зоне валентности

в зоне проводимости

в зоне видимости

Верный ответ: в зоне проводимости

8. Диэлектрик имеет уровень Ферми

Ответы:

в запрещенной зоне

в зоне валентности

в зоне проводимости

в зоне видимости

Верный ответ: в зоне валентности

9. Зависимость концентрации свободных носителей заряда от температуры в полупроводнике

Ответы:
экспоненциальная
обратная экспоненциальная
линейная
квадратичная
пропорциональна корню квадратному T

Верный ответ: экспоненциальная

10. Планковское время

Ответы:

очень мало, порядка 10^{-43} с.

очень велико, порядка 10^{+34} с.

соизмеримо с временем существования вселенной ~ 15 млрд. лет

Верный ответ: очень мало, порядка 10^{-43} с.

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу