

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
теории функций и геометрии



Семенов Е.М.

25.05.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.06 Квантовые компьютеры и квантовые вычисления

Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

1. Код и наименование специальности:

01.05.01 Фундаментальная математика и механика

2. Специализация:

Современные методы теории функций в математике и механике

3. Квалификация выпускника: Математик. Механик. Преподаватель

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

Кафедра теории функций и геометрии

6. Составители программы: Мелешенко П. А., к.ф.-м.н, доцент,

7. Рекомендована: Научно-методическим Советом математического факультета,
протокол № 0500-06 от 25.05.2023 г.

8. Учебный год: 2025/2026

Семестр(ы): 5

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- формирование у студентов комплекса знаний, умений и навыков в области квантовых компьютеров и квантовых вычислений.

Задачи учебной дисциплины:

- изучить основные подходы к функционированию современных квантовых компьютеров, а также основных методов квантовых вычислений.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:

Дисциплина «Квантовые компьютеры и квантовые вычисления» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 основной профессиональной образовательной программы по специальности 01.05.01 – Фундаментальные математика и механика.

Дисциплина «Квантовые компьютеры и квантовые вычисления» базируется на знаниях, полученных в рамках изучения дисциплин «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», и осуществляет разумный баланс между общеобразовательным содержанием выбранного профиля и его дальнейшей профессиональной направленностью, что, несомненно, повышает профессиональное самоопределение обучающихся и уровень их социальной адаптации.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1.	Способен выявлять, применять, разрабатывать и целенаправленно использовать методы теории функций в задачах математики и механики.	ПК-1.1.	Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук, программирования и информационных технологий.	Знать: базовые понятия, полученные в области математических и (или) естественных наук, программирования и информационных технологий. Уметь: - собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты исследований в области теории функций. Владеть навыками: - практического проведения научно-исследовательской деятельности в математике, механике и информатике
ПК-2.	Способен проводить исследования по обработке и анализу научной информации и результатов исследований методами теории функций.	ПК-2.1.	Знает современные методы разработки и реализации моделей, используя теорию функций	Знать: - современные методы разработки и реализации моделей, используя теорию функций. Уметь: - разрабатывать математические модели в области естествознания, экономики и управления, а также реализовывать алгоритмы математических моделей на базе пакетов прикладных программ моделирования. Владеть навыками: - проведения научно-исследовательской деятельности
		ПК-2.2.	Умеет разрабатывать математические модели в области естествознания, экономики и управления, а также реализовывать алгоритмы математических моделей на базе пакетов прикладных программ моделирования.	

		ПК-2.3.	Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области решения задач аналитического характера.	сти в области решения задач аналитического характера.
ПК-3.	Способен к построению моделей и оптимальному решению теоретических и прикладных задач математики и механики на основе методов теории функций и геометрии.	ПК-3.1.	Знает современные методы разработки и реализации математических моделей	Знать: - современные методы разработки и реализации математических моделей. Уметь: - строить модели и оптимальные решения теоретических и прикладных задач математики и механики на основе методов теории функций и геометрии. Владеть навыками: - построения моделей прикладных процессов; - навыками применения современных инструментальных средств к решению прикладных задач.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — 3/108.

Форма промежуточной аттестации - экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			5 семестр	№ семестра	...
Аудиторная работа		32	32		
в том числе:	лекции	16	16		
	практические	16	16		
	лабораторные	-	-		
Самостоятельная работа		40	40		
в том числе: курсовая работа (проект)					
Форма промежуточной аттестации <i>экзамен</i>		36	36		
Итого:		108	108		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			

1.1	История развития квантовой механики. Постулаты квантовой теории.	История развития квантовых представлений. Постулаты квантовой теории. Представление квантовых состояний и операторов. Понятие кубита. Трансформационные свойства квантовых состояний.	-----
1.2	Двухуровневые системы.	Спин $\frac{1}{2}$. Понятие о матрицах Паули. Спиновый резонанс для свободного электрона. Двухуровневая система. Поляризация фотонов	-----
1.3	Понятие о матрице плотности.	Общие определения. Несепарабельность, чистые и запутанные состояния. Эволюция оператора плотности. Вектор поляризации. Спиновая матрица плотности. Разложение Шмидта.	
1.4	Общие принципы вычислений	Основные понятия алгебры логики. Вычислительные логические гейты. Обратимые логические гейты.	
1.5	Квантовые вычисления.	Основные преимущества квантовых вычислений. Логические однокубитовые гейты. Невозможность клонирования кубита. Состояния Белла.	
1.6	Квантовые алгоритмы	Алгоритма Дойча. Алгоритм Дойча-Джозса. Классы квантовых алгоритмов. Квантовое Фурье-преобразование.	
1.7	Оценка фазы и поиск в базе данных	Понятие об оценке фазы. Алгоритм Гровера поиска в базе данных.	
1.8	Квантовая телепортация	Понятие о квантовой телепортации и ее применениях.	
2. Практические занятия			
2.1	История развития квантовой механики. Постулаты квантовой теории.	История развития квантовых представлений. Постулаты квантовой теории. Представление квантовых состояний и операторов. Понятие кубита. Трансформационные свойства квантовых состояний.	-----
2.2	Двухуровневые системы.	Спин $\frac{1}{2}$. Понятие о матрицах Паули. Спиновый резонанс для свободного электрона. Двухуровневая система. Поляризация фотонов	-----
2.3	Понятие о матрице плотности.	Общие определения. Несепарабельность, чистые и запутанные состояния. Эволюция оператора плотности. Вектор поляризации. Спиновая матрица плотности. Разложение Шмидта.	-----
2.4	Общие принципы вычислений	Основные понятия алгебры логики. Вычислительные логические гейты. Обратимые логические гейты.	-----
2.5	Квантовые вычисления.	Основные преимущества квантовых вычислений. Логические однокубитовые гейты. Невозможность клонирования кубита. Состояния Белла.	
2.6	Квантовые алгоритмы	Алгоритма Дойча. Алгоритм Дойча-Джозса. Классы квантовых алгоритмов. Квантовое Фурье-преобразование.	
2.7	Оценка фазы и поиск в базе данных	Понятие об оценке фазы. Алгоритм Гровера поиска в базе данных.	
2.8	Квантовая телепортация	Понятие о квантовой телепортации и ее применениях.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	История развития квантовой механики. Постулаты квантовой теории.	2	2	-	4	4	12
2	Двухуровневые системы.	2	2	-	4	6	14
3	Понятие о матрице плотности.	2	2	-	8	6	18
4	Общие принципы вычислений	2	2	-	8	4	16
5	Квантовые вычисления.	2	2	-	8	4	16
6	Квантовые алгоритмы	2	2	-	8	4	16
7	Оценка фазы и поиск в базе данных	2	2	-	4	4	12
8	Квантовая телепортация	2	2	-	4	4	12
	Итого:	16	16	-	40	36	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В процессе освоения дисциплины студенты должны посещать лекционные и практические занятия и сдать экзамен.

Указания для освоения теоретического и практического материала и сдачи экзамена:

1. Обязательное посещение всех занятий по дисциплине с конспектированием излагаемого преподавателем материала в соответствии с расписанием занятий.

2. Получение в библиотеке рекомендованной учебной литературы и электронное копирование рабочей программы с методическими рекомендациями, конспекта лекций.

3. Копирование (электронное) перечня вопросов к экзамену по дисциплине, а также списка рекомендованной литературы из рабочей программы дисциплины.

4. При подготовке к практическим занятиям по дисциплине необходимо изучить рекомендованный преподавателем материал, иметь при себе конспекты соответствующих тем и необходимый справочный материал.

5. Рекомендуется следовать советам преподавателя, связанным с освоением предлагаемого материала, провести самостоятельный Интернет - поиск информации (видеофайлов, файлов-презентаций, файлов с учебными пособиями) по ключевым словам курса и ознакомиться с найденной информацией при подготовке к экзамену по дисциплине.

При подготовке к лекционным и практическим занятиям, обучающимся важно помнить, что их задача, отвечая на основные вопросы плана занятия и дополнительные вопросы преподавателя, показать свои знания и кругозор, умение логически построить ответ, владение математическим аппаратом и иные коммуникативные навыки, умение отстаивать свою профессиональную позицию.

Освоение дисциплины предполагает не только обязательное посещение аудиторных занятий (лекций и практических занятий) и активную работу на них, но и самостоятельную учебную деятельность в течении семестра: изучение, рекомендуемой литературы, самостоятельное освоение понятийного аппарата, подготовку к практическим занятиям, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к экзамену.

Для успешного и качественного освоения дисциплины необходима планомерная, повседневная самостоятельная работа, направленная на формирование навыков работы с различными источниками, систематизацию полученной информации, подготовку к очередному занятию, решение задач.

Все выполняемые студентами самостоятельно задания подлежат последующей проверке преподавателем. Результаты текущих аттестаций учитываются преподавателем при проведении промежуточной аттестации.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	<i>Нильсен, М. Квантовые вычисления и квантовая информация = Quantum Computation and Quantum Information / М. Нильсен, И. Чанг ; пер. с англ. под ред. М.Н. Вялого и П.М. Островского с предисловием К.А. Валиева .— М. : Мир, 2006 .— 822 с. : ил .— Библиогр.: с.785-809 .— Предм. указ.: с.810-815 .— ISBN 5-03-003524-9.</i>
2	<i>Валиев, Камиль Ахметович. Квантовые компьютеры: надежды и реальность / К. А. Валиев, А. А. Кокин .— 2-е изд., испр. — М.; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2002 .— 320 с. : ил. — Библиогр. в конце глав. — Предм. указ.: с.314-319 .— ISBN 5-93972-024-2 (в пер.).</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	<i>Материалы семинаров научно-образовательного центра "Волновые процессы в неоднородных и нелинейных средах" / Воронеж. гос. ун-т; Под ред. А.С. Сидоркина .— Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2003 .— 455 с. : ил .— Библиогр. в конце статей .— ISBN 5-9273-0448-6.</i>
4	<i>Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси ; пер. с яп. А.В. Хачояна под ред. Л.Н. Патрикеева .— М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005 .— 134 с. : ил.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
5	https://habr.com/ru/post/480480/
6	https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj2yrPh59T6AhWypYsKHxcSDicQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fmipt.ru%2Fupload%2Fmedialibrary%2Fd27%2Fprezentatsiya_kubity.pdf&u sg=AOvVaw3AGfls51oZETUUoh1INLwy

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

Данный курс направлен на формирование навыков в области квантовых компьютеров и квантовых вычислений на основе ключевых компетенций, способствующих овладению опытом в сфере математического моделирования. В течение всего курса студенты получают презентации и практические задания.

17. Образовательные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение)

При реализации дисциплины используются следующие образовательные технологии: логическое построение дисциплины, установление межпредметных связей, обозначение теоретического и практического компонентов в учебном материале, актуализация личного и учебно-профессионального опыта обучающихся, включение элементов дистанционных образовательных технологий.

Изложение учебного материала основано на принципе системности, преемственности и последовательности и направлено на развитие интеллектуальных умений, профессиональных компетенций, формирование творческой личности высококвалифицированного специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Важнейшая цель преподавателя – систематизация большого объема теоретического материала и обучение студента умению ориентироваться в этом материале.

Рекомендуется использование, как традиционных форм организации лекционного материала, так и внедрение таких интерактивных технологий, как проблемная лекция, когда знания вводятся как «неизвестное», которое необходимо «открыть».

В практической части курса используется стандартное современное программное обеспечение персонального компьютера.

Дисциплина может реализовываться с применением дистанционных образовательных технологий, например, на платформе «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3460>). Осуществляется интерактивная связь с преподавателем через сеть интернет, проводятся индивидуальные онлайн консультации.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Для проведения лекционных и практических занятий требуется учебная аудитория, специализированная мебель.

Для самостоятельной работы студентов используется компьютерный класс, оснащенный специализированной оргтехникой, необходимым программным обеспечением, электронными учебными пособиями и законодательно - правовой и нормативной поисковой системой, имеющий выход в глобальную сеть:

Ubuntu (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://ubuntu.com/download/desktop>); Visual Studio Community (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия <https://visualstudio.microsoft.com/ru/vs/community/>); LibreOffice (GNU Lesser General Public License (LGPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://ru.libreoffice.org/about-us/license/>); Lazarus (GNU Lesser General Public License (LGPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.lazarus-ide.org/index.php>); Free Pascal (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.freepascal.org/faq.html>); Python 2/3 (Python Software Foundation License (PSFL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://docs.python.org/3/license.html>); 46 Gimp (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.gimp.org/about/>); Inkscape (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://inkscape.org/about/license/>); MiKTeX (Free Software Foundation (FSF), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://miktex.org/copying>); TeXstudio (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://texstudio.org/>); Maxima (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <http://maxima.sourceforge.net/faq.html>; WinDjView (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://windjview.sourceforge.io/ru/>); 7-Zip (GNU Lesser General Public License (LGPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.7-zip.org/license.txt>); Mozilla Firefox (Mozilla Public License (MPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.mozilla.org/en-US/MPL/>); VMware Player (бесплатное и/или свободное ПО, ли-

цензия: https://www.vmware.com/download/open_source.html); VirtualBox (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.virtualbox.org/wiki/Licensing_FAQ); Astra Linux Common Edition (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://dl.astralinux.ru/astra/stable/orel/>); PostgreSQL (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.postgresql.org/about/licence/>); GeoGebra (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.geogebra.org/license>); R (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.r-project.org/Licenses/>); Wing-101 (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://wingware.com/license/wing101>); Loginom Community Edition (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://loginom.com/platform/pricing>); MySQL (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://downloads.mysql.com/docs/licenses/>)

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	История развития квантовой механики. Постулаты квантовой теории.	ПК-1. ПК-2. ПК-3.	ПК - 1.1. ПК - 2.1. ПК - 2.2. ПК - 2.3. ПК – 3.1.	Устный опрос
2.	Двухуровневые системы.	ПК-1. ПК-2.	ПК - 1.1. ПК - 2.1. ПК - 2.2. ПК - 2.3.	Устный опрос. Индивидуальные задания.
3.	Понятие о матрице плотности.	ПК-1. ПК-2. ПК-3.	ПК - 1.1. ПК - 2.1. ПК - 2.2. ПК - 2.3. ПК – 3.1.	Устный опрос
4.	Общие принципы вычислений	ПК-1. ПК-2. ПК-3.	ПК - 1.1. ПК - 2.1. ПК - 2.2. ПК - 2.3. ПК – 3.1.	Устный опрос. Индивидуальные задания
5	Квантовые вычисления.	ПК-1. ПК-2. ПК-3.	ПК - 1.1. ПК - 2.1. ПК - 2.2. ПК - 2.3. ПК – 3.1.	Устный опрос
	Квантовые алгоритмы	ПК-1. ПК-2. ПК-3.	ПК - 1.1. ПК - 2.1. ПК - 2.2. ПК - 2.3. ПК – 3.1.	Устный опрос
	Оценка фазы и по-	ПК-1.	ПК - 1.1.	Устный опрос.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	иск в базе данных	ПК-2. ПК-3.	ПК - 2.1. ПК - 2.2. ПК - 2.3. ПК – 3.1.	Индивидуальные задания
	Квантовая телепортация	ПК-1. ПК-2. ПК-3.	ПК - 1.1. ПК - 2.1. ПК - 2.2. ПК - 2.3. ПК – 3.1.	Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Экзаменационные билет

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в форме устного опроса и также выполнения индивидуальных практических заданий. Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Примерный перечень вопросов

1. История развития квантовых представлений. Постулаты квантовой теории.
2. Представление квантовых состояний и операторов.
3. Понятие кубита. Трансформационные свойства квантовых состояний.
4. Спин $\frac{1}{2}$. Понятие о матрицах Паули. Спиновый резонанс для свободного электрона.
5. Двухуровневая система. Поляризация фотонов
6. Несепарабельность, чистые и запутанные состояния.
7. Эволюция оператора плотности. Вектор поляризации. Спиновая матрица плотности. Разложение Шмидта.
8. Основные понятия алгебры логики. Вычислительные логические гейты. Обратимые логические гейты.
9. Основные преимущества квантовых вычислений. Логические однокубитовые гейты. Невозможность клонирования кубита. Состояния Белла.
10. Алгоритма Дойча.
11. Алгоритм Дойча-Джозса. К
12. Классы квантовых алгоритмов.
13. Квантовое Фурье-преобразование.
14. Понятие об оценке фазы.
15. Алгоритм Гровера поиска в базе данных.
16. Понятие о квантовой телепортации и ее применениях.

Примерные индивидуальные задания текущего контроля

1. Вычислить коммутатор матриц Паули.
2. Найти произведение трех матриц Паули
3. Найти вероятность переворота спина электрона в осциллирующем магнитном поле (spin flip)
4. Найти вероятность заполнения уровня двухуровневой системы.
5. Кубит (спин 1/2) находится в неизвестном чистом состоянии $|\psi\rangle$, выбранном случайно из ансамбля состояний, однородно распределенных на сфере Блоха. Выбирая случайным образом, что заданное состояние есть $|\varphi\rangle$, чему равна в среднем точность воспроизведения случайного выбора F , определяемая соотношением $F \equiv |\langle \varphi | \psi \rangle|^2$?

Описание технологии проведения

Текущий контроль представляет собой проверку усвоения учебного материала теоретического и практического характера, регулярно осуществляемую на занятиях.

Текущий контроль предназначен для проверки хода и качества формирования компетенций, стимулирования учебной работы обучающихся и совершенствования методики освоения новых знаний. Он обеспечивается проведением опросов по теоретическому материалу, выполнением индивидуальных заданий.

При текущем контроле уровень освоения учебной дисциплины и степень сформированности компетенции определяются оценками «зачтено» и «незачтено». Систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний обучающихся.

Требования к выполнению заданий (шкалы и критерии оценивания)

При проведении текущего контроля успеваемости используются следующие **показатели**:

- 1) знание основных понятий и определений;
- 2) умение использовать стандартные методы для решения типовых задач;
- 3) оптимальность хода решения;
- 4) логика изложения, рассуждений;
- 5) правильность выполнения расчетов;
- 6) самостоятельность выводов.

Шкала оценивания:

Зачтено: выполнение заданий и ответы в ходе опроса соответствуют перечисленным показателям, обучающийся дает ответы на дополнительные вопросы, может быть не совсем полные. Демонстрирует умение решать задачи, возможно с некоторыми ошибками.

Незачтено: в ходе опроса ответы обучающегося не соответствуют ни одному из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует фрагментарные знания и умения или их отсутствие.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Предназначена для определения уровня освоения всего объема учебной дисциплины и проводится в форме экзамена.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Вопросы к экзамену

1. Постулаты квантовой теории.
2. Представление квантовых состояний и операторов.
3. Понятие кубита.
4. Трансформационные свойства квантовых состояний.
5. Спин $\frac{1}{2}$. Понятие о матрицах Паули.
6. Спиновый резонанс для свободного электрона.
7. Двухуровневая система. Поляризация фотонов
8. Оператор плотности Общие определения.
9. Несепарабельность, чистые и запутанные состояния.
10. Эволюция оператора плотности.
11. Вектор поляризации. Спиновая матрица плотности.
12. Разложение Шмидта.
13. Вычислительные логические гейты. Обратимые логические гейты.
14. Логические однокубитовые гейты.
15. Невозможность клонирования кубита. Состояния Белла.
16. Алгоритма Дойча.
17. Алгоритм Дойча-Джозса
18. Квантовое Фурье-преобразование.
19. Алгоритм Гровера поиска в базе данных.
20. Квантовая телепортация.

Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация включает в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний. Проводится в форме собеседования с преподавателем. Обучающийся получает два теоретических вопроса на знание понятий и определений, формулировок и доказательств утверждений. Оценивание ответа производится по пятибалльной шкале.

Время подготовки к ответу не должно превышать одного академического часа. При необходимости, в ходе ответа преподаватель может задавать уточняющие и дополнительные вопросы.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

При проведении промежуточной аттестации используются следующие **показатели**:

- 1) знание основных понятий и определений;
- 2) владение терминологией;
- 3) навыки анализа, обобщения, критического осмысления и восприятия информации;
- 4) грамотность и логичность изложения,
- 5) умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами.

Критерии оценивания	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
- обучающийся полно усвоил учебный материал; - проявляет навыки анализа, обобщения, критического осмысления и восприятия информации; - материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности, точно используется терминология; - показано умение иллюстрировать теоретические	Пороговый уровень и выше порогового	отлично

положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; - обучающимся продемонстрирована сформированность и устойчивость компетенций, умений и навыков; - могут быть допущены одна–две неточности при освещении второстепенных вопросов.		
ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «отлично», но при этом имеет место один из недостатков: - в усвоении учебного материала допущены небольшие пробелы, не искажившие содержание ответа;	Пороговый уровень	хорошо
- неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса и продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения материала; - имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, описании математических законов, - при неполном знании теоретического материала выявлена недостаточная сформированность компетенций, умений и навыков, обучающийся не может применить теорию в новой ситуации.	Ниже порогового и пороговый уровень	удовлетворительно
- не раскрыто основное содержание учебного материала; - обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала; - допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, - не сформированы компетенции, отсутствуют соответствующие знания, умения и навыки.	Ниже порогового уровня	неудовлетворительно

20.3. Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

Задания открытого типа:

1) Вставьте слово: Геометрическое место точек конца вектора состояния кубита образуют сферу единичного радиуса, называемую (.....).

Ответ: сферой Блоха.

2) Найдите квадрат матрицы Паули σ_x .

Ответ: 1

Решение. Квадрат любой матрицы Паули равен единице.

3) Вставить слово: В (.....) состоянии совместное состояние всех частиц представляется с помощью одного вектора состояния

Ответ: чистом

4) Чему равна длина вектора поляризации системы частиц со спином $\frac{1}{2}$, находящихся в чистом квантовом состоянии?

Ответ: 1

Решение: Длина вектора поляризации системы частиц со спином $\frac{1}{2}$, находящихся в смешанном состоянии удовлетворяет условию: $0 \leq P \leq 1$. Максимально возможное значение $|P|$ достигается, когда пучок находится в чистом состоянии.

5) Вставить слово: (.....) – это передача квантового состояния из одного места в другое даже при отсутствии квантового канала между отправителем и получателем.

Ответ: Квантовая телепортация

Задания закрытого типа:

1) Верно ли, что квантовая телепортация позволяет обойти принцип причинности?

Ответ: неверно.

Решение. При осуществлении квантовой телепортации необходимо наличие классического канала связи между отправителем и получателем. Таким образом, нарушения принципа причинности не происходит, так как по классическому каналу информация не может распространяться быстрее скорости света.

2) Уравнение Шредингера имеет вид:

а) $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}\psi$, б) $-i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}\psi$ в) $i\hbar^2 \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}\psi$, г) $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H}^2\psi$

Ответ: а)

3) Какое из соотношений выражает свойство антикоммутируемости матриц Паули?

а) $\sigma_i \sigma_k - \sigma_k \sigma_i = 2i\sigma_l$, б) $\sigma_i \sigma_k + \sigma_k \sigma_i = 0$, в) $\sigma_x \sigma_y \sigma_z = iI$, г) $\det \|\sigma_i\| = -1$

Ответ: б)

4) Верно ли, что волновая функция должна обладать свойствами непрерывности и однозначности?

Ответ : неверно

Решение. Для того, чтобы описывать реальную квантовую систему волновая функция должна быть еще и ограниченной.

5) Верно ли, что при считывании информации из кубита он не разрушается?

Ответ : неверно

Решение. В отличие от понятия бита информации в классической теории, которая может быть считана (измерена) без разрушения состояния бита, кубит при считывании (измерении) переходит в одно из двух своих базисных состояний.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

1) Тестовые задания.

- Задания закрытого типа – средний уровень сложности (выбор одного варианта ответа, верно/неверно):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ.

- Задания закрытого типа - средний уровень сложности (множественный выбор):

- 2 балла – указаны все верные ответы;
- за каждый верный ответ ставится 1 балл, при этом за каждый неверный ответ вычитается 1 балл;
- 0 баллов — не выбрано ни одного верного ответа.

- Задания закрытого типа (на соответствие):

- 2 балла – все соответствия определены верно;
- за каждое верное сопоставление ставится количество баллов, равное максимальному (2 балла), деленному на количество предлагаемых в вопросе сопоставлений;
- 0 баллов – ни одно сопоставление не выбрано верно.

- Задания открытого типа (короткий ответ):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ.

2) Расчетные задачи ситуационные, практико-ориентированные задачи

- 5 баллов – выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если состоит из выполнения нескольких подзаданий, 50% которых выполнено верно;
- 0 баллов – не выполнено или выполнено неверно (ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее его изучение).

– повышенный уровень сложности:

- 10 баллов – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 5 баллов – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи.