

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 33

УТВЕРЖДАЮ

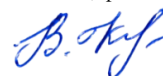
Руководитель направления

доц., к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)

В.И. Казаков

(инициалы, фамилия)



(подпись)

«22» июня 2023 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Квантовые вычисления»  
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	12.03.05
Наименование направления подготовки/ специальности	Лазерная техника и лазерные технологии
Наименование направленности	Лазерная техника и лазерные технологии
Форма обучения	очная

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

Профессор, к.т.н.,  
профессор

(должность, уч. степень, звание)



25.05.23

(подпись, дата)

С.Г. Фомичева

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 33

«25» мая 2023 г, протокол № 10

Заведующий кафедрой № 33

д.т.н., доц.

(уч. степень, звание)



25.05.23

(подпись, дата)

С.В. Беззатеев

(инициалы, фамилия)

Ответственный за ОП ВО 12.03.05(01)

доц., к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)



22.06.23

(подпись, дата)

В.И. Казаков

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №2 по методической работе

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)



22.06.23

(подпись, дата)

О.Л. Балышева

(инициалы, фамилия)

## Аннотация

Дисциплина «Квантовые вычисления» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/ специальности 12.03.05 «Лазерная техника и лазерные технологии» направленности «Лазерная техника и лазерные технологии». Дисциплина реализуется кафедрой «№33».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ОПК-4 «Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности»

ПК-6 «Квантовые технологии»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, *связанных с изучением и разработкой квантовых алгоритмов и вычислительных схем.*

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: *лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа обучающегося.*

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский»

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

### 1.1. Цели преподавания дисциплины

*Формирование навыков разработки и использования квантовые вычисленных схем и алгоритмов; создание представления о функциях, архитектурах квантовых систем и симуляторов; об организации вычислительных экспериментов на базе квантовой инфраструктуры; развитие способностей по использованию существующей квантовой вычислительной системы.*

1.2. Дисциплина входит в состав обязательной части образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Общепрофессиональные компетенции	ОПК-4 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-4.3.1 знать перспективные методы информационных технологий и искусственного интеллекта, направленных на разработку новых научно-технических решений ОПК-4.У.1 уметь применять современные информационные технологии и перспективные методы искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции	ПК-6 Квантовые технологии	ПК-6.3.1 знать принципы работы и построения систем квантовой криптографии и квантовых вычислений ПК-6.У.3 уметь составлять алгоритмы для квантовых вычислений ПК-6.В.1 владеть навыками работы с современным программным обеспечением для квантовых вычислений

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- «Физика»,
- «Математика, Аналитическая геометрия и линейная алгебра»,
- «Информатика»
- «Основы алгоритмизации и программирования»
- «Компьютерные технологии конструирования и производства»

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и могут использоваться при изучении других дисциплин:

- «Оптические устройства обработки информации»,
- «Лазерные информационные системы космических аппаратов»,
- «Оптические системы связи»
- «Основы проектирования лазерных систем»

### 3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№5
1	2	3
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)</b>	4/ 144	4/ 144
<b>Из них часов практической подготовки</b>	8	8
<b>Аудиторные занятия, всего час.</b>	51	51
в том числе:		
лекции (Л), (час)	34	34
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	17	17
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)	36	36
<b>Самостоятельная работа, всего (час)</b>	57	57
<b>Вид промежуточной аттестации:</b> зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Экз.	Экз.

Примечание: \*\* кандидатский экзамен

### 4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
<b>Семестр 5</b>					
Раздел 1. Основные понятия квантовых систем Тема 1.1. Квантовый объект и квантовые системы Тема 1.2. Унитарные операторы в квантовых вычислениях	4		-		2
Раздел 2. Однокубитные квантовые гейты Тема 2.1. Инициализация кубита Тема 2.2. Гейты X (NOT) и Адамара Тема 2.3. Гейты фазовых сдвигов Тема 2.4. Гейты поворота и гейт Y	4		2		5
Раздел 3. Квантовые регистры. Состояния Белла Тема 3.1. Двухкубитные гейты Тема 3.2. Состояния Белла Тема 3.3. Модификатор управления и гейт Тоффоли	4		2		10
Раздел 4. Арифметические операции в квантовых системах Тема 4.1. Сложение и вычитание квантовых целых чисел Тема 4.2. Квантовая логика	4		2		10

Раздел 5. Квантовые генераторы случайных чисел Тема 5.1 Симметричный квантовый генератор Тема 5.2 Асимметричный квантовый генератор	4		2		10
Раздел 6 Квантовая телепортация и сверхплотное кодирование Тема 6.1 Квантовая телепортация Тема 6.2 Сверхплотное кодирование	4		3		10
Раздел 7 Квантовые алгоритмы Тема 7.1 Алгоритм Шора Тема 7.2 Алгоритм Гровера Тема 7.3 Квантовое преобразование Фурье Тема 7.4. Квантовые протоколы распределения ключей	10		6		10
Итого в семестре:	34		17		57
Итого	34	0	17	0	57

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

#### 4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
<b>1</b>	<b>Основные понятия квантовых систем</b> Тема 1.1. Квантовый объект и квантовые системы (демонстрация слайдов) Тема 1.2. Унитарные операторы в квантовых вычислениях (демонстрация слайдов)
<b>2</b>	<b>Однокубитные квантовые гейты</b> Тема 2.1. Инициализация кубита (демонстрация слайдов) Тема 2.2. Гейты X (NOT) и Адамара (демонстрация слайдов) Тема 2.3. Гейты фазовых сдвигов (демонстрация слайдов) Тема 2.4. Гейты поворота и гейт Y (демонстрация слайдов)
<b>3</b>	<b>Квантовые регистры. Состояния Белла</b> Тема 3.1 Двухкубитные гейты (демонстрация слайдов) Тема 3.2. Состояния Белла (демонстрация слайдов) Тема 3.3. Модификатор управления и гейт Тоффоли (демонстрация слайдов)
<b>4</b>	<b>Арифметические операции в квантовых системах</b> Тема 4.1 Сложение и вычитание квантовых целых чисел (демонстрация слайдов) Тема 4.2. Квантовая логика (демонстрация слайдов)
<b>5</b>	<b>Квантовые генераторы случайных чисел</b> Тема 5.1 Симметричный квантовый генератор (демонстрация слайдов) Тема 5.2 Асимметричный квантовый генератор (демонстрация слайдов)
<b>6</b>	<b>Квантовая телепортация и сверхплотное кодирование</b> Тема 6.1 Квантовая телепортация (демонстрация слайдов и учебных

	фильмов) Тема 6.2 Сверхплотное кодирование (демонстрация слайдов и учебных фильмов)
<b>7</b>	<b>Квантовые алгоритмы</b> Тема 7.1 Алгоритм Шора (демонстрация слайдов и учебных фильмов) Тема 7.2 Алгоритм Гровера (демонстрация слайдов и учебных фильмов) Тема 7.3 Квантовое преобразование Фурье (демонстрация слайдов и учебных фильмов) Тема 7.4. Квантовые протоколы распределения ключей (демонстрация слайдов и учебных фильмов)

### 1.1. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено					
Всего					

### 1.2. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 5				
1	Определение квантовой фазы	2	1	1-3
2	Исследование состояний квантовой запутанности	2	1	3
3	Арифметические операции в квантовых системах	2	1	4
4	Квантовые генераторы случайных чисел	2	1	5
5	Разработка схем квантовой телепортации	2	1	6
6	Разработка схем сверхплотного кодирования	2	1	6
7	Использование и настройка волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера	2	1	1-3
8	Освоение механизмов рефлектометрии	1	1	1-3
9	Исследование квантового распределения ключа	2	1	7
Всего		17	9	

1.3. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы  
Учебным планом не предусмотрено

1.4. Самостоятельная работа обучающихся  
Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 5, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	40	40
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	10	10
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	7	7
Всего:	57	57

2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)  
Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. 7-11.

3. Перечень печатных и электронных учебных изданий  
Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.  
Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
<b>004 Б 39</b>	С. В. Беззатеев, С. Г. Фомичева. Основы квантовых вычислений: учебное пособие /; С.-Петербург. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Санкт-Петербург: Изд-во ГУАП, 2022. - 81 с. : рис. - Библиогр.: с. 80 (13 назв.). - ISBN 978-5-8088-1735-7 : Б. ц. - Текст : непосредственный.	5
<b>530.1 К 32</b>	Квантовые технологии: учебное пособие / В. И. Казаков [и др.] ; ред. А. Р. Бестугин ; С.-Петербург. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Санкт-Петербург : Изд-во ГУАП, 2021. - 119 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 114 - 116 (43 назв.). - ISBN 978-5-8088-1648-0 : Б. ц. - Текст : непосредственный	3
	Прилипко, Виктор Константинович (канд.	5



<b>53 П 76</b>	физ.-мат. наук, доц.). Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / В. К. Прилипко, И. И. Коваленко. - СПб. : Лань, 2019. - 214 с. : рис. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Загл. обл. : Магистратура. - Библиогр.: с. 205 - 210 (115 назв.). - ISBN 978-5-8114-3383-4 : 1259.50 р. - Текст : непосредственный	
<b>535 М54</b>	Методы компьютерной оптики : учебник для вузов / А. В. Волков, Д. Л. Головашкин, Л. Л. Досколович и др.; Ред. В. А. Сойфер. - 2-е изд., испр. - М. : Физматлит, 2003. - 685 с. : рис. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 5-9221-0434-9 : 297.00 р. - Текст : непосредственный. Издание имеет гриф Министерства образования РФ. На с. 8 - 9: Список основных обозначений	5
<b>681.7 А 25</b>	Агравал, Г. Применение нелинейной волоконной оптики : учебное пособие / Г. Агравал ; ред. И. Ю. Денисюк. - СПб. : Лань, 2011. - 592 с. : рис. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр. в конце глав. - Алф. указ.: с. 580 - 588. - ISBN 978-5-8114-0999-0 : 1450.02 р. - Текст : непосредственный	5

#### 5. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
<a href="https://quantum-computing.ibm.com/lab/docs/iql/manage/simulator/">https://quantum-computing.ibm.com/lab/docs/iql/manage/simulator/</a>	Симуляторы IBM Quantum. IBM Quantum simulators
<a href="https://algassert.com/">https://algassert.com/</a>	Квантовый симулятор Quirk

#### 6. Перечень информационных технологий

6.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

6.2. Перечень информационно-справочных систем,используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

## 7. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Мультимедийная лекционная аудитория	
2	Специализированная лаборатория «Квантовые технологии»	
3	Компьютерный класс с доступом в интернет	

## 8. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

8.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Экзамен	Список вопросов к экзамену; Экзаменационные билеты; Задачи; Тесты.

8.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 –Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«отлично» «зачтено»	– обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий.

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы;</li> <li>– не допускает существенных неточностей;</li> <li>– увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления;</li> <li>– аргументирует научные положения;</li> <li>– делает выводы и обобщения;</li> <li>– владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы;</li> <li>– допускает несущественные ошибки и неточности;</li> <li>– испытывает затруднения в практическом применении знаний направления;</li> <li>– слабо аргументирует научные положения;</li> <li>– затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li> <li>– частично владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся не усвоил значительной части программного материала;</li> <li>– допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении;</li> <li>– испытывает трудности в практическом применении знаний;</li> <li>– не может аргументировать научные положения;</li> <li>– не формулирует выводов и обобщений.</li> </ul>

### 8.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
1.	Что называют квантовым объектом? Приведите примеры квантовых объектов	ОПК-4.3.1
2.	Какими отличительными свойствами обладают квантовые объекты?	ОПК-4.У.1
3.	Что такое квантовая система?	ПК-6.3.1
4.	Какое состояние кубита называют сопряженным?	ПК-6.У.3
5.	Каковы особенности квантовых алгоритмов?	ПК-6.В.1
6.	Почему невозможно скопировать квантовый объект?	ОПК-4.3.1
7.	В каких состояниях обязательно находятся кубиты, если они входят в состав квантовой системы?	ПК-6.3.1
8.	Какие задачи решаются при помощи квантовых компьютеров?	ОПК-4.3.1
9.	Каковы отличительные признаки квантового компьютера?	ОПК-4.3.1
10.	Что называют квантовым вычислением?	ОПК-4.3.1
11.	Почему в квантовых вычислениях нет циклов?	
12.	Может ли квантовый объект иметь более двух граничных состояний?	ПК-6.3.1
13.	Для чего используют сферу Блоха?	ОПК-4.3.1
14.	Какими способами можно формально описать состояние кубита?	ОПК-4.3.1
15.	Что такое «кет»?	ПК-6.3.1
16.	Приведите примеры существующих квантовых систем.	ПК-6.3.1

17.	В чем заключаются преимущества использования квантовых компьютеров?	ПК-6.3.1
18.	Что такое квантовый гейт? В каких случаях целесообразно применять матричное представление квантовых гейтов?	ПК-6.3.1
19.	Имеет ли смысл в процессе квантовых вычислений применять последовательное применение квантовых гейтов четное число раз?	ПК-6.3.1
20.	Докажите, что состояние кубита можно представить в матричном виде.	ПК-6.3.1
21.	Можно ли добиться гарантированного результата при однократном выполнении квантового вычисления? Почему?	ПК-6.3.1
22.	Почему в квантовых вычислениях важно применение именно линейных операторов?	ПК-6.3.1
23.	Каково матричное представление гейта X?	ОПК-4.У.1
24.	Что называют собственным значением оператора?	ПК-6.3.1
25.	Для каких целей используют вентили квантовых сдвигов?	ОПК-4.3.1
26.	Дайте определение квантовому регистру.	ОПК-4.3.1
27.	Почему двухкубитовый гейт CNOT называют управляющим NOT?	ОПК-4.3.1
28.	Что такое квантовая запутанность?	ОПК-4.3.1
29.	Какие двухкубитовые гейты используются для создания запутанных квантовых состояний?	ОПК-4.У.1
30.	Почему для создания запутанности предварительно один из кубитов обязательно переводят в состояние суперпозиции?	ОПК-4.У.1
31.	Каково формальное представление состояний Белла?	ОПК-4.3.1
32.	Что называют тензорным произведением матриц?	ОПК-4.3.1
33.	Как действуют унитарные операторы в векторных гильбертовых пространствах, являющихся тензорными произведениями?	ОПК-4.У.1
34.	Чем отличается запутанное состояние двух кубитов от состояния из суперпозиции?	ОПК-4.3.1
35.	С какой целью используют квантовую запутанность?	ОПК-4.3.1
36.	Как экспериментально подтвердить, что в состоянии Белла кубиты сильно коррелированы?	ПК-6.3.1
37.	Можно ли запутать более двух кубитов?	ОПК-4.У.1
38.	В каком базисе обычно реализуется стандартное вычислительное изменение? Почему?	ПК-6.3.1
39.	В чем заключается особенность выполнения арифметических квантовых операций?	ОПК-4.У.1
40.	Как достигают обратимости квантовых вычислений?	ПК-6.3.1
41.	Как контролируют попытки клонирования кубитов?	ПК-6.3.1
42.	Какие гейты используют для реализации инкремента?	ПК-6.3.1
43.	Как взаимосвязаны квантовые схемы инкремента и декремента?	ПК-6.3.1
44.	Как в квантовых арифметических операциях реализуется перенос разрядной единицы?	ОПК-4.У.1
45.	Как реализовать в IBM Quantum Composer гейт CCCCNOT?	ПК-6.В.1
46.	В чем суть процесса инициализации в квантовых вычислениях?	
47.	Что произойдет, если применить арифметические операции к кубитам, находящимся в состоянии Белла?	ОПК-4.3.1
48.	Какие подходы используются при реализации квантового	ОПК-4.3.1

	умножения?	
49.	Как реализовать сложение по модулю 8?	ПК-6.В.1
50.	Постройте схему, вычисляющую абсолютное значение целого числа	ПК-6.В.1
51.	Что называют квантовым генератором случайных чисел?	ПК-6.3.1
52.	Как состояние суперпозиции используется для создания квантовых генераторов случайных чисел?	ОПК-4.У.1
53.	Как влияет на распределение выходных вероятностей изменение базовых состояний кубитов на входе схемы?	ОПК-4.У.1
54.	Что такое ассиметричный квантовый генератор случайных чисел?	ОПК-4.3.1
55.	Какой гейт позволяет создать ассиметричный квантовый генератор? Почему?	ОПК-4.У.1
56.	Как влияет изменение базового состояния на входе на выходное распределение вероятностей состояний кубита?	ОПК-4.У.1
57.	Реализуйте квантовое состояние, которое с вероятностью $0,33 \pm 0,01$ при измерении будет давать значение 0,	ПК-6.В.1
58.	Реализуйте квантовое состояние, которое с вероятностью $0,90 \pm 0,02$ при измерении будет давать значение 1	ПК-6.В.1
59.	Создайте генератор, который формирует случайные 2-х разрядные числа, в которых числа 3 формируются в два раза чаще чем остальные	ПК-6.В.1
60.	Создайте генератор, который формирует случайные 2-х разрядные числа, в которых числа 2 формируются в два раза реже чем остальные	ПК-6.В.1
61.	Можно ли в квантовых генераторах случайных чисел использовать запутанные кубиты?	ОПК-4.3.1
62.	Можно ли создать симметричный квантовый генератор случайных чисел, не используя оператор Адамара? Почему?	ОПК-4.У.1
63.	Как создать симметричный квантовый генератор случайных чисел в диапазоне от 0 до 5?	ПК-6.В.1
64.	Как создать квантовый генератор, который формирует серии нулей и единиц?	ПК-6.В.1
65.	Какова необходимость в классическом канале связи при осуществлении квантовой телепортации?	ОПК-4.У.1
66.	Каково назначение корректирующих операторов в схемах телепортации?	ОПК-4.У.1
67.	Создайте схему телепортации четырех кубитов.	ПК-6.В.1
68.	Зачем используется сверхплотное кодирование?	ОПК-4.У.1
69.	Как изменяется пропускная способность квантового канала при сверхплотном кодировании?	ОПК-4.У.1
70.	Как происходит передача кубита от Алисы к Бобу при сверхплотном кодировании?	ОПК-4.У.1
71.	Какие выводы можно сделать, анализируя результаты сверхплотного кодирования при использовании реальных квантовых систем?	ОПК-4.У.1
72.	В качестве чего могут использоваться пары Белла при сверхплотном кодировании?	ПК-6.3.1
73.	Какие гейты используются при сверхплотном кодировании?	ПК-6.3.1
74.	Как Алиса управляет процессом сверхплотного кодирования?	ОПК-4.У.1
75.	Как можно исправить ошибки, возникающие из-за	ОПК-4.У.1

	декошеренции при сверхплотном кодировании?	
76.	Есть ли какая-либо взаимосвязь между квантовой телепортацией и сверхплотным кодированием?	ОПК-4.3.1
77.	Реализуйте с помощью симулятора квантовую схему алгоритма Шора	ПК-6.У.3
78.	Реализуйте с помощью симулятора квантовую схему алгоритма Гровера	ПК-6.У.3
79.	Реализуйте с помощью симулятора квантовую схему квантового распределения ключа	ПК-6.У.3

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
1.	Какой гейт используется для перевода кубита в состояние суперпозиции?	ОПК-4.3.1
2.	В чем заключается отличие квантовой случайности от классической?	ОПК-4.3.1
3.	Как можно реализовать симметричный генератор случайным чисел с помощью однокубитных гейтов?	ПК-6.В.1
4.	Почему трудно определить фазу квантового состояния кубита?	ОПК-4.3.1
5.	В каких случаях используется схема Рамсея?	ОПК-4.3.1
6.	Каким образом можно оценить значение фазы квантового состояния кубита?	ОПК-4.3.1
7.	Если дважды последовательно в квантовой схеме на линии кубита установлены S-гейты, каким будет итоговое преобразование?	ПК-6.3.1
8.	Что называют оператором поворота?	ОПК-4.3.1
9.	Какие матричные представления соответствуют гейтам, выполняющим повороты вокруг осей X, Y, Z на произвольный угол?	ПК-6.3.1
10.	Реализуйте Y-гейт с помощью гейтов X и Z.	ПК-6.В.1
11.	Что происходит, когда дважды подряд используют гейт Адамара?	ПК-6.3.1
12.	Можно ли добиться сколь угодно точной оценки фазы квантового состояния кубита?	ОПК-4.3.1
13.	Какой гейт называют обобщенным? Почему?	ОПК-4.3.1
14.	Как определить собственное значение оператора X?	ПК-6.У.3

15.	Как повернуть кубит на $3/7$ вокруг оси $Z$ ?	ПК-6.У.3
16.	Какая квантовая схема определяет мнимую часть квантовой фазы?	ПК-6.У.3
17.	Как влияет на оценку фазы глубина квантовых вычислений?	ПК-6.3.1
18.	Каково матричное представление $T$ -гейта? Каков результат его действия?	ОПК-4.3.1
19.	Какова зависимость между гейтами $Z$ , $S$ и $T$ ?	ОПК-4.3.1
20.	Какова зависимость между амплитудами вероятностей квантовых состояний и самими вероятностями?	ОПК-4.3.1
21.	Какие представления кубита вы знаете?	ОПК-4.3.1
22.	Какое формальное выражение соответствует состоянию суперпозиции?	ОПК-4.3.1
23.	Можно ли для построения ассиметричных квантовых генераторов использовать $U$ -гейт?	ОПК-4.3.1
24.	Зачем используется квантовая телепортация? Чем ее можно заменить?	ОПК-4.3.1
25.	Какие особенности квантовых систем используются при реализации квантовой телепортации?	ПК-6.У.3
26.	Какой минимальный набор гейтов требуется для реализации квантовой телепортации?	ОПК-4.3.1
27.	Можно ли телепортировать кубит, находящийся в состоянии суперпозиции?	ПК-6.У.3
28.	Каковы требования нормировки в многокубитных системах?	ОПК-4.3.1
29.	Какой гейт обменивает состояния двух кубитов?	ОПК-4.3.1
30.	Каково матричное представление $CNOT$ -гейта?	ОПК-4.3.1
31.	Каково матричное представление $SWAP$ -гейта?	ОПК-4.3.1
32.	Как на сфере Блоха отображается состояние кубита, если он находится в состоянии суперпозиции?	ОПК-4.3.1
33.	Как на сфере Блоха отображается состояние кубита, если он находится в состоянии запутанности?	ОПК-4.3.1
34.	С какой целью используют $SWAP$ -гейт?	ОПК-4.3.1
35.	С какой целью выполняют измерение состояния квантового регистра в базисе $X$ -измерений?	ОПК-4.3.1
36.	Можно ли реализовать сверхплотное кодирование без классического канала связи?	ПК-6.У.3
37.	Можно ли передать три бита в одном кубите?	ПК-6.У.3
38.	Исследуйте применение арифметических операций над кубитами в состоянии Белла, выполнив в симуляторе пошагово квантовый алгоритм.	ПК-6.В.1
39.	Можно ли один из кубитов квантового регистра заменить другим из другого регистра?	ПК-6.У.3
40.	Какие их гейтов можно использовать для реализации условной логики?	ОПК-4.3.1
41.	Как можно проконтролировать переполнение квантового регистра при выполнении арифметических операций?	ПК-6.У.3
42.	Какие аппаратные реализации квантовых генераторов случайных чисел существуют?	ОПК-4.3.1
43.	Какой квантовый генератор случайных чисел называют симметричным?	ОПК-4.3.1
44.	Могут ли кубиты находиться в состоянии суперпозиции при выполнении арифметических операций?	ОПК-4.3.1
45.	Зачем в при реализации гейта $CCNOT$ используют	ПК-6.У.3

	вспомогательный кубит?	
46.	Зачем нужны измерения при запуске квантового генератора на реальном квантовом процессоре?	ПК-6.У.3
47.	Где используются квантовые генераторы случайных чисел?	ОПК-4.3.1
48.	Можно ли телепортировать сразу пять кубитов?	ПК-6.У.3
49.	Помогает ли телепортации повысить надежность квантовых каналов связи?	ОПК-4.3.1
50.	Происходит ли передача энергии при квантовой телепортации?	ОПК-4.3.1

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

8.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины  
(Ниже приводятся рекомендации по составлению данного раздела)

9.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала (если предусмотрено учебным планом по данной дисциплине).

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:



- Изложение лекционного материала;
- Представление теоретического материала преподавателем в виде слайдов;
- Освоение теоретического материала по практическим вопросам;
- Список вопросов по теме для самостоятельной работы студента

*Методические указания по освоению лекционного материала имеются в изданном виде:* С. В. Беззатеев, С. Г. Фомичева. Основы квантовых вычислений: учебное пособие /; С.-Петерб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. - Санкт-Петербург: Изд-во ГУАП, 2022. - 81 с. : рис. - Библиогр.: с. 80 (13 назв.). - ISBN 978-5-8088-1735-7 : Б. ц. - Текст : непосредственный.

9.2. Методические указания для обучающихся по участию в семинарах - *учебным планом не предусмотрено*

9.3. Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий (- *учебным планом не предусмотрено*)

9.4. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом, и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;
- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;
- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

#### Задание и требования к проведению лабораторных работ

Лабораторная работа № 1 «**Определение квантовой фазы**»

**Цель работы** – Для неизвестного квантового вентиля фазового сдвига найти значение фазы, выполнив эксперимент в IBM Quantum Composer

**Содержание работы:**

1. Изучите свойства однокубитных квантовых вентилях.
2. Создайте квантовые схемы Рамсея для определения значения фазы неизвестного квантового вентиля
3. Провести серию экспериментов в IBM Quantum Composer для реализации квантовых схем на реальных квантовых системах.
4. Оформите отчет по лабораторной работе

**Задания к ЛР №1:**

Пусть неизвестный вентиль фазового сдвига равен  $\varphi$ . Требуется найти это значение, выполнив эксперимент в IBM Quantum Composer.

№ варианта	$\varphi$	№ варианта	$\varphi$
1	$\frac{2\pi}{3}$	11	$\frac{\pi}{5}$
2	$\frac{\pi}{3}$	12	$\frac{\pi}{7}$
3	$\frac{\pi}{4}$	13	$\frac{\pi}{6}$
4	$\frac{\pi}{2}$	14	$\frac{2\pi}{7}$
5	$-\frac{2\pi}{3}$	15	$-\frac{\pi}{5}$
6	$-\frac{\pi}{3}$	16	$-\frac{\pi}{7}$
7	$-\frac{\pi}{4}$	17	$-\frac{\pi}{6}$
8	$-\frac{\pi}{2}$	18	$-\frac{2\pi}{7}$
9	$\frac{\pi}{8}$	19	$-\frac{3\pi}{7}$
10	$-\frac{\pi}{8}$	20	$-\frac{5\pi}{7}$

#### Структура и форма отчета о лабораторной работе

- Постановка задачи;
- Входные и выходные данные;
- Содержание этапов выполнения;
- Обоснование полученного результата (вывод);
- Список используемой литературы

#### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

- Отчет по лабораторной работе предоставляется в печатном/или электронном виде;
- должна соответствовать структуре и форме отчета, представленной выше;
- Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист (ГОСТ 7.32-2001 издания 2008 года) с названием и подписью студента(ов), который(ые) ее сделал(и) и оформил(и);
- Студент должен защитить ЛР. Отметка о защите должна находиться на титульном листе вместе с подписью преподавателя

#### Лабораторная работа № 2 «Исследование состояний квантовой запутанности»

**Цель работы** – Провести ряд экспериментов в IBM Quantum Composer для исследования состояний Белла и GHZ-состояний квантовой системы

#### **Содержание работы:**

1. Изучите свойства двух кубитных квантовых вентилях.
2. Создайте квантовые схемы для обеспечения запутанности двух и более кубит.
3. Провести серию экспериментов в IBM Quantum Composer для реализации квантовых схем на реальных квантовых системах и выполнив измерения в разных базисах.
4. Оформите отчет по лабораторной работе

**Задание:** Провести исследование состояний Белла и GHZ-состояний квантовой системы. Найти вероятности всех состояний квантовой системы, выполнив серию экспериментов в IBM Quantum Composer.

Номер варианта	Количество аястредлв	Номер варианта	Количество аястредлв
1	2048	6	8192
2	1024	7	512
3	4096	8	5120
4	3072	9	1536
5	51200	10	10240

#### Структура и форма отчета о лабораторной работе

- Постановка задачи;
- Входные и выходные данные;
- Содержание этапов выполнения;
- Обоснование полученного результата (вывод);
- Список используемой литературы

#### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

- Отчет по лабораторной работе предоставляется в печатном/или электронном виде;
- должна соответствовать структуре и форме отчета, представленной выше;
- Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист (ГОСТ 7.32-2001 издания 2008 года) с названием и подписью студента(ов), который(ые) ее сделал(и) и оформил(и);
- Студент должен защитить ЛР. Отметка о защите должна находиться на титульном листе вместе с подписью преподавателя

#### Лабораторная работа № 3 «Арифметические операции в квантовых системах»

**Цель работы** – Освоить выполнение базовых арифметических операций в квантовых системах; Провести ряд экспериментов в IBM Quantum Composer для исследования динамики состояний квантовой системы при выполнении арифметических операций

#### **Содержание работы:**

1. Изучите квантовые схемы, реализующие операции инкремента, декремента, сложения и вычитания в квантовых вычислениях.
2. Создайте квантовые схемы для реализации арифметических операция в соответствии с заданным вариантом задания.
3. Поместить один из кубитов первого слагаемого в состояние суперпозиции и проанализировать и зафиксировать состояния квантовой системы в режиме трассировки
4. Провести серию экспериментов в IBM Quantum Composer для реализации квантовых схем на реальных квантовых системах и выполнив трассировку квантового вычисления.
5. Оформите отчет по лабораторной работе

#### **Задание:**

Реализовать арифметические операции квантовыми схемами с минимальной глубиной вычислений. Выполнить трассировку (пошаговое выполнение) квантовых вычислений и зафиксировать промежуточные и итоговое состояния квантовой системы, выполнив серию экспериментов в IBM Quantum Composer в режиме симуляции.

Номер варианта	операции	Номер варианта	операции
1	5+5=? 3-1=? 6-2=?	6	7+1=? 5-3=? 8-2=?

2	7+2=? 7-5=? 4-3=?	7	4+3=? 3-3=?
3	4+6=? 6-4=? 5-4=?	8	3-4=? 8-5=?
4	-4+6=? -6-4=? -5-4=?	9	-4+3=? -3-3=?
5	-5+5=? -3-1=? -6-2=?	10	-3-4=? -8-5=?

#### Структура и форма отчета о лабораторной работе

- Постановка задачи;
- Входные и выходные данные;
- Содержание этапов выполнения;
- Обоснование полученного результата (вывод);
- Список используемой литературы

#### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

- Отчет по лабораторной работе предоставляется в печатном/или электронном виде;
- должна соответствовать структуре и форме отчета, представленной выше;
- Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист (ГОСТ 7.32-2001 издания 2008 года) с названием и подписью студента(ов), который(ые) ее сделал(и) и оформил(и);
- Студент должен защитить ЛР. Отметка о защите должна находиться на титульном листе вместе с подписью преподавателя

#### Лабораторная работа № 4 «Квантовые генераторы случайных чисел»

**Цель работы** – Освоить техники создания квантовых схем для генерации случайных чисел и операций над ними в квантовых системах; Провести ряд экспериментов в IBM Quantum Composer для исследования динамики состояний квантовой системы при генерации случайных чисел

#### **Содержание работы:**

1. Изучите квантовые схемы, реализующие симметричный и ассиметричный квантовые генераторы.
2. Создайте квантовые схемы для реализации квантовых генераторов в соответствии с заданным вариантом задания.
3. Провести серию экспериментов в IBM Quantum Composer для реализации квантовых схем генераторов на реальных квантовых системах и выполнив трассировку квантового вычисления.
4. Оформить отчет по лабораторной работе

#### **Задание:**

Реализовать квантовые схемы симметричного и ассиметричного квантового генератора. Выполнить трассировку (пошаговое выполнение) квантовых вычислений и зафиксировать промежуточные и итоговое состояния квантовой системы, выполнив серию экспериментов в IBM Quantum Composer в режиме симуляции.

#### Структура и форма отчета о лабораторной работе

- Постановка задачи;
- Входные и выходные данные;
- Содержание этапов выполнения;

- Обоснование полученного результата (вывод);
- Список используемой литературы

#### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

- Отчет по лабораторной работе предоставляется в печатном/или электронном виде;
- должна соответствовать структуре и форме отчета, представленной выше;
- Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист (ГОСТ 7.32-2001 издания 2008 года) с названием и подписью студента(ов), который(ые) ее сделал(и) и оформил(и);
- Студент должен защитить ЛР. Отметка о защите должна находиться на титульном листе вместе с подписью преподавателя

#### Лабораторная работа № 5 «**Разработка схем квантовой телепортации**»

**Цель работы** – Освоить техники создания квантовых схем телепортации кубитов; Провести ряд экспериментов в IBM Quantum Composer для исследования динамики состояний квантовой системы при квантовой телепортации

#### **Содержание работы:**

1. Изучите квантовые схемы, реализующие телепортацию 1 и 3 кубитов .
2. Создайте квантовые схемы для реализации квантовых генераторов в соответствии с заданным вариантом задания.
3. Провести серию экспериментов в IBM Quantum Composer для реализации квантовых схем на реальных квантовых системах и выполнив трассировку квантового вычисления.
4. Оформить отчет по лабораторной работе

#### **Задание:**

Реализовать квантовые схемы телепортации 2 и 4 кубитов генератора. Выполнить трассировку (пошаговое выполнение) квантовых вычислений и зафиксировать промежуточные и итоговое состояния квантовой системы, выполнив серию экспериментов в IBM Quantum Composer в режиме симуляции.

#### Структура и форма отчета о лабораторной работе

- Постановка задачи;
- Входные и выходные данные;
- Содержание этапов выполнения;
- Обоснование полученного результата (вывод);
- Список используемой литературы

#### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

- Отчет по лабораторной работе предоставляется в печатном/или электронном виде;
- должна соответствовать структуре и форме отчета, представленной выше;
- Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист (ГОСТ 7.32-2001 издания 2008 года) с названием и подписью студента(ов), который(ые) ее сделал(и) и оформил(и);
- Студент должен защитить ЛР. Отметка о защите должна находиться на титульном листе вместе с подписью преподавателя

#### Лабораторная работа № 6 «**Разработка схем сверхплотного кодирования**»

**Цель работы** – Освоить техники создания квантовых схем сверхплотного кодирования; Провести ряд экспериментов в IBM Quantum Composer для исследования динамики состояний квантовой системы при сверхплотном кодировании

#### **Содержание работы:**

1. Изучите квантовые схемы, реализующие свехплотное кодирование.

2. Создайте квантовые схемы для реализации сверхплотного кодирования в соответствии с заданным вариантом задания.
3. Провести серию экспериментов в IBM Quantum Composer для реализации квантовых схем на реальных квантовых системах и выполнив трассировку квантового вычисления.
4. Оформить отчет по лабораторной работе

**Задание:**

Реализовать квантовые схемы сверхплотного кодирования. Определить пропускную способность квантового канала связи. Выполнить трассировку (пошаговое выполнение) квантовых вычислений и зафиксировать промежуточные и итоговое состояния квантовой системы, выполнив серию экспериментов в IBM Quantum Composer в режиме симуляции

Структура и форма отчета о лабораторной работе

- Постановка задачи;
- Входные и выходные данные;
- Содержание этапов выполнения;
- Обоснование полученного результата (вывод);
- Список используемой литературы

Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

- Отчет по лабораторной работе предоставляется в печатном/или электронном виде;
- должна соответствовать структуре и форме отчета, представленной выше;
- Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист (ГОСТ 7.32-2001 издания 2008 года) с названием и подписью студента(ов), который(ые) ее сделал(и) и оформил(и);
- Студент должен защитить ЛР. Отметка о защите должна находиться на титульном листе вместе с подписью преподавателя

**Лабораторная работа № 7 «Использование и настройка волоконно-оптического интерферометра Маха-Цендера»**

**Цель работы** – знакомство с устройством интерферометра Маха-Цендера, реализация интерферометра с помощью волоконной оптики, исследование параметров интерферометра Маха-Цендера, нахождение видности интерференционной картины в однофотонном режиме и полуволнового напряжения электрооптического модулятора.

Приобретаемые компетенции – обучаемые приобретают навыки работы с волоконно-оптическими компонентами, и определению видности интерференционной картины.

В работе используется: оптическое одномодовое волокно, коннекторы, лазерный модуль, постоянный и переменный оптические аттенюаторы, оптические светоделители, оптический циркулятор, детектор одиночных фотонов, электрооптический фазовый модулятор, зеркало Фарадея, оптическая линия (катушка) на 10 км.

**Этапы выполнения работы:**

1. Сборка оптической схемы
2. Построение передаточной характеристики и нахождение видности интерференционной картины
3. Нахождение видности интерференции с учетом шума детектора одиночных фотонов
4. Оформить отчет по лабораторной работе

Структура и форма отчета о лабораторной работе

- Постановка задачи;

- Входные и выходные данные;
- Содержание этапов выполнения;
- Обоснование полученного результата (вывод);
- Список используемой литературы

#### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

- Отчет по лабораторной работе предоставляется в печатном/или электронном виде;
- должна соответствовать структуре и форме отчета, представленной выше;
- Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист (ГОСТ 7.32-2001 издания 2008 года) с названием и подписью студента(ов), который(ые) ее сделал(и) и оформил(и);
- Студент должен защитить ЛР. Отметка о защите должна находиться на титульном листе вместе с подписью преподавателя

### Лабораторная работа № 8 «Освоение механизмов рефлектометрии»

**Цель работы** – научиться работать с оптическим волокном; разобраться, как функционируют отдельные части оптической схемы; понять какие факторы влияют на отражения и потерю мощности в оптическом волокне.

Приобретаемые компетенции – обучаемые приобретают навыки работы с рефлектометром – инструментом измерения параметров оптоволоконных линий, определяют факторы, влияющие на точность измерений. После выполнения лабораторной работы обучаемые получают уверенные навыки, по изучению особенностей и поиску неисправностей оптических линий связи.

В работе используется: оптическое одномодовое волокно, коннекторы, переменный оптический аттенюатор, оптический циркулятор, оптический рефлектометр (YOKOGAWA), измеритель мощности, детектор одиночных фотонов (SPD), оптические линии — две катушки на 10 и/или 25 км.

#### **Ход работы:**

1. Соберите оптическую схему, экспериментальной установки для рефлектометрии. 2. Запустите рефлектометр. Проанализируйте результаты теста, изменяя параметры длительности импульса с 5 нс, 300 нс и 20 мкс.
2. Выберите оптимальное значение для длины импульса и диапазона и запустите трассировку. Тщательно изучите полученные результаты.
1. Нарисуйте черновой рисунок результата трассировки рефлектометра и отметьте также события на своем рисунке.
2. Согните небольшой добавленный элемент в несколько колец диаметром 10 см, 5 см и 1,5 см.
3. Запускайте трассировку после каждого нового сформированного кольца
4. Измерьте затухания на основе данных с рефлектометра
5. Рассчитайте мощность импульса для необходимого числа фотонов
6. Постройте гистограмму Channel Test и экспортируйте полученные данные
7. Оформить отчет по лабораторной работе

#### Структура и форма отчета о лабораторной работе

- Постановка задачи;
- Входные и выходные данные;
- Содержание этапов выполнения;
- Обоснование полученного результата (вывод);
- Список используемой литературы

#### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

- Отчет по лабораторной работе предоставляется в печатном/или электронном виде;
- должна соответствовать структуре и форме отчета, представленной выше;
- Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист (ГОСТ 7.32-2001 издания 2008 года) с названием и подписью студента(ов), который(ые) ее сделал(и) и оформил(и);
- Студент должен защитить ЛР. Отметка о защите должна находиться на титульном листе вместе с подписью преподавателя

#### Лабораторная работа № 9 «Исследование квантового распределения ключа»

**Цель работы** – на практике ознакомиться с протоколом распределения квантовых ключей BB84 и его реализацией с использованием двухпроходной автокомпенсационной схемы Plug&Play, в том числе, с использованием одного детектора одиночных фотонов.

Приобретаемые компетенции – обучаемые приобретают навыки работы со сложной оптико-электронной системой, осуществляющей квантовое распределение ключей, исследуют характеристики, влияющие на их распределение.

В работе используется: оптическое одномодовое волокно, коннекторы, лазерный модуль, постоянный и переменный оптические аттенюаторы, циркулятор, светоделители, детекторы одиночных фотонов, фазовые модуляторы, линии задержки и хранения, поляризационный светоделитель, синхронизирующий детектор, зеркало Фарадея.

#### **Ход работы:**

1. Настройка времени ожидаемого прихода импульсов на детекторы одиночных фотонов Боба
2. Настройка напряжения на фазовом модуляторе Боба
3. Точная настройка временного окна детектора одиночных фотонов
4. Настройка величины задержки приложения напряжения на фазовый модулятор Алисы
5. Настройка напряжения на фазовом модуляторе Алисы
6. Запуск генерации квантового ключа
7. Оформить отчет по лабораторной работе

#### Структура и форма отчета о лабораторной работе

- Постановка задачи;
- Входные и выходные данные;
- Содержание этапов выполнения;
- Обоснование полученного результата (вывод);
- Список используемой литературы

#### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

- Отчет по лабораторной работе предоставляется в печатном/или электронном виде;
- должна соответствовать структуре и форме отчета, представленной выше;
- Отчет по лабораторной работе должен иметь титульный лист (ГОСТ 7.32-2001 издания 2008 года) с названием и подписью студента(ов), который(ые) ее сделал(и) и оформил(и);
- Студент должен защитить ЛР. Отметка о защите должна находиться на титульном листе вместе с подписью преподавателя

9.5. Методические указания для обучающихся по прохождению курсового проектирования/выполнения курсовой работы *(не предусмотрено учебным планом по данной дисциплине)*



#### 9.6. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;
- методические указания по выполнению контрольных работ (для обучающихся по заочной форме обучения).

#### 9.7. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

#### 9.8. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Система оценок при проведении промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с требованиями Положений «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программам высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой