

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Димитровградский инженерно-технологический институт –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ДИТИ НИЯУ МИФИ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель руководителя

_____ Т.И. Романовская

«__» _____ 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ»

Специальность _____ *03.03.02 Физика*

Квалификация выпускника _____ *Бакалавр*

Специализация _____ *Медицинская физика*

Форма обучения _____ *очная*

Выпускающая кафедра _____ *Кафедра общей и медицинской физики*

Кафедра-разработчик рабочей программы _____ *Кафедра общей и медицинской физики*

Семестр	Трудоемкость час. (ЗЕТ)	Лекций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. работ, час.	СРС, час.	Форма промежуточ- ного контроля (экз./зачет/кр)
5	(72) 2	34	34	-	4	Зачет
Итого	(72) 2	34	34	-	4	Зачет

Димитровград
2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
2 ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	3
3 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
4 ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
5 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	4
6 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	10
7 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВХОДНОГО И ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ (АННОТАЦИЯ)	12
8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	17
9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	19
10 ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ.....	19

1 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины: ознакомление студентов с основными понятиями и принципами квантовой механики и ее математическим аппаратом. Овладение квантовой теорией позволит студентам в будущем изучать другие разделы современной физики.

Задачи: студенты научатся пользоваться математическим аппаратом квантовой механики, будут способны применять его к исследованию простейших квантовых систем: атома водорода, ротатора, осциллятора, потенциальной ямы с прямоугольными стенками и др., а также для решения простейших задач.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций и индикаторов их достижения в соответствии с ОС НИЯУ МИФИ и ООП ВО по специальности *03.03.02 Физика*.

Общепрофессиональные компетенции и индикаторы их достижения:

Код и наименование ОПК	Код и наименование индикатора достижения ОПК
ПК-1 Способен использовать профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	З-ПК-1 Знать: фундаментальные основы в области физики. У-ПК-1 Уметь: использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин. В-ПК-1 Владеть: навыками использования специализированных знаний из области физики для освоения профильных физических дисциплин.
ПК-2 Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	З-ПК-2 Знать: базовые законы и понятия квантовой механики. У-ПК-2 Уметь: применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин, проводить научные исследования. В-ПК-2 Владеть: навыками применения на практике профессиональных знаний и умений, полученных при освоении профильных физических дисциплин.

В результате изучения дисциплины студент бакалавра должен:

Знать:

- теоретические основы, основные понятия, законы и модели основных разделов физики;
- фундаментальные основы, базовые законы и понятия квантовой механики.

Уметь:

- понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию, пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики;
- объяснять, физически интерпретировать квантовые процессы.

Владеть:

- навыками применения основных принципов теории;
- навыками работы с научной, учебно-методической и справочной литературой по квантовой механике и навыками решения основных практических задач.

3 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина *Квантовая теория* относится к *части, формируемой участниками образовательных отношений профессионального* модуля учебного плана по направлению подготовки *03.03.02 Физика*.

4 ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	В18 - - формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.

5 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Объем дисциплины

Общая трудоемкость (объем) дисциплины *Квантовая теория* составляет 2 зачетных единиц (ЗЕТ), 72 академических часов.

Таблица 5.1 - Объём дисциплины по видам учебных занятий

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад. часов)	Семестр
		5
Контактная работа с преподавателем в том числе: – аудиторная по видам учебных занятий	68	68
– лекции	34	34
– практические занятия	34	34
Самостоятельная работа обучающихся в том числе:	4	4
– изучение теоретического курса	4	4
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	Зачет	Зачет
Итого по дисциплине	72	72

Таблица 5.2 - Распределение учебной нагрузки по разделам дисциплины

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, включая самостоятельную работу студентов, акад. часы								Формируемые индикаторы освоения компетенций	
		Лекции	Практические занятия	в том числе в форме практической подготовки	Лабораторные работы	в том числе в форме практической подготовки	Самостоятельная работа	в том числе в форме практической подготовки	Всего часов		
5 семестр											
1	Основные экспериментальные факты, лежащие в основе квантовой механики	2	2							4	ПК-1, ПК-2
2	Основные положения квантовой механики	2	2				0,5			4,5	ПК-1, ПК-2
3	Измеримость величин в квантовой механике	2	2							4	ПК-1, ПК-2
4	Описание квантовых систем. Уравнение Шредингера	4	4				0,5			4,5	ПК-1, ПК-2
5	Зависимость физических величин от времени	2	2							4	ПК-1, ПК-2
6	Простейшие квантово-механические задачи	2	2				0,5			4,5	ПК-1, ПК-2
7	Прохождение потенциальных барьеров	2	2							4	ПК-1, ПК-2
8	Атом водорода	2	2				0,5			4,5	ПК-1, ПК-2
9	Основы теории представлений	2	2							4	ПК-1, ПК-2
10	Спин частиц	2	2				0,5			4,5	ПК-1, ПК-2
11	Квазиклассическое приближение	2	2							4	ПК-1, ПК-2
12	Вариационный метод Ритца	2	2				0,5			4,5	ПК-1, ПК-2
13	Теория возмущений для невырожденного спектра	2	2							4	ПК-1, ПК-2
14	Теория возму-	2	2							4	ПК-1,

	щений для вырожденного спектра									ПК-2
15	Теория квантовых переходов	2	2				0,5		4,5	ПК-1, ПК-2
16	Системы тождественных частиц в квантовой механике	2	2				0,5		4,5	ПК-1, ПК-2
ИТОГО:		34	34				4		72	

5.2 Содержание дисциплины

Таблица 5.3 - Лекционный курс

№ лекции	Номер раздела	Тема лекции и перечень дидактических единиц	Трудоемкость, акад. часов	
			всего	в том числе с использованием интерактивных образовательных технологий
5 семестр				
1	1	Основные экспериментальные факты, лежащие в основе квантовой механики. Основы квантовой теории. Корпускулярно-волновой дуализм. Ультрафиолетовая катастрофа. Явление фотоэффекта. Эффект Комптона. Теория Бора. Дифракция микрочастиц. Волны Де Бройля, статистическое толкование. Волновая функция частицы. Связь с классической механикой. Принцип соответствия Бора. Условие применимости квантовой механики	2	
2	2	Основные положения квантовой механики Принципы построения и постулаты квантовой механики. Операторы физических величин (координаты, импульса, момента импульса, Гамильтона). Линейные самосопряженные операторы. Собственные функции и собственные значения операторов, их свойства. Коммутация операторов.	2	
3	3	Измеримость величин в квантовой механике Вычисление вероятностей измерения физических величин. Физические величины с определенным состоянием. Одновременная измеримость физических величин. Соотношение неопределенностей Гейзенберга	2	
4-5	4	Описание квантовых систем. Уравнение Шредингера Временное уравнение Шредингера. Общее решение уравнения Шредингера в случае стационарного гамильтониана. Стационарные состояния. Плотность потока вероятности.	4	
6	5	Зависимость физических величин от времени Дифференцирование операторов по времени.	2	

		Зависимость средних от времени. Квантово-механические скобки Пуассона. Интегралы движения в квантовой механике. Теорема Эренфеста		
7	6	Простейшие квантовомеханические задачи Бесконечно глубокая потенциальная яма с прямоугольными стенками. Потенциальная яма конечной глубины. Плоский ротатор. Гармонический осциллятор. Уровни энергии и волновые функции	2	
8	7	Прохождение потенциальных барьеров Прямоугольный барьер. Барьер произвольной формы. Коэффициенты прохождения и отражения. Туннелирование. Элементарная теория альфа-распада. Холодная эмиссия электронов.	2	
9		Атом водорода Уравнение Шредингера для атома водорода, его решение. Спектральные серии. Квантовые числа электрона в атоме водорода. Водородоподобный атом, уровни энергии и волновые функции. Кратность вырождения.	2	
10		Основы теории представлений. Понятие о различных представлениях квантовых систем. Координатное представление. Импульсное представление. Энергетическое представление. Операторы физических величин в различных представлениях. Среднее значение и спектр оператора в матричной форме. Уравнение Шредингера в матричной форме. Унитарные преобразования. Матрица рассеяния. Представление Шредингера и представление Гейзенберга.	2	
11		Спин частиц Гамильтониан заряженной частицы в электромагнитном поле. Движение заряженной частицы в магнитном поле. Магнитный момент электрона в атоме. Экспериментальные доказательства наличия спина. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита. Спин элементарных частиц. Спиновые волновые функции и операторы спина. Матрицы Паули и их свойства. Уравнение Паули. Понятие о спин-орбитальном взаимодействии.	2	
12		Квазиклассическое приближение Квазиклассическое приближение (метод Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна). Правило квантования Бора-Зоммерфельда. Потенциальные барьеры в квазиклассическом приближении.	2	
13		Вариационный метод Ритца Вариационный принцип. Метод Ритца. Вариационный вывод уравнения Шредингера	2	
14		Теория возмущений для невырожденного спектра Теория возмущений для невырожденного спектра. Поправки нулевого, первого и второго порядка к энергетическим уровням. По-	2	

		правки нулевого и первого порядка к волновой функции. Потенциальная энергия как возмущение.		
15		Теория возмущений для вырожденного спектра Теория возмущений для вырожденного спектра. Вековое (секулярное) уравнение. Двукратное вырождение уровней. Снятие вырождения. Эффект Штарка. Эффекты Зеемана (простой и аномальный)	2	
16		Теория квантовых переходов Применение теории возмущения для описания квантовых переходов. Вероятности квантовых переходов. Правила отбора для дипольного перехода. Переходы под влиянием периодического возмущения.	2	
17		Системы тождественных частиц в квантовой механике Системы тождественных частиц. Оператор перестановки частиц, его свойства. Оператор Гамильтона и волновые функции для системы нескольких частиц. Принцип тождественности частиц. Симметричность волновой функции. Бозоны и фермионы. Принцип запрета Паули. Метод вторичного квантования	2	
Итого:			34	

Таблица 5.4 - Практические занятия

№ занятия	Номер раздела	Наименование практического занятия и перечень дидактических единиц	Трудоемкость, акад. часов	
			всего	в том числе в форме практической подготовки
5 семестр				
1	1	Основные экспериментальные факты, лежащие в основе квантовой механики. Законы фотоэффекта. Эффект Комптона. Волновая функция частицы, условие нормировки. Условие применимости квантовой механики	2	
2	2	Основные положения квантовой механики Операторы физических величин, их свойства. Линейные самосопряженные операторы. Решение уравнений на собственные функции и собственные значения операторов. Коммутация операторов.	2	
3	3	Измеримость величин в квантовой механике Вычисление вероятностей измерения физических величин. Одновременная измеримость физических величин.	2	
4-5	4	Описание квантовых систем. Уравнение Шредингера Описание стационарных состояний в квантовой механике. Плотность потока вероятности.	4	
6	5	Зависимость физических величин от времени	2	

		Правило дифференцирования операторов по времени. Квантовомеханические скобки Пуассона.		
7	6	Простейшие квантовомеханические задачи Решение уравнения Шредингера для бесконечно глубокой потенциальной ямы, потенциальной ямы конечной глубины, плоского ротатора. Уровни энергии и волновые функции гармонического осциллятора. Исследование свойств данных квантовомеханических систем.	2	
8	7	Прохождение потенциальных барьеров Вычисление коэффициентов прохождения и отражения для потенциальных барьеров различной формы.	2	
9		Атом водорода Исследование свойств атома водорода и водородоподобных атомов.	2	
10		Основы теории представлений. Определение видов операторов и волновых функций координатного представления в импульсном и энергетическом представлении.	2	
11		Спин частиц Спиновые волновые функции и операторы спина. Матрицы Паули и их свойства. Уравнение Паули, его решение для простейших квантовых систем.	2	
12		Квазиклассическое приближение Простейшие квантовые системы в квазиклассическом приближении. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. Потенциальные барьеры в квазиклассическом приближении.	2	
13		Вариационный метод Ритца Решение задач квантовой механики методом Ритца.	2	
14		Теория возмущений для невырожденного спектра Вычисление поправок к энергетическим уровням и к волновой функции.	2	
15		Теория возмущений для вырожденного спектра Теория возмущений для вырожденного спектра. Вековое (секулярное) уравнение. Двукратное вырождение уровней.	2	
16		Теория квантовых переходов Определение вероятностей квантовых переходов.	2	
17		Системы тождественных частиц в квантовой механике Оператор перестановки частиц, его свойства. Симметричность волновой функции.	2	
Итого:			34	

Таблица 5.5 – Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены.

Таблица 5.6 – Самостоятельная работа студента

Раздел дисциплины	№ п/п	Вид самостоятельной работы студента (СРС) и перечень дидактических единиц	Трудоемкость, часов
1	1	Изучение конспектов лекций. Изучение литературы. Самопроверка по контрольным вопросам. Решение домашних задач.	
2	2		0,5
3	3		
4	4		0,5
5	5		
6	6		0,5
7	7		
8	8		0,5
9	9		
10	10		0,5
11	11		
12	12		0,5
13	13		
14	14		
15	15		0,5
16	16		0,5
17	17		
ИТОГО:			40

6 ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной работы и дающие наиболее эффективные результаты освоения дисциплины:

1. ЛЕКЦИЯ, мастер-класс (Лк, МК) – передача учебной информации от преподавателя к студентам, как правило с использованием компьютерных и технических средств, направленная в основном на приобретение студентами новых теоретических и фактических знаний. Наиболее распространенные виды (формы) организации учебного процесса для достижения определенных результатов обучения и компетенций:

Информационная лекция

Проблемная лекция – в отличие от информационной лекции, на которой сообщаются сведения, предназначенные для запоминания, на проблемной лекции знания вводятся как «неизвестное», которое необходимо «открыть». Проблемная лекция начинается с вопросов, с постановки проблемы, которую в ходе изложения материала необходимо решить. При этом выдвигаемая проблема требует не однотипного решения, готовой схемы которого нет. Данный тип лекции строится таким образом, что деятельность студента по ее усвоению приближается к поисковой, исследовательской. На подобных лекциях обязателен диалог преподавателя и студентов.

Лекция-визуализация – учит студента преобразовывать устную и письменную информацию в визуальную форму, выделяя при этом наиболее значимые и существенные элементы. На лекции используются схемы, рисунки, чертежи и т.п., к подготовке которых привлекаются обучающиеся. Проведение лекции сводится к связному развернутому комментированию преподавателем подготовленных наглядных пособий. При этом важна логика и ритм подачи учебного материала. Данный тип лекции хорошо использовать на введении студентов в новый раздел, тему, дисциплину.

Лекция с разбором конкретной ситуации, изложенной в устно или в виде короткого диафильма, видеозаписи и т.п.; студенты совместно анализируют и обсуждают представленный материал.

2. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА (СР) – изучение студентами теоретического материала, подготовка к лекциям, лабораторным работам, практическим и семинарским занятиям,

оформление конспектов лекций, написание рефератов, отчетов, курсовых работ, проектов, работа в электронной образовательной среде и др. для приобретения *новых теоретических и фактических знаний, теоретических и практических умений*.

3. КОНСУЛЬТАЦИЯ, тьюторство (Конс., тют.) – индивидуальное общение преподавателя со студентом, руководство его деятельностью с целью передачи опыта, углубления *теоретических и фактических знаний*, приобретенных студентом на лекциях, в результате самостоятельной работы, в процессе выполнения курсового проектирования и др.

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ (Пр. зан.) – решение конкретных задач (математическое моделирование, расчеты и др.) на основании теоретических и фактических знаний, направленное в основном на приобретение новых *фактических знаний и теоретических умений*.

5. СЕМИНАР, коллоквиум (Сем., колл.) – систематизация теоретических и фактических знаний в определенном контексте (подготовка и презентация материала по определенной теме, обсуждение ее, формулирование выводов и заключения), направленная в основном на приобретение новых *фактических знаний и теоретических умений*.

Типы практических занятий, используемых при изучении дисциплины:

Кейс-метод. Его название происходит от английского слова «кейс» – папка, чемодан, портфель (в то же время «кейс» можно перевести и как «случай, ситуация»). Процесс обучения с использованием кейс-метода представляет собой имитацию реального события, сочетающую в целом адекватное отражение реальной действительности, небольшие материальные и временные затраты и вариативность обучения. Учебный материал подается студентам виде проблем (кейсов), а знания приобретаются в результате активной и творческой работы: самостоятельного осуществления целеполагания, сбора необходимой информации, ее анализа с разных точек зрения, выдвижения гипотезы, выводов, заключения, самоконтроля процесса получения знаний и его результатов.

Основные виды образовательных технологий

Дистанционные образовательные технологии – образовательные технологии, реализуемые в основном с применением информационно-телекоммуникационных сетей при опосредованном (на расстоянии) взаимодействии обучающихся и педагогических работников.

Для проведения занятий с использованием электронного образования и дистанционных образовательных технологий используются следующие образовательные технологии и средства освоения дисциплины:

- электронная информационно-образовательная среда НИЯУ МИФИ – Режим доступа <https://eis.mephi.ru/>;
- платформа для проведения on-line конференций и вебинаров ZOOM – Режим доступа <https://zoom.us/>;
- файлообменная система Google Диск – Режим доступа <https://drive.google.com/>;
- система обмена текстовыми сообщениями для мобильных и иных платформ с поддержкой голосовой и видеосвязи WhatsApp;
- социальная сеть ВКонтакте;
- электронная почта преподавателей и студентов.

Примерами применения дистанционных образовательных технологий являются занятия, на которых обучающийся не присутствует (скажем, по болезни), но выполняет задания и общается с преподавателем по электронной почте, или преподаватель консультирует обучающихся во внеурочное время через блог или сайт.

Виды дистанционного обучения: лекции (сетевые или видеозапись), виртуальные экскурсии, практические работы (семинары), проектная деятельность, телеконференции со специалистами, форумы, обсуждения, дискуссии, консультации индивидуальные или групповые, тестирование.

Кейсовая – технология основывается на использовании наборов (кейсов) текстовых, аудиовизуальных и мультимедийных учебно-методических материалов и их рассылке для самостоятельного изучения учащимся при организации регулярных консультаций у преподавателей.

Телевизионно-спутниковая технология основана на применении интерактивного телевидения: теле- и радиолекции, видеоконференции, виртуальные практические занятия и т.д.

Сетевые технологии используют телекоммуникационные сети для обеспечения учащихся учебно-методическим материалом и взаимодействия с различной степенью интерактивности между преподавателем и учащимся.

Информационные технологии – обучение в электронной образовательной среде с целью расширения доступа к образовательным ресурсам (теоретически к неограниченному объему и скорости доступа), увеличения контактного взаимодействия с преподавателем, построения индивидуальных траекторий подготовки и объективного контроля и мониторинга знаний студентов.

Работа в команде – совместная деятельность студентов в группе под руководством лидера, направленная на решение общей задачи путем творческого сложения результатов индивидуальной работы членов команды с делением полномочий и ответственности.

Проблемное обучение – стимулирование студентов к самостоятельному приобретению знаний, необходимых для решения конкретной проблемы.

Контекстное обучение – мотивация студентов к усвоению знаний путем выявления связей между конкретным знанием и его применением. При этом знания, умения, навыки даются не как предмет для запоминания, а в качестве средства решения профессиональных задач.

Обучение на основе опыта – активизация познавательной деятельности студента за счет ассоциации и собственного опыта с предметом изучения.

Индивидуальное обучение – выстраивание студентом собственной образовательной траектории на основе формирования индивидуальной образовательной программы с учетом интересов студента.

Междисциплинарное обучение – использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте решаемой задачи.

Опережающая самостоятельная работа – изучение студентами нового материала до его изучения в ходе аудиторных занятий.

7 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВХОДНОГО И ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ (АННОТАЦИЯ)

Фонд оценочных средств, включающий все виды оценочных средств, позволяющих проконтролировать сформированность у обучающихся компетенций и индикаторов их достижения, предусмотренных ОС НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 03.03.02 Физика, ООП и рабочей программой дисциплины *«Квантовая теория»*, приведен в Приложении.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов ДИТИ НИЯУ МИФИ.

Текущий контроль студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателями, ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- тестирование;
- коллоквиумы;

Примерный вариант к текущему контролю:

1. Оператор \hat{A} , действующий в некотором линейном пространстве, является линейным, если для любых элементов ψ_1 и ψ_2 этого пространства имеет место равенство:

$$\text{а. } \hat{A}\beta\psi_1 = \alpha\hat{A}\psi_1 \quad \text{б. } \hat{A}(\alpha\psi_1 + \beta\psi_2) = \alpha\hat{A}\psi_1 + \beta\hat{A}\psi_2 \quad \text{в. } \hat{A}\beta\psi_1 = \alpha\hat{A}\psi_2$$

$$\text{г. } \hat{A}\beta\psi_2 = \alpha\hat{A}\psi_1 \quad (\alpha \text{ и } \beta - \text{произвольные комплексные числа})$$

2. Оператор \hat{A} , действующий в некотором линейном пространстве, является Эрмитовым, если для любых элементов ψ_1 и ψ_2 этого пространства имеет место равенство:

$$\text{а. } \hat{A}\psi_1 = \hat{A}\psi_2 \quad \text{б. } \hat{A}\psi_1\psi_2 = \hat{A}\psi_2\psi_1 \quad \text{в. } (\hat{A}\psi_1, \psi_2) = (\psi_1, \hat{A}\psi_2) \quad \text{г. } (\hat{A}\psi_2, \psi_1) = (\psi_1, \hat{A}\psi_2)$$

3. Оператор A^+ , действующий в некотором линейном пространстве, является Эрмитово сопряженным оператору A , если для любых элементов ψ_1 и ψ_2 этого пространства имеет место равенство:

а. $A\psi_1 = A^+ \psi_2$ б. $(A\psi_1, \psi_2) = (\psi_1, A^+ \psi_2)$ в. $A\psi_1\psi_2 = A^+ \psi_2\psi_1$ г.

$(A\psi_1, \psi_2) = (\psi_2, A^+ \psi_1)$

4. Операторы A и B , действующие в некотором линейном пространстве, коммутируют, если для любого элемента этого пространства ψ имеет место равенство:

а. $AB\psi = BA\psi$ б. $(A\psi, \psi) = (\psi, B\psi)$ в. $A\psi = B^+ \psi$ г.

$A\psi = B\psi$

5. Для любого Эрмитового оператора A , действующего в некотором линейном пространстве, можно выбрать такой базис, в котором матрица оператора A является:

а. единичной б. нулевой в. антисимметричной г. диагональной

6. Собственные значения любого Эрмитового оператора являются

а. положительными б. Отрицательными в. вещественными г. мнимыми

7. Собственные функции эрмитового оператора, отвечающие различным собственным значениям

а. ортогональны б. отличаются числовым множителем в. совпадают

г. являются комплексно-сопряженными по отношению друг к другу

8. Собственное значение оператора вырождено, если:

а. этому значению отвечает одна собственная функция б. этому значению отвечает две или более линейно независимых собственных функции в. это значение равно нулю

г. это значение отрицательно

9. Если эрмитовы операторы A и B коммутируют, то

а. любая собственная функция одного из операторов является также собственной функцией другого оператора б. операторы не имеют общих собственных функций в. операторы имеют общие собственные функции, число которых меньше размерности пространства, в котором действуют эти операторы г. существует полная система общих собственных функций этих операторов

(a, b, c – произвольные действительные числа)

10. Какая из четырех матриц является матрицей эрмитового оператора

а. $\begin{pmatrix} 1 & i \\ i & 2 \end{pmatrix}$ б. $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2-i \end{pmatrix}$ в. $\begin{pmatrix} 1 & i \\ -i & 2 \end{pmatrix}$ г. $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$

11. Сколько собственных значений имеет оператор, заданный матрицей $\begin{pmatrix} 1 & i \\ -i & 2 \end{pmatrix}$

а. одно б. два в. три г. четыре

12. Оператором, обратным оператору четности является:

а. оператор четности б. оператор однократного дифференцирования в. оператор возведения в квадрат г. оператор двукратного дифференцирования.

13. Чему равны собственные значения оператора, заданного матрицей $\begin{pmatrix} 0 & i \\ -i & 0 \end{pmatrix}$:

а. +1 и -1 б. 0 и 1 в. 0 и -1 г. $-i$ и $+i$

14. Оператор id/dx , действующий в пространстве функций, заданных на интервале $[-\infty, +\infty]$, в котором определено скалярное произведение, является

а. эрмитовым б. унитарным в. совпадающим со своим обратным г. нелинейным

15. Коммутатор операторов d/dx и умножения на функцию $f(x)$ равен

а. оператору d/dx , б. оператору умножения на функцию $f(x)$

в. оператору умножения на функцию $f'(x)$ г. оператору d^2/dx^2

16. Коммутатор операторов четности \hat{P} и умножения на функцию $f(x)$ равен
- а. оператору \hat{P} , б. оператору $f(x)\hat{P}$
 в. оператору $f(-x)\hat{P}$ г. оператору $[f(-x) - f(x)]\hat{P}$
17. Спектр собственных значений оператора является дискретным. Это значит, что
- а. оператор имеет бесконечное количество собственных значений
 б. оператор имеет конечное число собственных значений
 в. собственные значения можно пересчитать
 г. собственным значением является любое число из некоторого интервала значений.
18. Спектр собственных значений оператора является непрерывным. Это значит, что
- а. оператор не имеет собственных значений
 б. оператор имеет конечное число собственных значений
 в. собственные значения можно пересчитать
 г. собственным значением является любое число из некоторого интервала значений.

19. Оператор задан матрицей
$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 \end{pmatrix}.$$

Чему равна сумма всех собственных значений этого оператора

- а. 1 б. 3 в. 5 г. 9

20. Произведение операторов d/dx и d^2/dx^2 на произвольную функцию $f(x)$ действует так:

- а. $d^2 f(x)/dx^2 + df(x)/dx$ б. $d^2 f(x)/dx^2 - df(x)/dx$
 в. $d^3 f(x)/dx^3$ г. $d^4 f(x)/dx^4$

Коллоквиум рекомендуется использовать для проверки и оценивания знаний, умений и навыков студентов, полученных в ходе занятий по освоению определенной части учебного модуля «Квантовая теория». Коллоквиум проводится в виде письменного или устного опроса группы студентов из 5-10 человек во время аудиторной самостоятельной работы. В ходе коллоквиума для каждого студента предусмотрено по 3 вопроса. Максимальное количество баллов, которые может получить студент, участвуя в коллоквиуме, равно 3 баллам. Во время проведения коллоквиума оценивается способность студента правильно сформулировать ответ, умение выражать свою точку зрения по данному вопросу, ориентироваться в терминологии и применять полученные в ходе лекций и практик знания.

Примерный список вопросов к коллоквиуму:

1. Волны де Бройля. Статистическое толкование волн де Бройля (гипотеза Борна).
2. Постулаты квантовой механики.
3. Эрмитов оператор. Свойства собственных функций и собственных значений эрмитова оператора.
4. Вычисление вероятностей результатов измерения физических величин в квантовой механике.
5. Вычисление средних значений физических величин.
6. Одновременная измеримость двух физических величин.
7. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса.
8. Нестационарное (временное) уравнение Шредингера.
9. Стационарное уравнение Шредингера.
10. Принцип соответствия Бора. Условие применимости квантовой механики.
11. Законы сохранения в квантовой механике.
12. Полная производная операторов по времени.
13. Интегралы движения в квантовой механике.
14. Квантовый гармонический осциллятор (спектр и волновые функции).
15. Уравнение Шредингера для атома водорода. Энергетический спектр и волновые функции.
16. Квантовые числа электрона в атоме.

17. Коэффициент отражения и прохождения для потенциального барьера произвольной формы. Туннелирование.

18. Коэффициенты отражения и прохождения частицы через произвольный потенциальный барьер в виде ступеньки.

Промежуточный контроль студентов производится в следующих формах:

- контрольная работа.

Контрольная работа – это задание для студента, которое должно быть выполнено по теме, определенной преподавателем. Главная цель проведения практической работы заключается в выработке у студента практических умений, связанных с обобщением и интерпретацией тех или иных научных материалов. Используются как метод оценивания уровня сформированности у обучающихся компетенций в процессе освоения дисциплины.

Фонд задач к контрольной работе:

Задача 1. Для частицы со спином $s=1/2$ найти собственные значения и нормированные собственные функции оператора \hat{s}_y . Используя эти функции найти вероятности различных значений проекции спина на ось y в состоянии

$$\psi(s_z) = \begin{pmatrix} \sqrt{3}/2 \\ 1/2 \end{pmatrix}$$

Задача 2. На трехмерный гармонический осциллятор наложено малое возмущение $\hat{V}(\vec{r}) = \alpha xz$. Найти поправки первого и второго порядка к энергии основного состояния. Каковы условия применимости теории возмущений?

Задача 3. Получить квазиклассическое правило квантования уровней в потенциале

$$U(x) = \begin{cases} \infty, & x < 0 \\ \alpha x, & x > 0 \end{cases}$$

где $\alpha > 0$. С помощью этого правила найти энергетические уровни частицы в этом потенциале.

Задача 4. На одномерный гармонический осциллятор наложено возмущение $\hat{V} = \alpha x$. В первом, втором, третьем и четвертом порядках теории возмущений найти собственные энергии осциллятора.

Задача 5. В первом порядке теории возмущений найти расщепление n -кратно вырожденного уровня некоторой квантовой системы под действием возмущения \hat{V} , все матричные элементы которого с невозмущенными собственными функциями одинаковы: $V_{ik} = V$ для любых i и k . Найти также правильные функции нулевого приближения.

Итоговый контроль по результатам 5 семестра по дисциплине проходит в форме письменного зачета (теоретические вопросы).

Зачет является основной формой контроля и оценивания сформированности у обучающихся компетенций по результатам освоения дисциплины.

Список вопросов к зачету:

1. Волны де Бройля. Статистическое толкование волн де Бройля (гипотеза Борна).
2. Постулаты квантовой механики.
3. Эрмитов оператор. Свойства собственных функций и собственных значений эрмитова оператора.
4. Вычисление вероятностей результатов измерения физических величин в квантовой механике.
5. Вычисление средних значений физических величин.
6. Одновременная измеримость двух физических величин.
7. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса.
8. Нестационарное (временное) уравнение Шредингера.
9. Стационарное уравнение Шредингера.

10. Принцип соответствия Бора. Условие применимости квантовой механики.
11. Законы сохранения в квантовой механике.
12. Полная производная операторов по времени.
13. Интегралы движения в квантовой механике.
14. Квазиклассическое приближение (метод Вентцеля-Крамерса-Бриллюэна).
15. Правило квантования Бора-Зоммерфильда.
16. Квантовый гармонический осциллятор (спектр и волновые функции).
17. Уравнение Шредингера для атома водорода. Энергетический спектр и волновые функции.
18. Квантовые числа электрона в атоме.
19. Коэффициент отражения и прохождения для потенциального барьера произвольной формы. Туннелирование.
20. Коэффициенты отражения и прохождения частицы через произвольный потенциальный барьер в виде ступеньки.
21. Теория представлений. Понятие о различных представлениях.
22. Операторы физических величин в различных представлениях. Среднее значение и спектр оператора в матричной форме.
23. Уравнение Шредингера в матричной форме.
24. Гамильтониан заряженной частицы в электромагнитном поле
25. Уравнение движения заряженной частицы в электромагнитном поле
26. Магнитный момент электрона в атоме.
27. Опыты, доказывающие существование спина электрона.
28. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита. Спиноры и спиновые функции.
29. Оператор спина. Матрицы Паули.
30. Уравнение Паули.
31. Вариационный принцип.
32. Метод Ритца.
33. Вариационный вывод уравнения Шредингера.
34. Теория возмущений для невырожденного уровня.
35. Теория возмущения для вырожденного уровня.
36. Двукратное вырождение энергетических уровней.
37. Эффект Штарка для атома водорода.
38. Эффект Зеемана.
39. Вероятности переходов между дискретными уровнями.
40. Оператор Гамильтона и волновые функции для системы нескольких частиц.
41. Принцип тождественности частиц. Симметричные и антисимметричные состояния.
42. Ферми- и Бозе- частицы и их волновые функции. Принцип Паули.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Таблица 8.1 – Обеспечение дисциплины основной и дополнительной литературой по дисциплине

№ п/п	Автор	Название	Место издания	Наименование издательства	Год издания	Количество экземпляров
Основная литература						
1	Байков Ю.А., Кузнецов В.М.	Квантовая механика: учебное пособие	Москва	Лаборатория знаний	2020	[https://e.lanbook.com/book/151548]
2	Пахомов И.И., Хорохоров А.М.	Квантовая теория излучения. Взаимодействие излучения с веществом	Москва	Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана	2010	[https://e.lanbook.com/book/52478]
3	Трясучёв В.А.	Квантовая механика для студентов технических вузов	Томск	Томский государственный педагогический университет	2017	[https://reader.lanbook.com/book/106765#2]
Дополнительная литература						
1	Митрофанова Т.Г.	Введение в квантовую теорию излучения: Учебно-методическое пособие	Томск	Томский государственный педагогический университет	2017	[https://e.lanbook.com/book/152687]
2	Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.	Теоретическая физика: В 10 т. Т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория)	Москва	Физматлит	2021	[https://reader.lanbook.com/book/185658#3]

8.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень рекомендуемых Интернет сайтов:

1. ЭБС «Лань» на сайте <http://e.lanbook.com>.
2. ЭБС НИЯУ МИФИ на сайте <http://library.mephi.ru/>
3. ЭБС «Консультант студента» на сайте <https://www.studentlibrary.ru/>

Таблица 8.2 – Рекомендуемые электронно-библиотечные системы

№	Наименование ресурса	Тематика
1	ЭБС «Лань»	Физико-математические науки

		Технические науки
2	ЭБС НИЯУ МИФИ	Физико-математические науки Технические науки
3	ЭБС «Консультант студента»	Физико-математические науки Технические науки

8.3 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8.3 – Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

№	Наименование	Краткое описание
1	MS Office (Word, Excel, Power Point)	оформление текста, создание презентаций
2	Браузеры: Internet Explorer 10, Internet Explorer 9, Internet Explorer 8, FireFox 10, Safari 5, Google Chrome 17	Специальные программы для просмотра веб-страниц, поиска контента, файлов и их каталогов в Интернете
3	https://docs.google.com/ Документы, Таблицы, Формы, Презентации	оформление текста, создание презентаций

Таблица 8.4 – Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование	Тематика	Электронный адрес
1	Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Физика	Физико-математические науки	https://og-ti.ru/
2	Журнальный портал ФТИ им. А.Ф. Иоффе	Техническая физика	https://journals.ioffe.ru/

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе помещения для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебно-наглядных пособий и используемого программного обеспечения	Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом
1	Учебная аудитория для проведения занятий № 101 посадочных мест — 16; площадь 59.42 кв.м. Специализированная мебель: учебная доска – 1 шт., стол студенческий – 12 шт., стол преподавательский – 2 шт., стол компьютерный – 12 шт., стулья – 31 шт., кондиционер – 1 шт. Технические средства обучения: компьютеры (монитор, системный блок, клавиатура, мышка) – 10 шт., проектор – 1 шт., экран – 1 шт. Программное обеспечение: ОС Windows XP, Microsoft Office 10	433507, Ульяновская область, г. Димитровград, ул. Куйбышева, д. 297

10 ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

– Конституцией Российской Федерации. Принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020 – ст. 43 – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28399/;

– Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 №273-ФЗ (ред. от 17.02.2021), ст. 5, 71, 79 – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/;

– Федеральным законом от 24.11.1995 №181-ФЗ (ред. от 07.03.2017) «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» – Глава III. Ст. 9. ,Ст. 11. Глава IV. Ст. 1 – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559/;

– Федеральным законом «О ратификации Конвенции о правах инвалидов» от 03.05.2012 №46-ФЗ – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129200/;

– Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Минобрнауки РФ от 05.04.2017 № 301);

– Положением об организации обучения студентов-инвалидов и студентов с ограниченными возможностями здоровья в НИЯУ МИФИ, утвержденным 29.08.2017 г. https://mephi.ru/content/public/uploads/files/education/docs/pl_7.5-15_ver_2.2_0.pdf;

– Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (приложение к письму Минобрнауки от 16 апреля 2014 г. №05-785) http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_159405/73804ce294dfe53d86ae9d22b5afde310dc506f7/;

– Требованиями к организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в профессиональных образовательных организациях, в том числе оснащённости образовательного процесса» (приложение к письму Минобрнауки от 18 марта 2014 г. №06-281) http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_57872/7d7f56523837be788b6cfa5578482a6b178918d3/ .

