

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической
физики им. академика Ф.М. Митенкова (ИЯЭиТФ)

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института:
_____ Легчанов М.А.
“20” июня 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ОД.3 Спецразделы квантовой физики

для подготовки магистров

Направление подготовки: 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность: Квантовые технологии в инфокоммуникациях

Форма обучения: очная

Год начала подготовки 2023

Выпускающая кафедра ФТОС

Кафедра-разработчик ФТОС

Объем дисциплины 144/4
часов/з.е

Промежуточная аттестация экзамен (1 семестр)

Разработчик: Раевский А.С., д.ф.-м.н., профессор

2023 г.

Рабочая программа дисциплины: разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 22 сентября 2017 года № 958 на основании учебного плана принятого УМС НГТУ, протокол от 16.03.2023 № 12.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры протокол от 01.06.2023 г. № 35.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор, Раевский А.С. _____

(подпись)

Программа рекомендована к утверждению советом ИЯЭиТФ, протокол от 20.06.2023 г. № 5.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 11.04.02-К-12.

Начальник МО _____

Заведующая отделом комплектования НТБ

(подпись)

Кабанина Н.И.

Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.1. Цель освоения дисциплины	4
1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля)	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	8
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ	8
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ	9
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	18
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	22
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА	22
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА	23
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ	25
7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	25
7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)	25
7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем	26
8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ	26
9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	27
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	28
10.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	28
10.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИОННОГО ТИПА	29
10.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТАХ	29
10.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ	29
10.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ	29
11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	30
11.1. Типовые вопросы для лабораторных работ	30
11.2. Типовые вопросы для промежуточной аттестации в форме экзамена	30
11.3. Типовые задания для текущего контроля	33

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения дисциплины являются формирование необходимых компетенций по использованию законов и математического аппарата квантовой механики в инженерной деятельности, связанной с квантовыми технологиями в инфокоммуникациях.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

- формирование общего понимания основных положений и законов квантовой механики;
- освоение математического аппарата квантовой механики с целью использования при изучении дисциплин, связанных с квантовыми технологиями передачи и защиты информации.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Спецразделы квантовой физики» включена в перечень дисциплин вариативной части (формируемой участниками образовательных отношений), определяющий направленность ОП. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Специальные разделы физики (квантовая физика)», «Математика», «Теория вероятностей и математическая статистика» в объеме программы бакалавриата.

Дисциплина «Спецразделы квантовой физики» является основополагающей для прохождения следующих видов практик: Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) (Б2.У.1), Преддипломная практика (Б2.П.3).

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы для освоения дисциплин «Квантовая волоконно-оптическая связь», «Квантовые технологии в нанoeлектронике», «Квантовая криптография» программы магистратуры.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих профессиональных компетенций в соответствии с ОПОП ВО по направлению 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»:

ПКС-4 Способен к составлению обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, подготовке научных публикаций и заявок на изобретения, разработке рекомендаций по практическому использованию полученных результатов.

ПКС-5 Способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников.

ПКС-10 Способен выбирать и проводить сравнительный анализ вариантов проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов частот.

Формирование указанных компетенций размещено в таблице 1.

Таблица 1 – Формирование компетенций дисциплинами

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ПКС-4								
Спецразделы квантовой физики (Б1.В.ОД.3)								
Терагерцовая фотоника (Б1.В.ОД.7)								
Квантовые технологии в наноэлектронике (Б1.В.ОД.8)								
Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) (Б2.У.1)								
Научно-исследовательская работа (Б2.П.1)								
Научно-исследовательская работа (Б2.П.2)								
Преддипломная практика (Б2.П.3)								
Выполнение и защита ВКР (Б3.Д.1)								
ПКС-5								
Спецразделы квантовой физики (Б1.В.ОД.3)								
Терагерцовая фотоника (Б1.В.ОД.7)								
Квантовые технологии в наноэлектронике (Б1.В.ОД.8)								
Проблемы современной беспроводной связи. Часть 2 (ФТД.1)								
Квантовая криптография (ФТД.2)								
Научно-исследовательская работа (Б2.П.1)								
Научно-исследовательская работа (Б2.П.2)								
Выполнение и защита ВКР (Б3.Д.1)								
ПКС-10								
Спецразделы квантовой физики (Б1.В.ОД.3)								
Квантовая волоконно-								

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>оптическая связь (Б1.В.ОД.4)</i>								
<i>Прикладная радиофотоника и квантовая оптоэлектроника (Б1.В.ОД.1)</i>								
<i>Получение волоконных световодов для квантовых коммуникаций (Б1.В.ОД.2)</i>								
<i>Интегральная квантовая фотоника (Б1.В.ОД.6)</i>								
<i>Терагерцовая фотоника (Б1.В.ОД.7)</i>								
<i>Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) (Б2.У.1)</i>								
<i>Преддипломная практика (Б2.П.3)</i>								
<i>Выполнение и защита ВКР (Б3.Д.1)</i>								

3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения оп

Таблица 2 - Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
					Текущего контроля	Промежуточной аттестации
ПКС-4 Способен к составлению обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, подготовке научных публикаций и заявок на изобретения, разработке рекомендаций по практическому использованию полученных результатов	ИПКС-4.1 Анализирует результаты проводимых исследований		Уметь: - производить анализ результатов проводимых научных исследований, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики			
	ИПКС-4.2 Составляет обзоры и отчеты по результатам проводимых исследований; подготавливает научные публикации	Знать: - математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для понимания результатов исследований, изложенных в научных статьях и монографиях для составления обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также для подготовки научных публикаций		Владеть: - научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при составлении обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также при подготовке научных публикаций		
	ИПКС-4.3 Составляет рекомендации по использованию полученных результатов	Знать: - физические основы процессов, происходящих в системах квантовой передачи ключа, для составле-				

		ния рекомендаций по использованию полученных научных результатов				
ПКС-5 Способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников	ИПКС-5.1. Осуществляет патентный поиск и сбор научно-исследовательской информации			Владеть: - научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при осуществлении патентного поиска и сбора научно-исследовательской информации		
	ИПКС-5.2. Осуществляет анализ и систематизацию научно-исследовательской информации		Уметь: - осуществлять анализ и систематизацию научно-исследовательской информации, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики			
	ИПКС-5.3 Составляет обзоры по результатам поиска, изучения и анализа литературных источников (в том числе иноязычных)	Знать: - математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для составления обзоров по результатам поиска, изучения и анализа литературных источников				
ПКС-10. Способен выбирать и проводить сравнительный анализ вариантов проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов	ИПКС-10.1 Осваивает современные и перспективные направления систем связи квазиоптического и оптического диапазонов	Знать: - принципы передачи квантового ключа по современным системам связи квазиоптического и оптического диапазонов			Темы докладов; Вопросы для групповых обсуждений	Вопросы для устного собеседования: билеты

частот						
	ИПКС-10.2 Анализирует и выбирает варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов		Уметь: - производить анализ и выбирать варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов, необходимых для создания систем квантовой передачи ключа		Темы докладов; Вопросы для групповых обсуждений	Вопросы для устного собеседования: билеты
	ИПКС-10.3 Использует современные инфокоммуникационные технологии и методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем связи			Владеть: - современными инфокоммуникационными технологиями и методами проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем квантовой передачи ключа оптического и квазиоптического диапазона	Темы докладов; Вопросы для групповых обсуждений	Вопросы для устного собеседования: билеты

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зач.ед. (144 часа), распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час		
	Всего час.	В т.ч. по семестрам	
		1 сем	
Формат изучения дисциплины		очная	
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	144	144	
1. Контактная работа:			
1.1.Аудиторная работа, в том числе:	34	34	
занятия лекционного типа (Л)	17	17	
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др)	17	17	
лабораторные работы (ЛР)			
1.2.Внеаудиторная, в том числе	65	65	
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)			
текущий контроль, консультации по дисциплине	6	6	
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)			
2. Самостоятельная работа (СРС)	59	59	
реферат/эссе (подготовка)			
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)			
контрольная работа			
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)			
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	59	59	
Подготовка к экзамену (контроль)	45	45	

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 - Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты осво- ения: код УК; ОПК; ПК и инди- каторы достиже- ния компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование исполь- зуемых активных и интерактивных образо- вательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоем- кость в часах)
		Контактная работа			Самостоятель- ная работа сту- дентов (час)			
		Лекции	Лабора- торные работы	Практиче- ские заня- тия				
1 семестр								
ПКС-10	Раздел 1. История возникновения квантовой механики.						1. Диагностический безо- ценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые каче- ственные, расчетные задания; 3. Блиц-опрос. При изучении нового ма- териала-слайд показ. Это создает единую активную познавательную среду, в которой учитель серией умело подобранных во- просов и заданий возбуж- дает и направляет мысль обучающихся к новым теоретическим выводам.	Конспект лекций
	Тема 1.1. История возникновения квантовой механики.	2,0			5,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]		
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:				5,0			
	Итого по 1 разделу:	2,0			5,0			
	Раздел 2. Математический аппарат квантовой механики.							
	Тема 2.1. Математический аппа- рат квантовой механики.	2,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]		
	Тема 2.2. Принципы квантовой механики.	2,0			2,0			
	Практическое занятие 1. Опе- рации с кет- и бра-векторами.			2,0	3,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]		
	Практическое занятие 2. Опе- рации с матрицами в квантовой механике.			2,0	3,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]		
	Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:				9,0			
	Итого по 2 разделу:	4,0		4,0	9,0			

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)			
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия				
	Раздел 3. Гамильтониан. Уравнение Шредингера.						Далее в ходе закрепления уточняет, корректирует понимание учащимися нового знания, формирует первоначальные умения. В ходе объяснения и закрепления нового материала кадры должны быть разнообразными, чтобы охватить все моменты познания: алгоритм поиска решения поставленной проблемы, оценивание альтернатив, обнаружение следствий и их значимости в теории и т.д.	
	Тема 3.1. Гамильтониан.	1,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]		
	Практическое занятие 3. Коммутаторы операторов.			2,0	4,0			
	Тема 3.2. Уравнение Шредингера.	2,0			3,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]		
	Практическое занятие 4. Краевые задачи на стационарном уравнении Шредингера.			2,0	4,0			
	Самостоятельная работа по освоению 3 раздела:				13,0			
	Итого по 3 разделу:	3,0	--	4,0	13,0			
	Раздел 4. Принцип неопределённости.							
	Тема 4.1. Принцип неопределённости.	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4], [6.2.2]		
	Практическое занятие 5. Измерение спинов.			2,0	4,0	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4], [6.2.2]		
	Самостоятельная работа по освоению 4 раздела:				8,0			
	Итого по 4 разделу	2,0	--	2,0	8,0			
	Раздел 5. Объединение систем. Запутанность.							
	Тема 5.1. Объединение систем. Запутанность.	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]		

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)			
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия				
	Практическое занятие 6. Запутанные состояния. Проверка на запутанность.			2,0	4,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]		
	Самостоятельная работа по освоению 5 раздела:				8,0			
	Итого по 5 разделу:	2,0		2,0	8,0			
	Раздел 6. Частицы и волны.							
	Тема 6.1. Волновая функция.	2,0			3,0	Подготовка к лекциям [6.1.5], [6.1.4]		
	Практическое занятие 7. Решение задачи Коши на уравнении Шредингера.			1,0	3,0			
	Самостоятельная работа по освоению 6 раздела:				6,0			
	Итого по 6 разделу:	2,0		1,0	6,0			
	Раздел 7. Гармонический осциллятор.							
	Тема 7.1. Гармонический осциллятор.	2,0			4,0	Подготовка к лекциям [6.2.4], [6.1.5]		
	Практическое занятие 8. Операторы рождения и аннигиляции.			2,0	3,0	Подготовка к лекциям [6.2.4], [6.1.5]		
	Практическое занятие 9. Энергетические уровни.			2,0	3,0			
	Самостоятельная работа по освоению 7 раздела:			4,0	10,0			
	Итого по 7 разделу:	2,0		4,0	10,0			
	ИТОГО по дисциплине	17		17	59			

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам практических и лекционных занятий.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме экзамена в 1 семестре.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Физика и техника оптической связи».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели)

Шкала оценивания	Контрольная неделя	Зачет
$40 < R \leq 50$	Отлично	зачет
$30 < R \leq 40$	Хорошо	
$20 < R \leq 30$	Удовлетворительно	
$0 < R \leq 20$	Неудовлетворительно	незачет

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается в виде оценки «зачет»/«незачет».

Таблица 6 - Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не зачтено» 0-59% от тах рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «зачтено» 60-74% от тах рейтинговой оцен- ки контроля	Оценка «хорошо» / «зачтено» 75-89% от тах рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «зачтено» 90-100% от тах рейтинговой оценки контроля
ПКС-4 Способен к составлению обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, подготовке научных публикаций и заявок на изобретения, разработке рекомендаций по практическому использованию полученных результатов	ИПКС-4.1 Анализирует результаты проводимых исследований	Не умеет производить анализ результатов проводимых научных исследований, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики.	Слабо умеет производить анализ результатов проводимых научных исследований, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики.	Хорошо умеет производить анализ результатов проводимых научных исследований, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики.	Отлично умеет производить анализ результатов проводимых научных исследований, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики.
	ИПКС-4.2 Составляет обзоры и отчеты по результатам проводимых исследований; подготавливает научные публикации	Не знает математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для понимания результатов исследований, изложенных в научных статьях и монографиях для составления обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также для подготовки научных публикаций. Не владеет научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при составлении обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также при подго-	Удовлетворительно знает математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для понимания результатов исследований, изложенных в научных статьях и монографиях для составления обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также для подготовки научных публикаций. Слабо владеет научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при составлении обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также при подго-	Хорошо знает математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для понимания результатов исследований, изложенных в научных статьях и монографиях для составления обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также для подготовки научных публикаций. Хорошо владеет научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при составлении обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также при подго-	Отлично математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для понимания результатов исследований, изложенных в научных статьях и монографиях для составления обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также для подготовки научных публикаций. Отлично владеет научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при составлении обзоров и отчетов по результатам проводимых исследований, а также при подго-

		товке научных публикаций.	товке научных публикаций.	товке научных публикаций.	товке научных публикаций.
	ИПКС-4.3 Составляет рекомендации по использованию полученных результатов	Не знает физические основы процессов, происходящих в системах квантовой передачи ключа, для составления рекомендаций по использованию полученных научных результатов.	Слабо знает физические основы процессов, происходящих в системах квантовой передачи ключа, для составления рекомендаций по использованию полученных научных результатов.	Хорошо знает физические основы процессов, происходящих в системах квантовой передачи ключа, для составления рекомендаций по использованию полученных научных результатов.	Отлично знает физические основы процессов, происходящих в системах квантовой передачи ключа, для составления рекомендаций по использованию полученных научных результатов.
ПКС-5 Способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников	ИПКС-5.1. Осуществляет патентный поиск и сбор научно-исследовательской информации	Не владеет научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при осуществлении патентного поиска и сбора научно-исследовательской информации.	Слабо владеет научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при осуществлении патентного поиска и сбора научно-исследовательской информации.	Хорошо владеет научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при осуществлении патентного поиска и сбора научно-исследовательской информации.	Отлично владеет научной терминологией, используемой в квантовой механике, для использования при осуществлении патентного поиска и сбора научно-исследовательской информации.
	ИПКС-5.2. Осуществляет анализ и систематизацию научно-исследовательской информации	Не умеет осуществлять анализ и систематизацию научно-исследовательской информации, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики.	Слабо умеет осуществлять анализ и систематизацию научно-исследовательской информации, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики.	Хорошо умеет осуществлять анализ и систематизацию научно-исследовательской информации, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики.	Отлично умеет осуществлять анализ и систематизацию научно-исследовательской информации, используя знание математического аппарата и физических основ квантовой механики.
	ИПКС-5.3 Составляет обзоры по результатам поиска, изучения и анализа литературных источников (в том числе иноязычных)	Не знает математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для составления обзоров по результатам поиска, изучения и анализа литературных источников.	Слабо знает математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для составления обзоров по результатам поиска, изучения и анализа литературных источников.	Хорошо знает математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для составления обзоров по результатам поиска, изучения и анализа литературных источников.	Отлично знает математический аппарат, применяемый в квантовой механике, необходимый для составления обзоров по результатам поиска, изучения и анализа литературных источников.
ПКС-10. Способен выбирать и проводить сравнительный анализ вариантов проектирования пассивных и активных устройств оптические	ИПКС-10.1 Осваивает современные и перспективные направления систем связи квазиоптического и оптического диапазонов	Не знаком с принципами передачи квантового ключа по современным системам связи квазиоптического и оптического диапазонов.	Слабо знаком с принципами передачи квантового ключа по современным системам связи квазиоптического и оптического диапазонов.	Знаком с принципами передачи квантового ключа по современным системам связи квазиоптического и оптического диапазонов.	Хорошо знаком с принципами передачи квантового ключа по современным системам связи квазиоптического и оптического диапазонов.

ского и квазиоптического диапазонов частот	ИПКС-10.2 Анализирует и выбирает варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов.	Не умеет производить анализ и выбирать варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов, необходимых для создания систем квантовой передачи ключа.	Не уверенно производит анализ и выбирать варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов, необходимых для создания систем квантовой передачи ключа.	Умеет производить анализ и выбирать варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов, необходимых для создания систем квантовой передачи ключа.	Хорошо умеет производить анализ и выбирать варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов, необходимых для создания систем квантовой передачи ключа.
	ИПКС-10.3 Использует современные инфокоммуникационные технологии и методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем связи.	Не владеет современными инфокоммуникационными технологиями и методами проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем квантовой передачи ключа оптического и квазиоптического диапазона.	Слабо владеет современными инфокоммуникационными технологиями и методами проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем квантовой передачи ключа оптического и квазиоптического диапазона.	Владеет современными инфокоммуникационными технологиями и методами проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем квантовой передачи ключа оптического и квазиоптического диапазона.	Хорошо владеет современными инфокоммуникационными технологиями и методами проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем квантовой передачи ключа оптического и квазиоптического диапазона.

Таблица 7 – Критерии оценивания

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)
1	2
6.1.1	Сасскинд, Л. Квантовая механика. Теоретический минимум / пер.сангл. А. Сергеев / Сасскинд Л., Фридман А.; СПб.: Питер, 2015. – 400 с.
6.1.2	Львовский, А. Отличная квантовая механика: Учеб. пособие в 2 ч. / А. Львовский; пер. с англ. – М.: Альпина нон-фикшн, 2019.
6.1.3	Блохинцев, Д.И. Основы квантовой механики / Блохинцев Д.И. – М.: Наука, 1976. – 664 с.
6.1.4	Фано, У. Физика атомов и молекул / Фано У., Фано Л. – М.: Наука, 1980. – 656 с.

6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных

занятий по дисциплине «Спецразделы квантовой физики» находятся на кафедре «ФТОС».

6.3.1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы по дисциплине «Спецразделы квантовой физики».

6.3.2. Методические рекомендации по организации практических занятий по дисциплине «Спецразделы квантовой физики».

6.3.3. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «Спецразделы квантовой физики»

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.
5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	http://www.studentlibrary.ru/
2	Лань	https://e.lanbook.com/
3	Юрайт	https://biblio-online.ru/

В таблице 9 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 9 - Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОС-СТАНДАРТ	https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	https://cyberpedia.su/21x47c0.html

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 10 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 2210 – 11 компьютеров, ауд. 6119 – 9 компьютеров);
- читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
- ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Спецразделы квантовой физики», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ФТОС» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе, подробно разбираются на лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom.

Иницируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета с учетом текущей успеваемости.

Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий

Результат обучения считается несформированным, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует пороговому уровню.

10.2. Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.3. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях

Практические занятия не предусмотрены.

10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ФТОС».

11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе текущего контроля успеваемости

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая:

- проведение теоретических опросов;
- выступление обучающихся с докладами.

11.1. Типовые вопросы к экзамену, проводимому в 1 семестре

1. Понятия «спин» и «кубит».
2. Приготовление спина. Измерение спина.
3. Понятие бра- и кет-векторов. Операции с ними.
4. Внутреннее произведение.
5. Ортонормированный базис.
6. Спиновые состояния в двумерном векторном пространстве.
7. Понятие «неопределённость фазы».
8. Линейные операторы.
9. Собственные значения и собственные векторы.
10. Эрмитово сопряжение. Эрмитовы операторы.
11. Процесс Грама-Шмидта.
12. Конструирование спиновых операторов.
13. Принцип спиновой поляризации.
14. Оператор сдвига во времени.
15. Гамильтониан.
16. Уравнение Шредингера.
17. Средние (ожидаемые) значения.
18. Понятие «коммутатор».
19. Спин в магнитном поле.
20. Решение уравнения Шредингера.
21. Коллапс волновой функции.
22. Принцип неопределённости.
23. Неравенство Коши-Шварца.
24. Суперпозиция состояний.
25. Запутанность состояний.
26. Объединение квантовых систем.
27. Сепарабельные состояния.
28. Внешнее произведение.
29. Матрицы плотности.
30. Проверка на запутанность.
31. Гармонический осциллятор. Квантово-механическое описание.
32. Энергетические уровни. Операторы рождения и аннигиляции.

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института ИЯЭиТФ

« ____ » _____ 20__ г.

Лист актуализации рабочей программы дисциплины

« _____ »
индекс по учебному плану, наименование

для подготовки бакалавров/ специалистов/ магистров

Направление: {шифр – название} _____

Направленность: _____

Форма обучения _____

Год начала подготовки: _____

Курс _____

Семестр _____

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20__ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

1)

2)

3)

Разработчик (и): _____
(ФИО, ученая степень, ученое звание)

« ____ » _____ 2021 г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ФТОС

_____ протокол № _____ от « ____ » _____ 2021 г.

Заведующий кафедрой _____

Лист актуализации принят на хранение:

Заведующий выпускающей кафедрой ФТОС _____ « ____ » _____ 2020 г.

Методический отдел УМУ: _____ « ____ » _____ 2020 г.