

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

Кафедра №3

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель направления

д.ф.-м.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

А.О. Смирнов



(подпись)

«22» июня 2022 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Физические основы квантовых вычислений»

(Название дисциплины)

Код направления	01.06.01
Наименование направления/ специальности	Математика и механика
Наименование направленности	Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление
Форма обучения	очная

Санкт-Петербург– 2022г.

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил(а)

доц.,к.ф.-м.н.,доц.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата

Н.П.Лавровская

инициалы, фамилия

Программа одобрена на заседании кафедры № 3

15.06.22 г, протокол № 10

Заведующий кафедрой № 3

проф.,д.т.н.,проф.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата

А.В. Копыльцов

инициалы, фамилия

Ответственный за ОП 01.06.01(01)

д.ф.-м.н.,доц.

должность, уч. степень, звание



подпись, дата

А.О. Смирнов

инициалы, фамилия

Заместитель директора института (декана факультета) № ФПТИ по методической работе

доц.,д.т.н.

должность, уч. степень, звание



та

Р.Н.Целмс

инициалы, фамилия

Аннотация

Дисциплина «Физические основы квантовых вычислений» является факультативной дисциплиной образовательной программы по направлению 01.06.01 «Математика и механика» направленность «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление». Дисциплина реализуется кафедрой №3.

Дисциплина не является обязательной при освоении обучающимся образовательной программы и направлена на углубленное формирование

общефессиональных компетенций:

ОПК-2 «готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования»;

профессиональных компетенций:

ПК-2 «способность к применению методов математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач»,

ПК-4 «способность к творческому применению, развитию и реализации математически сложных алгоритмов».

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с квантовыми вычислениями и передачей информации по квантовым каналам.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа аспиранта.

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

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 1 зачетную единицу, 36 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский».

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Цель курса - формирование представления о квантовых вычислениях, являющихся важным элементом теории информации и квантовой физики.

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

В результате освоения дисциплины обучающийся расширяет следующие компетенции: ОПК-2 «готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования»:

знать – физические принципы, лежащие в основе квантовой парадигмы вычислений;
владеть - основными методами исследования и измерений.

ПК-2 «способность к применению методов математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач»:

знать – основные физические законы, методы исследования и измерений;
уметь - прогнозировать результаты квантовых вычислений с использованием математического аппарата квантовой механики.

ПК-4 «способность к творческому применению, развитию и реализации математически сложных алгоритмов»:

знать - – работу квантовых логических вентилей и использование их для построения схем, реализующих основные квантовые алгоритмы,
уметь - применять знания для решения профессиональных задач;
владеть - основными квантовыми криптографическими протоколами.

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина базируется на знаниях, ранее приобретенных аспирантами при изучении следующих дисциплин:

- Физика
- Линейная алгебра
- теория информации

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

- Вероятностно-статистические методы в научных исследованиях
- Применение пакетов символьных вычислений в научных исследованиях.

3. Объем дисциплины в ЗЕ/академ. час

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 1

Таблица 1 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам	
		№2	
1	2	2	
Общая трудоемкость	1/ 36	1/ 36	

дисциплины, ЗЕ/(час)			
Из них часов практической подготовки			
Аудиторные занятия, всего час., В том числе	7	7	
лекции (Л), (час)	7	7	
Практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)			
лабораторные работы (ЛР), (час)			
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)			
Экзамен, (час)			
Самостоятельная работа, всего	29	29	
Вид промежуточного контроля: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.)	Зачет,	Зачет	

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий

Разделы и темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 2					
Раздел 1. Предпосылки возникновения квантовой парадигмы вычислений	3			-	15
Раздел 2. Кубит, квантовые алгоритмы.	4		-	-	14
Итого в семестре:	7				29
			-	-	

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 3.

Таблица 3 - Содержание разделов и тем лекционных занятий

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
1	Принцип Р. Ландауэра. Обратимые вычисления. Аксиомы квантовой механики. Математический аппарат векторов гильбертова пространства.
2	Кубит, одно- и двух-кубитовые схемы. Полный набор гейтов. Квантовые схемы: условные операции, создание запутанных состояний. Алгоритм Дойча – Квантовое преобразование Фурье.
3	Протокол квантовой телепортации. Квантовое сжатие данных. Криптографические протоколы BB84 и B92.

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 4.

Таблица 4 – 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:					

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено				
Всего:				

4.5. Курсовое проектирование (работа)

Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час		Семестр 2, час
1	2	3	4
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)			9
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	10		10
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	10		10
Всего:	29		29

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. 6-11.

6. Перечень основной и дополнительной литературы

6.1. Основная литература

Перечень основной литературы приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень основной литературы

Шифр	Библиографическая ссылка / URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
	М..Нильсен, И. Чанг Квантовые вычисления и квантовая информация, М.,Мир, 2006г.-824 с.	5 (ФО)
	Э.В.Шпольский Атомная физика т.2.М.,Наука,1984, 438 стр.	6(ФО)
	Ф.Кайе, Р. Лафлам, М., Введение в квантовые вычисления. М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009, 346 стр.	5(ФО)

6.2. Дополнительная литература

Перечень дополнительной литературы приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень дополнительной литературы

Шифр	Библиографическая ссылка/ URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
[53(075)]	Савельев И.В - Курс физики т.1, М.: Наука ,1989, 350 стр.	ФО(4), ГС(94), ГСЧЗ(1)
[53(075)]	Савельев И.В - Курс физики т.3, М.: Наука ,1987, 317стр.	ФО(4), ГС(91), ГСЧЗ(1)

	Р.Хорн, Ч.Джонсон, Матричный анализ, М. Мир, 655 стр.	1 (ФО)
--	---	--------

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

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

Таблица 9 – Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

URL адрес	Наименование
(http://lib.aanet.ru/)	Библиотека ГУАП

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.1. Перечень программного обеспечения

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Состав материально-технической базы представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Лекционная аудитория	

10. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

10.1. Состав фонда оценочных средств приведен в таблице 13

Таблица 13 - Состав фонда оценочных средств для промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Примерный перечень оценочных средств
Зачет	Список вопросов

10.2. Перечень компетенций, относящихся к дисциплине, и этапы их формирования в процессе освоения образовательной программы приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Номер семестра	Этапы формирования компетенций по дисциплинам/практикам в процессе освоения ОП
ОПК-2 «готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования»	
1	История и философия науки
1	Педагогика высшего образования
1	Физические основы квантовых вычислений
2	История и философия науки
2	Педагогика высшего образования
2	Физические основы квантовых вычислений
4	Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (педагогическая)
ПК-2 «способность к применению методов математического и алгоритмического моделирования при решении теоретических и прикладных задач»	
1	Научные исследования
1	Организация диссертационных исследований
1	Физические основы квантовых вычислений
2	Математические методы оптимизации в научном исследовании
2	Научные исследования
2	Научные исследования
2	Применение вариационного исчисления в научных исследованиях
2	Физические основы квантовых вычислений
3	Научные исследования
4	Научные исследования
4	Научные исследования
7	Научные исследования
7	Нелинейные математические модели
7	Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (научно-исследовательская)
8	Научные исследования
ПК-4 «способность к творческому применению, развитию и реализации математически сложных алгоритмов»	
1	Физические основы квантовых вычислений

2	Математические методы оптимизации в научном исследовании
2	Применение вариационного исчисления в научных исследованиях
2	Физические основы квантовых вычислений
5	Научные исследования
6	Научные исследования
6	Научные исследования
7	Научные исследования
7	Нелинейные математические модели
7	Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (научно-исследовательская)
8	Научные исследования

10.3. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) у обучающихся компетенций применяется шкала модульно–рейтинговой системы университета. В таблице 15 представлена 100–балльная и 4–балльная шкалы для оценки сформированности компетенций.

Таблица 15 –Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции		Характеристика сформированных компетенций
100-балльная шкала	4-балльная шкала	
$85 \leq K \leq 100$	«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> - 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.
$70 \leq K \leq 84$	«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; - не допускает существенных неточностей; - увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; - аргументирует научные положения; - делает выводы и обобщения; - владеет системой специализированных понятий.
$55 \leq K \leq 69$	«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; - допускает несущественные ошибки и неточности; - испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; - слабо аргументирует научные положения; - затрудняется в формулировании выводов и обобщений; - частично владеет системой специализированных понятий.

$K \leq 54$	«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся не усвоил значительной части программного материала; - допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; - испытывает трудности в практическом применении знаний; - не может аргументировать научные положения; - не формулирует выводов и обобщений.
-------------	---------------------------------------	---

10.4. Типовые контрольные задания или иные материалы:

1. Вопросы (задачи) для экзамена (таблица 16)

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена
	Учебным планом не предусмотрено

2. Вопросы (задачи) для зачета / дифференцированного зачета (таблица 17)

Таблица 17 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

1	Проблемы микроэлектроники
2	Принцип Ландауэра
3	Доказательство принципа Ландауэра
4	Прямое экспериментальное подтверждение принципа Ландауэра
5	Логическая необратимость
6	О возможности обратимых вычислений
7	Теорема Беннета
8	К вопросу о реализации обратимого компьютера
9	Гильбертово n-мерное пространство
10	Алгебра матриц
11	Обозначения Дирака
12	Линейные операторы
13	Матричное представление операторов
14	Представление операторов с использованием тензорного произведения
15	Функции операторов
16	Тензорное произведение пространств
17	Аксиомы квантовой механики
18	Составные системы. Аксиома об объединении систем

19	Квантовые компьютеры – универсальные квантовые моделирующие устройства
20	Можно ли моделировать квантовые системы вероятностным образом на классическом компьютере?
21	Эксперимент Алана Аспека с коррелированными фотонами. Неравенство Джона Белла
22	Квантовый компьютер Фейнмана
23	Кубит. Основные сведения
24	Составные системы
25	Запутанные состояния
26	Примеры составных систем
27	Измерение кубита
28	Смешанные состояния. Матрица плотности
29	Квантовые логические элементы – однокубитовый элемент
30	Двухкубитовый элемент. Условные операции
31	Универсальный набор квантовых элементов
32	Реализация измерений в квантовых схемах
33	Вероятностный и квантовый алгоритмы
34	Быстрые вычисления на квантовом компьютере. Алгоритм Дойча
35	Алгоритм Дойча – Джозса
36	Алгоритм Саймона
37	Алгоритм Гровера
38	Квантовая плотная кодировка
39	Протокол телепортации
40	Протокол квантовой криптографии BB84
41	Протокол квантовой криптографии B92

3. Темы и задание для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта (таблица 18)

Таблица 18 – Примерный перечень тем для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта

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

4. Вопросы для проведения промежуточной аттестации при тестировании (таблица 19)

Таблица 19 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов
	Учебным планом не предусмотрено

5. Контрольные и практические задачи / задания по дисциплине (таблица 20)

Таблица 20 – Примерный перечень контрольных и практических задач / заданий

№ п/п	Примерный перечень контрольных и практических задач / заданий
	Учебным планом не предусмотрено

10.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и / или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в Положениях «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».

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Целью дисциплины является – получение студентами необходимых знаний, умений и навыков в области квантовых вычислений, в т.ч. квантовой криптографии.

Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала

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 обучающимся 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.

Методические указания к лекционным занятиям приведены в учебном пособии Прилипко В.К Физические основы квантовых вычислений. Часть 1. 2015.

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).

Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации

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

- зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся в ходе изучения учебной дисциплины в целом или промежуточная (по окончании семестра) оценка знаний обучающимся по отдельным разделам дисциплины с аттестационной оценкой «зачтено» или «не зачтено».

Система оценок при проведении промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с требованиями Положений «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программы 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