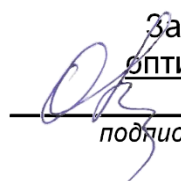


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии
 (Овчинников О.В.)
подпись, расшифровка подписи

05. 06.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.06.01 Квантовые коммуникации

1. Код и наименование направления подготовки: 12.03.03.Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Фотоника и оптоинформатика
3. Квалификация выпускника: бакалавр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Головинский Павел Абрамович, доктор физико-математических наук, профессор
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 04.06.2025 г.
8. Учебный год: 2028/2029 Семестр(-ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются:

сформировать знания об основных принципах и подходах к построению систем квантовой коммуникации и распределенных защищенных сетей на их основе; основных принципах формирования, передачи и регистрации квантовых сигналов в волоконно-оптических и атмосферных каналах передачи данных; изучить базовые протоколы, подходы к обоснованию их стойкости, методы экспериментальной реализации.

Задачи учебной дисциплины:

- изучить основные принципы и подходы к построению систем квантовой коммуникации и распределенных защищенных сетей на их основе;
- освоить принципы формирования, передачи и регистрации квантовых сигналов в волоконно-оптических и атмосферных каналах передачи данных
- изучить базовые протоколы, подходы к обоснованию их стойкости, методы экспериментальной реализации
- овладеть навыками работы с экспериментальными системами квантовой коммуникации;
- овладеть навыком самостоятельной работы с технической документацией устройств квантовой коммуникации.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: часть, формируемая участниками образовательных отношений, дисциплины по выбору (Б1.В.ДВ.6), блок Б1.

11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен к анализу поставленной задачи исследований в области фотоники и оптоинформатики	ПК-2.1	Уточняет и корректирует требования к параметрам разрабатываемого опτικο-электронного прибора	Знать: требования к параметрам разрабатываемого опτικο-электронного прибора. Уметь: уточнять и корректировать требования к параметрам разрабатываемого опτικο-электронного прибора. Владеть: навыками планирования корректировки требований к параметрам разрабатываемого опτικο-электронного прибора.
		ПК-2.2	Согласовывает технические требования к параметрам разрабатываемого изделия и прибора, сроки выполнения этапов разработки, перечня и объема документации	Знать: технические требования к параметрам разрабатываемого изделия и прибора, сроки выполнения этапов разработки, перечня и объема документации. Уметь: согласовывать технические требования к параметрам разрабатываемого изделия и прибора, сроки выполнения этапов разработки, перечня и объема документации. Владеть: навыками согласования технических требований к параметрам разрабатываемого изделия и прибора, сроки выполнения этапов разработки, перечня и объема документации.
		ПК-2.3	Проводит поиск научно-технической информации для определения комплекса	Знать: принципы поиска научно-технической информации для определения комплекса требований к разрабатываемому опτικο-электронному прибору. Уметь: проводить поиск научно-технической информации для определения

			требований к разрабатываемому оптико-электронному прибору	комплекса требований к разрабатываемому оптико-электронному прибору. Владеть: навыками поиска научно-технической информации для определения комплекса требований к разрабатываемому оптико-электронному прибору.
		ПК-2.4	Производит анализ исходных требований к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора	Знать: исходные требования к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора. Уметь: проводить анализ исходных требований к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора. Владеть: навыками анализа исходных требований к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора.
ПК-3	Способен к расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях	ПК-3.1	Разрабатывает конструкторскую документацию на оптические, оптико-электронные, механические блоки, узлы и детали в соответствии с требованиями технического задания, стандартов и технологичности	Знать: конструкторскую документацию на оптические, оптико-электронные, механические блоки, узлы и детали в соответствии с требованиями технического задания, стандартов и технологичности. Уметь: разрабатывать конструкторскую документацию на оптические, оптико-электронные, механические блоки, узлы и детали в соответствии с требованиями технического задания, стандартов и технологичности. Владеть: навыками разработки конструкторской документации на оптические, оптико-электронные, механические блоки, узлы и детали в соответствии с требованиями технического задания, стандартов и технологичности.
		ПК-3.2	Разрабатывает документацию по обеспечению качества, надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	Знать: документацию по обеспечению качества, надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Уметь: разрабатывать документацию по обеспечению качества, надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Владеть: навыками разработки документации по обеспечению качества, надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
		ПК-3.3	Согласовывает разрабатываемую проектную конструкторскую, рабочую конструкторскую документацию	Знать: разрабатываемую проектную конструкторскую, рабочую конструкторскую документацию. Уметь: согласовывать разрабатываемую проектную конструкторскую, рабочую конструкторскую документацию. Владеть: навыками согласования разрабатываемой документации.
		ПК-3.4	Разрабатывает эксплуатационно-техническую документацию на оптико-электронные	Знать: эксплуатационно-техническую документацию на оптико-электронные приборы и комплексы. Уметь: разрабатывать эксплуатационно-техническую документацию на оптико-электронные приборы и комплексы.

			приборы и комплексы	Владеть: навыками разработки эксплуатационно-технической документацию.
		ПК-3.5	Разрабатывает функциональные и структурные схемы оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов с определением физических принципов действия устройств, их структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы	Знать: функциональные и структурные схемы оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Уметь: разрабатывать функциональные и структурные схемы оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов с определением физических принципов действия устройств, их структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы. Владеть: навыками определения физических принципов действия устройств, их структур и навыками установления технических требований.
		ПК-3.6	Разрабатывает технические задания на проектирование и конструирование оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	Знать: принципы разработки технического задания на проектирование и конструирование оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Уметь: разрабатывать технические задания на проектирование и конструирование оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Владеть: навыками разработки технического задания на проектирование и конструирование оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.(в соответствии с учебным планом) — 6/216.

Форма промежуточной аттестации: экзамен

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			№ 7
Аудиторные занятия		90	90
в том числе:	лекции	38	38
	практические	52	52
	лабораторные		
Самостоятельная работа		90	90
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации <i>экзамен</i>		36	36
Итого:		216	216

13.1 Содержание дисциплины:

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Введение	Квантовые состояния. Квантовая информация и квантовые измерения. Запутанные состояния. Квантовый гейты и квантовые алгоритмы. Квантовое клонирование. Квантовая телепортация. Количество классической и квантовой информации. Классическое и квантовое кодирование. Криптография с открытым ключом. Проблемы распределения ключей для современной защиты информации.
1.2	Протоколы квантового распределения ключа	Основные принципы квантового распределения ключей. Системы квантового распределения ключа. Обзор основных протоколов КРК. Протокол BB84 с поляризационным кодированием (пример).
1.3	Квантовые коммуникации по ВОЛС	Концепция квантовой сети. Мультиплексирование в системах квантовой коммуникации. Квантовые коммуникации и передача данных по одному каналу. Квантовые повторители.
1.4	Актуальные задачи развития систем квантового распределения ключа.	Увеличение скорости и дальности систем квантовой коммуникации. Увеличение спектральной эффективности систем квантовой коммуникации. Разработка квантовых повторителей. Повышение эффективности источников и приёмников одиночных фотонов. Разработка методов борьбы с атаками на квантовый канал, использующие несовершенство устройств (квантовый взлом, quantum hacking).
1.5	Квантовые коммуникации в свободном пространстве и в космосе	Эксперименты по передаче квантовых ключей через атмосферный канал связи. Квантовая коммуникация по атмосферному каналу связи в условиях прямой видимости. Передача запутанных фотонных пар по атмосферному каналу связи. Квантовая коммуникация между движущимся и наземным объектами. Квантовая коммуникация между наземными и низкоорбитальными летательными объектами. Квантовая коммуникация с использованием фотонов, обладающих орбитальным угловым моментом
2. Практические занятия		
2.1	Протоколы квантового распределения ключа	Обзор основных протоколов КРК. Протокол BB84 с поляризационным кодированием (пример)
2.2	Квантовые коммуникации по ВОЛС	Концепция квантовой сети. Мультиплексирование в системах квантовой коммуникации. Квантовые коммуникации и передача данных по одному каналу. Квантовые повторители.
2.3	Актуальные задачи развития систем квантового распределения ключа.	Увеличение скорость и дальность систем квантовой коммуникации. Увеличение спектральной эффективности систем квантовой коммуникации. Разработка квантовых повторителей. Повышение эффективности источников и приёмников одиночных фотонов. Разработка методов борьбы с атаками на квантовый канал, использующие несовершенство устройств (квантовый взлом, quantum hacking).
2.4	Квантовые коммуникации в свободном пространстве и в космосе	Первый эксперимент по передаче квантовых ключей через атмосферный канал связи. Квантовая коммуникация по атмосферному каналу связи в условиях прямой видимости. Передача запутанных фотонных пар по атмосферному каналу связи на 144 км. Квантовая коммуникация между движущимся и наземным объектами. Квантовая коммуникация между наземными и низкоорбитальными летательными объектами. Квантовая коммуникация с использованием фотонов, обладающих орбитальным угловым моментом

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)					
		Лекции	Практ.	Лаб.	СРС	Контроль	Всего
1.	Введение	2					2
2.	Протоколы квантового распределения ключа	8	12		20	9	49
3.	Квантовые коммуникации по ВОЛС	10	14		25	9	58
4.	Актуальные задачи развития систем квантового распределения ключа.	10	14		25	9	58
5.	Квантовые коммуникации в свободном пространстве и в космосе	8	12		20	9	49
	Итого	38	52		90	36	216

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

- Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.
- Работа с текстом конспекта лекции.
- Подготовка к лабораторным занятиям, составление отчетов.
- Подготовка докладов.

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

Список литературы

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Основы квантовой коммуникации : учебное пособие / А. В. Козубов, А. А. Гайдаш, С. М. Кынев [и др.]. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2019 — Часть 1 — 2019. — 85 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/174699 (дата обращения: 27.09.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
2.	Мардоян Л., Погосян Г., Сисакян А. - Квантовые системы со скрытой симметрией. Межбазисные разложения - Издательство "Физматлит" - 2006 - 240с. - ISBN: 5-9221-0688-0 - Текст электронный // ЭБС ЛАНЬ - URL: https://e.lanbook.com/book/59425
3.	Хренников А.Ю. - Введение в квантовую теорию информации - Издательство "Физматлит" - 2008 - 284с. - ISBN: 978-5-9221-0951-2 - Текст электронный // ЭБС ЛАНЬ - URL: https://e.lanbook.com/book/217
4.	Квантовые системы, каналы, информация, Холево, А. С., 2010

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Ресурсы Интренет
5.	Электронный каталог ЗНБ ВГУ https://www.lib.vsu.ru/
6.	ЭБС "Издательства "Лань" https://e.lanbook.com
7.	ЭБС "Университетская библиотека online" https://biblioclub.lib.vsu.ru
8.	Национальный цифровой ресурс "РУКОИТ" https://rucont.ru

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Учебно-методические указания к лабораторным занятиям дисциплины "Квантовые коммуникации".
2	Электронный учебный курс "Квантовые коммуникации".
3	Квантовые коммуникации. Часть I. Изучение квантовых явлений: лабораторный практикум /А.М.Былина, А.И. Андрюнин, А.В. Фраз; СПбГУТ. – Санкт-Петербург, 2022, - 62 с. https://reader.lanbook.com/book/279344#1

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекционные и практические занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные

(анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

Текущий контроль проводится путем проверки выполнения домашнего задания, входного контроля (в виде самостоятельных работ, докладов и рефератов).

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «MOOK ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Аудитория для лекционных занятий, оснащенная ноутбуком Asus, с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ВГУ, проектором BenQ MS 612ST, доска магнитно-маркерная 100*200.

Программное обеспечение: ОС Windows (WinPro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc), Microsoft Office (OfficeSTD 2013 RUS OLP NL Acdmc). Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат.ВУЗ». Office Standard 2019 Single OLV NL Each Academic Edition Additional Product. Программный комплекс для ЭВМ - MathWorks. Система инженерного моделирования ANSYS HF Academic Research.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ" (<https://edu.vsu.ru>).

19. Фонд оценочных средств:

19.1 Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК-2.1. Уточняет и корректирует требования к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора	Знать: требования к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора. Уметь: уточнять и корректировать требования к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора. Владеть: навыками планирования корректировки требований к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора.	Разделы 1.1-1.5	КИМ
ПК-2.2. Согласовывает технические требования к параметрам разрабатываемого изделия и прибора, сроки выполнения	Знать: технические требования к параметрам разрабатываемого изделия и прибора, сроки выполнения этапов разработки, перечня и объема документации. Уметь: согласовывать технические требования к параметрам разрабатываемого изделия и прибора,		

этапов разработки, перечня и объема документации	сроки выполнения этапов разработки, перечня и объема документации. Владеть: навыками согласования технических требований к параметрам разрабатываемого изделия и прибора, сроки выполнения этапов разработки, перечня и объема документации.		
ПК-2.3. Проводит поиск научно-технической информации для определения комплекса требований к разрабатываемому оптико-электронному прибору	Знать: принципы поиска научно-технической информации для определения комплекса требований к разрабатываемому оптико-электронному прибору. Уметь: проводить поиск научно-технической информации для определения комплекса требований к разрабатываемому оптико-электронному прибору. Владеть: навыками поиска научно-технической информации для определения комплекса требований к разрабатываемому оптико-электронному прибору.		
ПК-2.4. Производит анализ исходных требований к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора	Знать: исходные требования к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора. Уметь: проводить анализ исходных требований к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора. Владеть: навыками анализа исходных требований к параметрам разрабатываемого оптико-электронного прибора.		
ПК-3.1. Разрабатывает конструкторскую документацию на оптические, оптико-электронные, механические блоки, узлы и детали в соответствии с требованиями технического задания, стандартов и технологичности	Знать: конструкторскую документацию на оптические, оптико-электронные, механические блоки, узлы и детали в соответствии с требованиями технического задания, стандартов и технологичности. Уметь: разрабатывать конструкторскую документацию на оптические, оптико-электронные, механические блоки, узлы и детали в соответствии с требованиями технического задания, стандартов и технологичности. Владеть: навыками разработки конструкторской документации на оптические, оптико-электронные, механические блоки, узлы и детали в соответствии с требованиями технического задания, стандартов и технологичности.		
ПК-3.2. Разрабатывает документацию по обеспечению качества, надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	Знать: документацию по обеспечению качества, надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Уметь: разрабатывать документацию по обеспечению качества, надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов.		

электронных приборов и комплексов	Владеть: навыками разработки документации по обеспечению качества, надежности и безопасности на всех этапах жизненного цикла оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов		
ПК-3.3. Согласовывает разрабатываемую проектную конструкторскую, рабочую конструкторскую документацию	Знать: разрабатываемую проектную конструкторскую, рабочую конструкторскую документацию. Уметь: согласовывать разрабатываемую проектную конструкторскую, рабочую конструкторскую документацию. Владеть: навыками согласования разрабатываемой документации.		
ПК-3.4. Разрабатывает эксплуатационно-техническую документацию на оптико-электронные приборы и комплексы	Знать: эксплуатационно-техническую документацию на оптико-электронные приборы и комплексы. Уметь: разрабатывать эксплуатационно-техническую документацию на оптико-электронные приборы и комплексы. Владеть: навыками разработки эксплуатационно-технической документацию.		
ПК-3.5. Разрабатывает функциональные и структурные схемы оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов с определением физических принципов действия устройств, их структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы	Знать: функциональные и структурные схемы оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Уметь: разрабатывать функциональные и структурные схемы оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов с определением физических принципов действия устройств, их структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы. Владеть: навыками определения физических принципов действия устройств, их структур и навыками установления технических требований.		
ПК-3.6. Разрабатывает технические задания на проектирование и конструирование оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов	Знать: принципы разработки технического задания на проектирование и конструирование оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Уметь: разрабатывать технические задания на проектирование и конструирование оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов. Владеть: навыками разработки технического задания на проектирование и конструирование оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов		
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен			КИМ

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала, владение понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение описывать основные характеристики спектральных приборов;
- 4) владение знаниями о теоретических основах и современных методах молекулярной спектроскопии.

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Посещение лекционных занятий. Ответ на вопрос контрольно-измерительного материала во время зачета. Ответы на дополнительные вопросы. Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами дисциплины, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано теоретических основ дисциплины.</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Имеет не полное представление о теоретических основах., допускает существенные ошибки.</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.</i>	<i>—</i>	<i>Неудовлетворительно</i>

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к экзамену:

1. Проблемы распределения ключей для современной защиты информации.
2. Основные принципы квантового распределения ключей. Системы квантового распределения ключа.
3. Обзор основных протоколов КРК. Протокол BB84 с поляризационным кодированием (пример).
4. Концепция квантовой сети. Мультиплексирование в системах квантовой коммуникации.
5. Квантовые коммуникации и передача данных по одному каналу.
6. Квантовые повторители.
7. Увеличение скорости и дальности систем квантовой коммуникации.
8. Увеличение спектральной эффективности систем квантовой коммуникации.
9. Разработка квантовых повторителей.
10. Повышение эффективности источников и приёмников одиночных фотонов.
11. Методы борьбы с атаками на квантовый канал, использующие несовершенство устройств (квантовый взлом, quantum hacking).
12. Первый эксперимент по передаче квантовых ключей через атмосферный канал связи.
13. Квантовая коммуникация по атмосферному каналу связи в условиях прямой видимости.
14. Передача запутанных фотонных пар по атмосферному каналу связи на 144 км.
15. Квантовая коммуникация между движущимися и наземными объектами.
16. Квантовая коммуникация между наземными и низкоорбитальными летательными объектами.
17. Квантовая коммуникация с использованием фотонов, обладающих орбитальным угловым моментом.
19. Биты и кубиты.
20. Квантовые гейты.
21. Квантовые алгоритмы.

22. Квантовая телепортация.
23. Квантовое измерение.
24. Парадокс ЭПР.
25. Классическое кодирование.
26. Квантовое кодирование.
27. Запутанные состояния и их свойства.
28. Квантовое клонирование.
29. Квантовая информация.

19.3.2 Темы рефератов

1. Квантовые каналы передачи информации
2. Передача квантовой информации через атмосферный канал.
3. Передача квантовой информации через оптическое волокно.
4. Помехи и шумы в атмосферном канале.
5. Помехи и шумы в оптическом волокне.
6. Источники одиночных фотонов.
7. Надежность квантовых каналов связи.
8. Плотность квантового кодирования.
9. Квантовые измерения смешанных состояний.
10. Измерения запутанных фотонов.

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

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

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа); тестирования; оценки результатов практической деятельности. Критерии оценивания приведены выше.

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

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используется качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.

Вопросы для тестов без ответов

1. Что такое бит информации?
2. Что такое кубит?
3. Что такое сфера Блоха?
4. Что такое запутанное состояние?
5. Что такое поляризованный фотон?
6. Что такое криптография?
7. Что такое кодирование?
8. Что такое граница Холево?
9. Что такое парадокс ЭПР?
10. Что такое квантовая телепортация?
11. Что такое квантовое измерение?
12. Что такое смешанное квантовое состояние?
13. Что такое квантовый протокол передачи информации?
14. Что такое квантовый алгоритм?
15. Что такое квантовый гейт?
16. Что такое унитарный оператор?
17. Что такое оператор Адамара?
18. Что такое квантовый канал связи?
19. Что такое атмосферный канал связи?
20. Что такое оптоволоконный канал связи?
21. Что такое хэш-функция?
22. Что называется схемой электронной подписи?

23. Что такое когерентная атака подслушивания?
24. Что такое ключ криптосистемы?
25. Что понимают под коллапсом волновой функции?
26. Что такое алгоритм Диффи-Хелмана?
27. Что такое унитарный оператор?
28. Что такое случайное число?
29. Что такое код с открытым ключом?
30. Что такое проекционный оператор?

Вопросы для тестов с ответами

1. **Чем отличаются матрицы от векторов?**
 - А) Векторы и матрицы действуют в пространствах разной размерности.
 - Б) Имеют разные нормировки.
 - В) Вектор - это матрица с одним столбцом или одним столбцом.
 - Г) Матрицы могут быть комплексные, а векторы – только действительные.
2. **Что такое квантовое состояние?**
 - А) Состояние, которое может меняться только скачком.
 - Б) Состояние, характеризующееся волновой функцией.
 - В) Состояние с квантованной энергией.
 - Г) Состояние микрочастицы.
3. **Что такое амплитуда вероятности?**
 - А) Доля полной вероятности нахождения частицы в данной области пространства.
 - Б) Вероятностная характеристика квантового состояния.
 - В) Связь между состояниями колеблющихся частиц.
 - Г) Максимальная величина колебаний квантовых систем.
4. **Что такое линейный оператор?**
 - А) Простой оператор.
 - Б) Оператор, отображающий сумму векторов в сумму их отображений.
 - В) Оператор, который может быть представлен матрицей конечного размера.
 - Г) Оператор, квадрат которого равен самому оператору.
5. **В чем состоят квантовые измерения?**
 - А) В проектировании вектора на подпространство.
 - Б) В определении среднего значения той или иной физической величины.
 - В) В расчете вероятности процесса.
 - Г) В наблюдении квантовых скачков.
6. **Каким уравнением описывается эволюция изолированной квантовой системы?**
 - А) Квантовым уравнением Лиувилля.
 - Б) Уравнением Больцмана.
 - В) Уравнением Максвелла.
 - Г) Уравнением Шредингера.
7. **Что такое унитарный оператор?**
 - А) Оператор, кратный единичному.
 - Б) Оператор, сохраняющий нормировку вектора.
 - В) Оператор, совпадающий с транспонированным.
 - Г) Оператор, задающий эволюцию квантового состояния во времени.
8. **Что такое смешанные состояния?**
 - А) Ансамбль чистых состояний.
 - Б) Состояние, описываемое матрицей плотности.
 - В) Состояние совокупности подсистем.
 - Г) Состояние квантовых частиц после взаимодействия.

9. **Что такое перепутанные состояния?**

- А) Состояния, интерпретация которых вызывает затруднения.
- Б) Взаимосвязанные состояния, возникающие в результате взаимодействия квантовых систем.
- В) Состояния с частичной потерей информации.
- Г) Состояния систем многих частиц.

10. **Парадокс Эйнштейна-Розена-Подольского это:**

- А) Ошибочное утверждение Эйнштейна.
- Б) Явление, указывающее на ошибочность квантовой механики.
- В) Квантовый парадокс измерения перепутанных состояний.
- Г) Ненаблюдаемый логический парадокс.

11. **Что такое кубиты?**

- А) Четырехбитные состояния.
- Б) Двухкомпонентные квантовые состояния.
- В) Неопределяемые фундаментальные единицы квантовой информатики.
- Г) Виртуальные состояния.

12. **Что такое граница Холево?**

- А) Максимально число передаваемых по квантовому каналу состояний.
- Б) Верхняя граница информации в квантовом состоянии.
- В) Степень перепутанности фотонов.
- Г) След матрицы плотности фотонов.

13. **Что означает запрет клонирования состояний?**

- А) Возможность пропускания через фильтр только одного фотона.
- Б) Неопределенность в энергии фотона.
- В) Невозможность создания точной копии квантового состояния.
- Г) Неопределенность в поляризации фотона.

14. **В чем состоит исправление квантовых ошибок?**

- А) Коррекция потока фотонов оператором.
- Б) Метод исправления потери когерентности за счет избыточности информации.
- В) Корреляционная поправка к матрице плотности фотонов.
- Г) Инвертирование волновой функции на выходе квантового компьютера.

15. **Что такое квантовое распределение ключей?**

- А) Генерация ключей с помощью квантового компьютера.
- Б) Нахождение наилучших ключей методом квантового поиска.
- В) Метод передачи ключа по защищенному квантовому каналу.
- Г) Создание пар сцепленных ключей.

16. **В чем состоит квантовая телепортация?**

- А) Мгновенное перемещение квантовой частицы из одной точки в другую.
- Б) Перемещение частиц со сверхсветовыми скоростями.
- В) Разрушение квантового состояния в одном месте с появлением его в другом.
- Г) Передача информации со скоростью больше скорости света.

17. **Как нормируется волновая функция свободной частицы?**

- А) Не нормируется.
- Б) Нормируется в большом ящике.
- В) Нормировочный коэффициент равен единице.
- Г) Нормировка произвольна.

18. **Как определяется вероятность обнаружения электрона через его волновую функцию ψ в малом объеме dV ?**

- А) ψdV
- Б) $|\psi|^2 dV$
- В) $\psi \psi dV$

Г) ψ/dV

19. Что представляет собой волна де-Бройля?

- А) Расходящуюся волну.
- Б) Плоскую волну.
- В) Сходящуюся волну.
- Г) Стоячую волну.

20. Что такое размерное квантование?

- А) Возникновение дискретных уровней энергии из-за ограничения движения.
- Б) Зависимость энергии от размеров частицы.
- В) Зависимость результатов квантования от единиц измерения.
- Г) Разделение движения частицы на дискретные подобласти.

21. Что такое редукция волновой функции?

- А) Сокращенное описание волновой функции.
- Б) Изменение волновой функции в результате измерения.
- В) Проекция волновой функции на физический базис.
- Г) Измерение волновой функции

22. Как получить поляризованный фотон?

- А) Наблюдать фотон на большом расстоянии от источника.
- Б) Разделить лучи света после прохождения стеклянной призмы.
- В) Разделить лучи после прохождения дифракционной решетки.
- Г) Пропустить фотон через поляризатор.

23. Что будет наблюдаться после прохождения ускоренного пучка тепловых электронов через неоднородное магнитное поле?

- А) Будет размытая полоса на экране.
- Б) будет широкое пятно на экране.
- В) Пучок расщепится на два.
- Г) Пучок отклонится вдоль градиента поля.

24. Что такое квантовая точка?

- А) Точка с квантовыми свойствами.
- Б) Полупроводниковый нанокристалл.
- В) Состояние с неопределенной энергией.
- Г) Минимальное по энергии состояние квантовой системы.

25. Что такое стационарное состояние в квантовой механике?

- А) Состояние с определенной постоянной энергией.
- Б) Состояние, которое не зависит от времени.
- В) Состояние, формирующееся в постоянном электрическом поле.
- Г) Состояние, формирующееся в постоянном магнитном поле.

26. Что такое потенциал ионизации атома?

- А) Энергия отрыва электрона от атома.
- Б) Потенциал электрического поля, позволяющий оторвать электрон от атома.
- В) Возможность атома образовать ионную связь.
- Г) Степень локализации электрона в полярной молекуле.

27. В чем отличие спонтанного излучения от индуцированного?

- А) Возникает самопроизвольно в отсутствие внешних полей.
- Б) Не требует наличия резонатора.
- В) Не зависит от внешних фононов.
- Г) Энергия системы в результате этого процесса уменьшается.

28. Что такое спин электрона?

- А) Отображение электрона на комплексное поле.
- Б) Внутренняя степень свободы, связанная с вращением.
- В) Вращательное движение электрона.
- Г) Возможность описания электрона матрицами.

29. Каков спин фотона?

- А) Целый
- Б) Полуцелый
- В) 1.2.
- Г) 9.999...

30. Какой статистике подчиняются фотоны?

- А) Бозе-Эйнштейна.
- Б) Ферми-Дирака.
- В) Больцмана.
- Г) Максвелла.

Примеры задач с решениями

1. Сложить две матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 5 \end{pmatrix}.$$

2. Перемножить две матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 5 \end{pmatrix}.$$

3. Найти вероятность обнаружить квантовую систему в одном из двух состояний, если ее волновая функция имеет вид
- $|q\rangle = \sqrt{\frac{1}{3}}|0\rangle + \sqrt{\frac{2}{3}}|1\rangle$
- .

4. Проверить условие нормировки волновой функции
- $|q\rangle = \sqrt{\frac{1}{3}}|0\rangle + \sqrt{\frac{2}{3}}|1\rangle$
- .

5. Найти скалярное произведение векторов

$$|u\rangle = \begin{pmatrix} 1+i \\ 2-2i \end{pmatrix}, |v\rangle = \begin{pmatrix} -i \\ 1/2 \end{pmatrix}.$$

6. Нормализовать вектор
- $|q\rangle = |0\rangle + |1\rangle$
- .

7. Выразить проекторы
- $|0\rangle\langle 0|$
- и
- $|1\rangle\langle 1|$
- в матричном виде.

8. Найти эрмитово-сопряженную матрицу
- $A = \begin{pmatrix} 1+i & 1-i \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$
- ,

9. Вычислить след матриц
- $X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
- .

10. Проверить унитарность операторов Паули
- $X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, Y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$
- .

11. Вычислить коммутатор матриц
- $X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$
- .

12. Найти спектральные разложения операторов
- Z
- и
- X
- .

13. Найти тензорное произведение операторов
- $X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, Y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$
- .

14. Применить вентиль Адамара $H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$ к состояниям $|0\rangle$ и $|1\rangle$.
15. Пусть имеется состояние $|q\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|01\rangle + \gamma|10\rangle + \delta|11\rangle$. Найти вероятность получить $|0\rangle$ при измерении в вычислительном базисе первого кубита.