

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

**Обнинский институт атомной энергетики –**

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

**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ОТДЕЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

Утверждено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 28.08.2023 № 23.8

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Теоретическая физика

*название дисциплины*

для направления подготовки

14.03.02 Ядерные физика и технологии

*код и направления подготовки*

образовательная программа

Инновационные ядерные технологии

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2024 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины – изложение основ квантовой механики и статистической физики и подготовки студента к пониманию широкого круга физических явлений, изучаемых далее в специальных курсах.

Задачи дисциплины:

- изложение основных экспериментальных фактов и явлений, которые лежат в основе современной квантовой и статистической физики;
- последовательное изложение основных принципов квантовой механики и статистической физики (постулаты квантовой механики, начала термодинамики и основные законы статистической физики);
- практическое применение указанных основных принципов к описанию конкретных явлений и микро- и макроскопических систем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (далее – ОП) БАКАЛАВРИАТА

Дисциплина реализуется в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений и относится к профессиональному модулю.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

- Ядерная физика.
- Общая физика.
- Математический анализ.

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

- Взаимодействия частиц.
- Введение в квантовую теорию рассеяния и ее приложения к ядерной физике.

Дисциплина изучается на 3 и 4 курсе в 6 и 7 семестрах.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения ОП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код компетенций	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-3	Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций	З-ПК-3 Знать: основные физические законы и методы обработки данных У-ПК-3 Уметь: работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций В-ПК-3 Владеть: навыками проведения физических

		экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией.
--	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
<b>Интеллектуальное воспитание</b>	Формирование культуры умственного труда ( <b>B11</b> )	Использование воспитательного потенциала дисциплин гуманитарного, естественнонаучного, общепрофессионального и профессионального модуля для формирования культуры умственного труда посредством вовлечения студентов в учебные исследовательские задания, курсовые работы и др.
<b>Профессиональное воспитание</b>	Формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия ( <b>B17</b> )	1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за научно-технические достижения России, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности за результаты исследований и их последствия, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечение в реальные научно-исследовательские проекты.
<b>Профессиональное воспитание</b>	Формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения ( <b>B18</b> )	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.

<p><b>Профессиональное воспитание</b></p>	<p>Формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических решений, критического отношения к исследованиям научного толка <b>(B19)</b></p>	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин, профессионального модуля для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские курсовые проекты. 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</p>
<p><b>Профессиональное воспитание</b></p>	<p>Формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства <b>(B20)</b></p>	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепления рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и</p>

		эмоциональными свойствами членов проектной группы.
<b>Профессиональное воспитание</b>	Формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения <b>(B21)</b>	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепления рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</li> </ul>
<b>Профессиональное воспитание</b>	Формирование творческого инженерного мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности <b>(B22)</b>	<p>1. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку</p>

		<p>ВКР.</p> <p>2. Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепления рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</li> </ul>
<b>Профессиональное воспитание</b>	Формирование культуры информационной безопасности (В23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.
<b>Профессиональное воспитание</b>	Формирование культуры ядерной и радиационной безопасности (В24)	<p>1. Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн.</p> <p>4. Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Ядерные технологии», «Радиационная и экологическая безопасность объектов ЯТЦ», «Техногенные системы и экологический риск», «Безопасное обращение с РАО и ОЯТ», «Радиационная экология» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую</p>

		<p>среду обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработке ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
<p><b>Профессиональное воспитание</b></p>	<p>Формирование профессиональной ответственности в области разработки, а также применения современных методов, приборов и систем для достижения устойчивого развития мирных ядерных технологий, направленных на улучшение труда и жизни человека <b>(B25)</b></p>	<p>1. Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн.</p> <p>4. Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Ядерные технологии», «Радиационная и экологическая безопасность объектов ЯТЦ», «Техногенные системы и экологический риск», «Безопасное обращение с РАО и ОЯТ», «Радиационная экология» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработке ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
<p><b>Профессиональное воспитание</b></p>	<p>Формирование ответственной позиции по применению ядерных технологий в свете сохранения окружающей среды для будущих поколений <b>(B26)</b></p>	<p>1. Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн.</p> <p>4. Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Ядерные технологии», «Радиационная и экологическая безопасность объектов ЯТЦ», «Техногенные системы и экологический риск», «Безопасное</p>

		обращение с РАО и ОЯТ», «Радиационная экология» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработке ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.
--	--	--

**5. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Вид работы	Количество часов на вид работы по семестрам:		
	№ 6	№ 7	Всего
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем</b>			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>64</b>	<b>48</b>	<b>112</b>
В том числе:			
<i>лекции</i>	32	16	48
<i>практические занятия</i>	32	32	64
<i>лабораторные занятия</i>			
<b>Промежуточная аттестация</b>			
В том числе:			
<i>зачет</i>	-	-	-
<i>зачет с оценкой</i>	-	-	-
<i>экзамен</i>	36	54	90
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>14</b>
<b>Всего (часы):</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>216</b>
<b>Всего (зачетные единицы):</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>

**6. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ**

**6.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

Неделя	Наименование раздела / темы дисциплины	Виды учебной работы				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
1-16	<b>1. Квантовая механика</b>					
1-3	1.1. Формализм квантовой	7	8			1

	механики					
4-6	1.2. Квантовые системы в одном измерении	6	8			1
7-10	1.3. Движение в центральном поле	8	10			1
11-12	1.4. Теория возмущений в квантовой механике	3	2			1
13-14	1.5. Спин	4	2			2
15-16	1.6. Тожественные частицы в квантовой механике	4	2			2
	<b>Итого за 6 семестр:</b>	<b>32</b>	<b>32</b>			<b>8</b>
1-16	<b>2. Статистическая физика</b>					
1-4	2.1. Начала термодинамики	4	6			1
5-8	2.2. Методы термодинамики	4	6			1
9-12	2.3. Статистические распределения	4	6			1
13-14	2.4. Квантовая статистика	2	6			1
15-16	2.5. Статистическая теория идеальных систем	2	8			2
	<b>Итого за 7 семестр:</b>	<b>16</b>	<b>32</b>			<b>6</b>
	<b>Всего:</b>	<b>48</b>	<b>64</b>	-	-	<b>14</b>

Прим.: Лек – лекции, Пр – практические занятия / семинары, Лаб – лабораторные занятия, Внеауд – внеаудиторная контактная работа, СРО – самостоятельная работа.

## 6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

### Лекционный курс

Неделя	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание
1-16	<b>1. Квантовая механика</b>	
1-3	1.1. Формализм квантовой механики	Постулаты квантовой механики. Состояние квантовой системы. Наблюдаемые. Операторы наблюдаемых. Эволюция квантовой системы. Уравнение Шредингера. Принцип соответствия. Связь классических и квантовых уравнений движения. Уравнения Эренфеста. Стационарные и нестационарные уравнения Шредингера. Операторы в квантовой механике. Эрмитовы операторы и физические величины. Собственные значения и собственные функции эрмитова оператора. Средние значения операторов. Изменение средних значений со временем. Сохраняющиеся величины. Статистическая интерпретация волновой функции. Процедура измерения физической величины. Проекционный постулат. Чистые и смешанные состояния. Соотношения неопределённостей. Средние значения импульса и координаты частицы. Соотношение неопределённостей координата

		- импульс. Обобщенные соотношения неопределенностей.
4-6	1.2. Квантовые системы в одном измерении	Квантовые системы в одном измерении. Структура спектра одномерного гамильтониана. Отражение и прохождение волн. Туннельный эффект. Бесконечно высокий потенциальный барьер. Бесконечно глубокая потенциальная яма. Сшивка решений на границе скачка потенциала. Плотность потока вероятности квантовой системы. Общие свойства одномерного уравнения Шредингера. Одномерный гармонический осциллятор. Операторы рождения и уничтожения, их свойства. Спектр гамильтониана гармонического осциллятора и его собственные функции. Полиномы Эрмита и их свойства. Осциллятор и соотношение неопределенностей.
7-10	1.3. Движение в центральном поле	Движение в центральном поле. Гамильтониан частицы в сферических координатах. Оператор момента импульса. Свойства оператора момента и его компонент. Сферические гармоники и их свойства. Радиальное уравнение. Общие свойства решений радиального уравнения. Свободные решения. Сферические функции Бесселя. Сферическая прямоугольная яма. Движение в кулоновском поле. Радиальное решение для кулоновоподобного потенциала. Спектр. Собственные функции и их свойства. Вырождение. Полиномы Лягерра. Классификация уровней атома водорода
11-12	1.4. Теория возмущений в квантовой механике	Стационарная теория возмущений. Возмущение невырожденного уровня. Возмущение вырожденного уровня. Секулярное уравнение. Эффект Штарка.
13-14	1.5. Спин	Атом в магнитном поле. Гамильтониан атома в магнитном поле. Орбитальный магнитный момент атома. Гипотеза спина. Гиромагнитное отношение. Наблюдаемые и волновые функции частицы со спином. Спин 1/2. Матрицы Паули. Сложение двух спинов. Коэффициенты векторного сложения (коэффициенты Клебша-Жордана). Сложение двух спинов 1/2. Эффект Зеемана.
15-16	1.6. Тожественные частицы в квантовой механике	Подобные частицы в квантовой и классической физике. Оператор перестановки частиц. Собственные значения оператора перестановки. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Постулат симметризации. Теорема о связи спина и статистики. Бозоны и статистика Бозе-

		Эйнштейна. Фермионы и статистика Ферми-Дирака. Системы тождественных слабовзаимодействующих частиц. Системы нескольких тождественных фермионов. Определитель Слэтера. Принцип запрета Паули.
1-16	<b>2. Статистическая физика</b>	
1-4	2.1. Начала термодинамики	Основные положения термодинамики. Термодинамическая система, параметры, равновесие. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия, работа, теплота. Температура. Нулевое начало термодинамики. Первое начало термодинамики. Уравнение первого начала. Теплоёмкость, термические параметры. Основные термодинамические (изо-) процессы. Второе начало термодинамики. Второе начало для равновесных процессов. Энтропия. Термодинамическая температура. Вычисление энтропии. Теоремы Карно. Самопроизвольный переход теплоты. Третье начало термодинамики. Формулировка третьего начала термодинамики. Недостижимость абсолютного нуля.
5-8	2.2. Методы термодинамики	Методы термодинамики. Метод циклов. Метод термодинамических потенциалов. Равновесие и устойчивость в термодинамических системах. Термодинамика физических систем. Фазовые переходы и критические явления. Классификация фазовых переходов.
9-12	2.3. Статистические распределения	Микро и макро состояния. Много частичные системы. Уравнение Лиувилля. Классические и квантовые системы. Статистические распределения. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение. Теорема о равно-распределении. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана. Большое каноническое распределение.
13-14	2.4. Квантовая статистика	Квантовые распределения: микроканоническое, каноническое и большое каноническое. Классический предел.
15-16	2.5. Статистическая теория идеальных систем	Классический и квантовый одноатомные газы. Распределение Бозе-Эйнштейна и Ферми - Дирака. Термическое и калорическое уравнения. Вырожденный электронный газ. Вырожденный бозе - газ. Бозе-конденсация. Теплоёмкости двухатомных газов. Теория кристалла в гармоническом приближении.

Практические/семинарские занятия

Неделя	Наименование раздела / темы дисциплины	Содержание
1-16	<b>1. Квантовая механика</b>	
1-3	1.1. Формализм квантовой механики	Операторы в квантовой механике.
4-6	1.2. Квантовые системы в одном измерении	Потенциальная ступенька. Потенциальный колодец с бесконечно высокими стенками. Барьеры. Туннельный эффект. Общие свойства одномерного движения. Одномерный гармонический осциллятор.
7-10	1.3. Движение в центральном поле	Оператор орбитального момента. Коммутационные соотношения для компонент оператора орбитального момента. Сферические гармоники и их свойства. Радиальное уравнение Шредингера. Сферически-симметричная прямоугольная потенциальная яма. Квантово механическая задача Кеплера.
11-12	1.4. Теория возмущений в квантовой механике	Теория возмущений для невырожденного уровня. Теория возмущений для вырожденного уровня. Эффекты Штарка и Зеемана.
13-14	1.5. Спин	Наблюдаемые и волновые функции частицы со спином. Спин $1/2$ . Матрицы Паули. Сложение двух спинов. Коэффициенты векторного сложения (коэффициенты Клебша-Жордана). Сложение двух спинов спинов $1/2$ .
15-16	1.6. Тожественные частицы в квантовой механике	Симметричные и антисимметричные волновые функции. Постулат симметризации. Бозоны и фермионы. Системы тождественных слабо взаимодействующих частиц. Системы нескольких тождественных фермионов. Определитель Слэтера. Принцип запрета Паули. Орто- и пара-гелий.
1-16	<b>2. Статистическая физика</b>	
1-4	2.1. Начала термодинамики	Термодинамическая система, параметры, равновесие. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия, работа, теплота. Температура. Первое начало термодинамики. Уравнение первого начала. Теплоёмкость, термические параметры. Основные термодинамические (изо-) процессы. Второе начало термодинамики. Второе начало для равновесных процессов. Энтропия. Термодинамическая температура. Теоремы Карно. Третье начало термодинамики.
5-8	2.2. Методы термодинамики	Методы термодинамики. Метод циклов. Метод термодинамических потенциалов. Равновесие и устойчивость в термодинамических системах. Термодинамика физических систем. Фазовые переходы и критические явления. Классификация фазовых переходов.

9-12	2.3. Статистические распределения	Микро и макро состояния. Статистические распределения. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение. Теорема о равнораспределении. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана. Большое каноническое распределение.
13-14	2.4. Квантовая статистика	Квантовые распределения: микроканоническое, каноническое и большое каноническое. Классический предел.
15-16	2.5. Статистическая теория идеальных систем	Классический и квантовый одноатомные газы. Распределение Бозе-Эйнштейна и Ферми - Дирака.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Методические указания по организации самостоятельной работы по дисциплине «Теоретическая физика», утверждено на заседании отделения ЯФиТ (протокол № 1 от «25» августа 2023 г.).

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
<b>Текущая аттестация, 6 семестр</b>			
1.	1.1. Формализм квантовой механики	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КР1
2.	1.2. Квантовые системы в одном измерении		
3.	1.3. Движение в центральном поле	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КР2
4.	1.4. Теория возмущений в квантовой механике		
5.	1.5. Спин		
6.	1.6. Тожественные частицы в квантовой механике		
<b>Промежуточная аттестация, 6 семестр</b>			
	Экзамен	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	Экзаменационный билет
<b>Текущая аттестация, 7 семестр</b>			
1.	2.1. Начала термодинамики	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КР3
2.	2.2. Методы термодинамики		

3.	2.3. Статистические распределения	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	КР4
4.	2.4. Квантовая статистика		
5.	2.5. Статистическая теория идеальных систем		
<b>Промежуточная аттестация, 7 семестр</b>			
	Экзамен	3-ПК-3; У-ПК-3; В-ПК-3	Экзаменационный билет

## 8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении «Фонд оценочных средств».

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

– Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.

– Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.

– Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

– Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:

○ контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 8 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 1 по 8 неделю учебного семестра.

○ контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 16 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля аудиторной и самостоятельной работы обучающегося по разделам/темам учебной дисциплины с 9 по 16 неделю учебного семестра.

– Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

### 6 семестр

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
<b>Текущая аттестация</b>	<b>1-16</b>	<b>36 - 60% от максимума</b>	<b>60</b>
<b>Контрольная точка № 1</b>	<b>7-8</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
КР1	8	18	30
<b>Контрольная точка № 2</b>	<b>15-16</b>	<b>18 (60% от 30)</b>	<b>30</b>
КР2	15	18	30
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>-</b>	<b>24 – (60% 40)</b>	<b>40</b>
Экзамен	-		

Вопрос 1	-	12	20
Вопрос 2	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

#### 7 семестр

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл	
		Минимум*	Максимум**
Текущая аттестация	1-16	36 - 60% от максимума	60
Контрольная точка № 1	7-8	18 (60% от 30)	30
КР3	8	18	30
Контрольная точка № 2	15-16	18 (60% от 30)	30
КР4	15	18	30
Промежуточная аттестация	-	24 – (60% 40)	40
Экзамен	-		
Вопрос 1	-	12	20
Вопрос 2	-	12	20
<b>ИТОГО по дисциплине</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

\* - Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается, в противном случае обучающийся должен ликвидировать появившуюся академическую задолженность по текущей или промежуточной аттестации. Минимальное количество баллов за текущую аттестацию, в т.ч. отдельное оценочное средство в ее составе, и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

#### 8.4. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных обучающимся при выполнении заданий в рамках текущей и промежуточной аттестации

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоения учебной дисциплины
90-100	5- «отлично»/ «зачтено»	A	Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы
85-89	4 - «хорошо»/ «зачтено»	B	Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос
75-84		C	
70-74		D	

65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала
60-64	3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»	E	
0-59	2 - «неудовлетворительно»/ «не зачтено»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

## 9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) основная учебная литература:

1. Мултановский В.В., Василевский А.С. Квантовая механика.-М., Дрофа.2007.-400 с.
2. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. Изд-во ЛКИ, 2010.-344с.
3. Матвеев А.Н. Атомная физика.-М., ОНИКС.2007.-432 с.
4. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика.Т.1. Теория равновесных систем. – Изд-во Либроком. 2012.-328с.
5. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика.Т.2. Теория равновесных систем. – Изд-во Либроком. 2012.-436с.
6. Базаров И.П. Термодинамика.-СПб, Лань.2007.-384 с.
7. Парфенов, П. С. Квантовая механика : учебно-методическое пособие / П. С. Парфенов. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2018. — 117 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/136436>.

### б) дополнительная учебная литература:

1. Балашов В.В., Долинов В.К. Курс квантовой механики.-Ижевск, Изд-во РХД, 2001г.-122с.
2. А. Мессиа. Квантовая механика. Т. 1,2.- М., Наука, 1979.
3. Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц.-М., Мир.-1989г.-481 с
4. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика.-М., Наука.-1976.-332 с.
5. Шпольский, Э. В. Атомная физика : учебник : в 2 томах / Э. В. Шпольский. — 8-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021 — Том 1 : Введение в атомную физику — 2021. — 560 с. — ISBN 978-5-8114-1005-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167794>.

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» (ДАЛЕЕ - СЕТЬ «ИНТЕРНЕТ»), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [Электронный ресурс] URL: <http://elibrary.ru> (Дата обращения: 06.07.2024).
2. Электронно-библиотечная система издательство "Лань": [Электронный ресурс] URL: [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com) (Дата обращения: 06.07.2024).
3. Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ": [Электронный ресурс] URL: [www.library.mephi.ru](http://www.library.mephi.ru) (Дата обращения: 06.07.2024).
4. E-learning for Nuclear Newcomers [Электронный ресурс] URL: <https://www.iaea.org/topics/infrastructure-development/e-learning-for-nuclear-newcomers> (Дата обращения: 06.07.2024).

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

При изучении раздела «Квантовая механика» следует иметь в виду, что квантовая механика как дисциплина базируется на системе постулатов, имеющих экспериментальное обоснование, причем у разных авторов эти постулаты могут отличаться. В читаемом курсе используется система из 6 постулатов, близкая к изложенной в книге А. Садбери (для сравнения полезно посмотреть систему постулатов в учебнике П.В. Елютина и В.Д. Кривченкова):

1. Постулат состояний квантовой системы.
2. Постулат наблюдаемых.
3. Постулат Дирака-Швингера (проекционный постулат).
4. Постулат эволюции квантовой системы.
5. Постулат спина.
6. Постулат симметризации.

Особое внимание рекомендуется обратить на основные квантовые эффекты, такие, как квантование ряда физических величин (квантование энергии в задачах о потенциальном колодце с абсолютно непроницаемыми стенками, линейном гармоническом осцилляторе, атоме водорода; квантование орбитального момента и т.д.), вероятностный характер явлений в микромире и явления, не имеющие классических аналогов (туннельный эффект, надбарьерное отражение и т.д.). При решении задач, посвященных конкретным квантовым системам, следует иметь в виду, что система СИ в квантовой физике малоупотребительна – как правило, используется система СГС. Кроме того, при вычислениях полезно не подставлять в формулы величины мировых постоянных непосредственно, а использовать известные комбинации этих постоянных, например, таких, как произведение  $\hbar c$ . Поскольку заметную часть квантовой механики составляет ее математический аппарат, полезно повторить или дополнительно изучить классические ортогональные полиномы (в квантовой механике используются полиномы Эрмита, Лежандра и Лягерра), дифференциальные и интегральные уравнения и операторные формы записи этих уравнений.

При изучении раздела «Статистическая физика» особое внимание рекомендуется уделить различным формулировкам начал термодинамики, их применению к описанию свойств термодинамических систем и свойствам функций распределения и связи между термодинамическим и статистическим описаниями термодинамических систем.

## **12. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)**

Использование информационных технологий при осуществлении образовательного процесса по дисциплине осуществляется в соответствии с утвержденным Положением об Электронной информационно-образовательной среде ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

Электронная система управления обучением (LMS) используется для реализации образовательных программ при очном, дистанционном и смешанном режиме обучения. Система реализует следующие основные функции:

- 1) Создание и управление классами,
- 2) Создание курсов,
- 3) Организация записи учащихся на курс,
- 4) Предоставление доступа к учебным материалам для учащихся,
- 5) Публикация заданий для учеников,
- 6) Оценка заданий учащихся, проведение тестов и отслеживание прогресса обучения,
- 7) Организация взаимодействия участников образовательного процесса.

Система интегрируется с дополнительными сервисами, обеспечивающими возможность использования таких функций как рабочий календарь, видео связь, многопользовательское редактирование документов, создание форм опросников, интерактивная доска для рисования. Авторизация пользователей в системе осуществляется посредством корпоративных аккаунтов, привязанных к домену oiate.ru.

### ***12.1. Перечень информационных технологий***

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- проведение лекций и практических занятий с использованием слайд-презентаций;
- Интерактивное общение с помощью программы skype;
- организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты и ЭИОС.

### ***12.2. Перечень программного обеспечения***

- Программы для демонстрации и создания презентаций («Microsoft Power Point»).

### ***12.3. Перечень информационных справочных систем***

Доступ к электронным библиотечным ресурсам и электронной библиотечной системе (ЭБС) осуществляется посредством специальных разделов на официальном сайте ИАТЭ НИЯУ МИФИ. Обеспечен доступ к электронным каталогам библиотеки ИАТЭ НИЯУ МИФИ, а также электронным образовательным ресурсам (ЭИОС), сформированным на основании прямых договоров с правообладателями учебной и учебно-методической литературы, методических пособий:

- 1) Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ, [http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&Z21ID=&P21DBN=BOOK](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=BOOK&Z21ID=&P21DBN=BOOK);
- 2) ЭБС «Издательства Лань», <https://e.lanbook.com/>;
- 3) Электронно-библиотечная система BOOK.ru, <https://.book.ru>;
- 4) Базы данных «Электронно-библиотечная система elibrary» (ЭБС elibrary), <https://elibrary.ru>;
- 5) Базовая версия ЭБС IPRbooks, <https://.iprbooks.ru>;
- 6) Базы данных «Электронная библиотека технического ВУЗа» <https://.studentlibrary.ru>;
- 7) Электронно-библиотечная система «Айбукс.py/ibooks.ru», <https://ibooks.ru/home.php?routine=bookshelf>;
- 8) Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ», <https://urait.ru/>.

## **13. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Лекционные и практические занятия:

Учебная аудитория на 10 мест с мультимедийным оборудованием, программное обеспечение для компьютерных презентаций. Доска.

## 14. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И (ИЛИ) МАТЕРИАЛЫ

### 14.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Для достижения планируемых результатов при изучении дисциплины используются следующие образовательные технологии:

1. Информационно-развивающие технологии:

- использование Интернет-ресурсов и ресурсов электронных библиотек.

2. Развивающие проблемно-ориентированные технологии:

- проблемные лекции и семинары;

- «работа в команде» - совместная деятельность под руководством лидера, направленная на решение общей поставленной задачи;

- «междисциплинарное обучение» - использование знаний из разных областей, группируемых и концентрируемых в контексте конкретно решаемой задачи.

3. Личностно-ориентированные технологии обучения:

- консультации;

- «индивидуальное обучение» - выстраивание для студента собственной образовательной траектории с учетом интереса и предпочтения студента.

	Наименование темы дисциплины	Вид занятий (лекция, семинары, практические занятия)	Количество ак. ч.	Наименование активных и интерактивных форм проведения занятий
1.	Квантовые системы в одном измерении. Линейный гармонический осциллятор	Лекция	2 час.	Проблемная лекция
2.	Движение в центральном поле. Сферические гармоники и их свойства	Лекция	2 час.	Проблемная лекция
4.	Спин. Атом в магнитном поле	Лекция	2 час.	Проблемная лекция
5.	Квантовая механика. Тесты по курсу	Практические занятия	3 час.	Групповое обсуждение (разбор тестовых заданий)
6.	Начала термодинамики. Второе начало термодинамики. Энтропия	Лекция	2 час.	Проблемная лекция
8.	Методы термодинамики. Термодинамические потенциалы	Лекция	2 час.	Проблемная лекция

10.	Статистические распределения. Микроканоническое распределение	Лекция	2 час.	Проблемная лекция
11.	Квантовые распределения. Квантовая статистика.	Практические занятия	2 час.	Групповое обсуждение

**14.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)**

### Темы для самостоятельного изучения

#### Раздел «Квантовая механика»

Постулаты квантовой механики. Операторы в квантовой механике.  
Связь решений нестационарного и стационарного уравнений Шредингера.  
Квантовые системы в одном измерении. Барьеры. Общие свойства решений одномерного уравнения Шредингера Одномерный гармонический осциллятор. Полиномы Эрмита. Метод Фока.  
Радиальные уравнения Шредингера. Граничные условия в начале координат и на бесконечности. Задача об уровнях частицы в сферически-симметричной прямоугольной потенциальной яме.  
Движение в кулоновском поле. Атом водорода. Волновые функции водородоподобных систем. Полиномы Лягерра. Спин. Спиноры. Сложение спинов.  
Стационарная теория возмущений. Эффект Штарка и эффект Зеемана.  
Тождественные частицы в квантовой механике. Теорема о связи спина и статистики. Определитель Слетера. Орто- и парагелий.

#### Раздел «Статистическая физика»

Начала термодинамики. Температура.  
Энтропия и ее свойства. Энтропия идеального газа.  
Термодинамические циклы. Цикл Карно и его свойства.  
Термодинамические потенциалы. Применение термодинамических потенциалов. Условия равновесия в термодинамических системах. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.  
Микроканоническое и каноническое распределения Гиббса. Большое каноническое распределение Гиббса. Распределение Максвелла-Больцмана. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.  
Применение распределений к описанию конкретных термодинамических систем.

### Вопросы для самоконтроля

#### Раздел «Квантовая механика»

1. Сформулируйте постулаты квантовой механики.
2. В чем заключается вероятностная интерпретация волновой функции?
3. Дайте определение наблюдаемых в квантовой механике.
4. Как записываются квантовые уравнения движения для наблюдаемой  $A$ ?
5. Запишите уравнения Эренфеста.
6. Что такое квантовомеханическая плотность потока вероятности? Дайте интерпретацию этого понятия.
7. Что такое «туннельный эффект»? Чему равен коэффициент прохождения прямоугольного потенциального барьера?

8. Как записывается приближенное выражение для коэффициента прохождения потенциального барьера произвольной формы?
9. Что такое надбарьерное отражение?
10. Сформулируйте общие свойства решений одномерного уравнения Шредингера на примере коэффициентов отражения и прохождения.
11. Как устроен спектр линейного гармонического осциллятора?
12. Как определяется момент импульса (орбитальный момент) квантовой частицы? Как записываются коммутационные соотношения для компонент оператора орбитального момента?
13. Сферические гармоники и их свойства. Какому уравнению удовлетворяют сферические гармоники? Полиномы Лежандра и их связь с сферическими гармониками с магнитным квантовым числом, равным нулю.
14. Движение в центральном потенциале. Какими квантовыми числами характеризуется такое движение?
15. Радиальное уравнение Шредингера. Радиальная волновая функция. Как ведут себя радиальные волновые функции в начале координат?
16. Как устроен спектр водородоподобных систем в нерелятивистском приближении? Что такое «атомная единица энергии» и как она выражается через мировые постоянные? Как выражается через мировые постоянные первый борковский радиус атома водорода?
17. Что такое «спин»? Как строится нерелятивистская теория спина В. Паули?
18. Как определяется понятие «полный спин»? Что такое коэффициенты векторного сложения?
19. Как устроены спиновые волновые функции системы двух частиц со спином  $\frac{1}{2}$ ?
20. Сформулируйте постулат симметризации. Что такое «полностью симметричная» и «полностью антисимметричная» волновая функция? Приведите соответствующие примеры.
21. Чему равен нормировочный множитель у волновой функции, задаваемой определителем Слетера?
22. Как формулируется принцип Паули? Почему его иногда называют принципом запрета Паули?

## Раздел «Статистическая физика»

1. Сформулируйте начала термодинамики. Зачем три начала термодинамики были дополнены четвертым - «нулевым» началом?
2. Дайте определение температуры термодинамической системы.
3. Дайте определение квазистатических (равновесных) процессов.
3. В чем состоят принцип максимальной работы и принцип максимального поглощения теплоты?
4. Дайте определение термодинамических потенциалов (свободная энергия, энтальпия, потенциал Гиббса, большой термодинамический потенциал).
5. Дайте определение энтропии и сформулируйте ее свойства в равновесных и неравновесных процессах.
6. Дайте определение тепловой машины (теплового двигателя).
7. Циклические процессы, к.п.д. циклического процесса, цикл Карно, коэффициент полезного действия цикла Карно, теоремы Карно.
8. Что означает недостижимость абсолютного нуля температур?
9. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
10. Функции распределения и их свойства.
11. Распределения Гиббса (микроканоническое, каноническое, большое каноническое).
12. Распределение Максвелла и распределение Больцмана.
13. Статистическая сумма и статистический вес.
14. Квантовые распределения. Фермионы и бозоны. Статистика Ферми-Дирака и статистика Бозе-Эйнштейна.

### Типовые задания для самопроверки

1. Для основного состояния линейного гармонического осциллятора вычислите поправку 1-го порядка к энергии за счет возмущения  $\hat{W} = \varepsilon W_0 x^4$ .

2. Для состояния линейного гармонического осциллятора с номером  $n$  вычислите поправку первого порядка к энергии за счет возмущения  $\hat{W} = \varepsilon W_1 x + \varepsilon W_2 x^2 + \varepsilon W_3 x^3$ , где  $W_{1,2,3}$  - некоторые коэффициенты.

3. Спиновая волновая функция электрона есть спинор вида  $N \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix}$ , где  $N$  - нормировочный множитель,  $i$  - мнимая единица. С какой вероятностью проекция спина электрона на ось квантования равна  $+\frac{1}{2}$ ?

4. Спиновая волновая функция электрона есть спинор вида  $N \begin{pmatrix} 3 \\ -4 \end{pmatrix}$ , где  $N$  - нормировочный множитель. С какой вероятностью проекция спина электрона на ось квантования равна  $+\frac{1}{2}$ ?

5. Электрон в атоме находится в состоянии с волновой функцией  $\Psi(\vec{r}) = N e^{-\alpha r} \sin \theta e^{i\varphi}$ , где  $(r, \theta, \varphi)$  - сферические координаты. Чему равна чётность этого состояния?

A.  $\pi = +1$

B.  $\pi = -1$

C.  $\pi = +1$  с вероятностью  $\frac{1}{2}$  и с такой же вероятностью  $\pi = -1$ .

6. Энергия некоторого состояния иона  $He^{++}$  совпадает с энергией основного состояния атома водорода. Какое значение может принимать в этом состоянии орбитальный момент электрона?

1.  $l = 0$

2.  $l = 1$

3.  $l = 0, 1$

4.  $l = 2$

5.  $l = 0, 1, 2$

7. Сферическая гармоника для  $l=2, m=2$  имеет вид  $Y_{22}(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{15}{32\pi}} \sin^2 \theta e^{2i\varphi}$ . Пользуясь явным

видом понижающего оператора  $\hat{l}_-$ , найдите сферическую гармонику с  $l=2, m=1$ . Какова четность построенной сферической гармоники?

8. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найти ширину ямы если разность энергий уровней с  $n_2=4$  и  $n_1=2$  составляет  $\Delta E = 0,12 \text{ эВ}$ . Масса электрона  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ ,  $c = 0,511 \text{ МэВ}/c^2$ ,  $\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с}$ ,  $c = 0,659 \cdot 10^{15} \text{ эВ с}$ ,  $\hbar c = 197,3 \text{ МэВ} \cdot \text{Фм}$ .

9. В условиях предыдущей задачи найти для указанных уровней средние значения квадратов координаты и импульса. Считать, что яма расположена симметрично относительно начала координат, т.е.  $V(x) = V(-x)$ .

10. При каких энергиях  $\alpha$ -частицы коэффициент надбарьерного отражения от прямоугольного потенциального барьера высотой  $10 \text{ МэВ}$  и шириной  $1 \text{ Фм}$  равен 0? Масса  $\alpha$ -частицы  $4 \text{ а.е.м.}$ ,  $1 \text{ а.е.м.}$  равна  $931,5 \text{ МэВ}/c^2$ .

### 14.3. Краткий терминологический словарь

#### Раздел «Квантовая механика»

Волновая функция, вероятностная интерпретация волновой функции, постулаты квантовой механики, наблюдаемые в квантовой механике, уравнение Шредингера, квантовые уравнения движения, квантовые законы сохранения, уравнения Эренфеста, квантовомеханическая плотность потока вероятности, барьеры, надбарьерное отражение, туннельный эффект, линейный гармонический осциллятор, орбитальный момент частицы, коммутационные соотношения для компонент оператора орбитального момента, законы сохранения при движении в центральном силовом поле, сферические гармоники, радиальное уравнение Шредингера, регулярные и нерегулярные решения, квантовомеханическая задача Кеплера, уровни энергии водородоподобных систем, квантовомеханическая теория возмущений, эффект Штарка, спин, сложение спинов, коэффициенты векторного сложения, эффект Зеемана, тождественные частицы, фермионы и бозоны, статистики Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна, определитель Слетера, принцип Паули, орто- и парагелий.

### **Раздел «Статистическая физика»**

Термодинамическая система, макроскопические и микроскопические параметры, термодинамическое равновесие, «нулевой» закон термодинамики, процессы, квазистатистические (равновесные) процессы, работа, внутренняя энергия, принцип максимальной работы, теплота, принцип максимального поглощения теплоты, первое начало термодинамики, циклические процессы, цикл Карно, коэффициент полезного действия цикла Карно, теоремы Карно, второе начало термодинамики, третье начало термодинамики, недостижимость абсолютного нуля, термодинамические потенциалы (энергия, свободная энергия, энтропия, энтальпия, потенциал Гиббса, большой термодинамический потенциал), фазовые переходы первого рода, уравнение Клапейрона-Клаузиуса, фазовые переходы второго рода, микро-каноническое распределение Гиббса, эргодическая гипотеза, каноническое распределение Гиббса, большое каноническое распределение Гиббса, статистическая сумма и статистический вес, распределение Максвелла и распределение Больцмана, статистика Ферми-Дирака и статистика Бозе-Эйнштейна.

## **15. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. № АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации обучающихся с ОВЗ с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом индивидуальных психофизических особенностей, а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида.

**Для лиц с нарушением слуха** возможно предоставление информации визуально (краткий конспект лекций, основная и дополнительная литература), на лекционных и практических занятиях допускается присутствие ассистента, а так же, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний обучающихся на практических занятиях осуществляется на основе письменных конспектов ответов на вопросы, письменно выполненных практических заданий.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т.д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

С учетом состояния здоровья просмотр кинофильма с последующим анализом может быть проведен дома (например, при необходимости дополнительной звукоусиливающей аппаратуры (наушники)). В таком случае обучающийся предоставляет письменный анализ, соответствующий предъявляемым требованиям.

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями слуха проводится в письменной форме, при этом используются общие критерии оценивания. При необходимости, время

подготовки на зачете может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации (например, с использованием программ-синтезаторов речи), а так же использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь. Оценка знаний, обучающихся на практических занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межэтнического взаимодействия (на основе опыта респондента, художественной литературы и т.д.), позволяющим оценить степень сформированности навыков владения методами анализа и выявления специфики функционирования и развития психики, позволяющими учитывать влияние этнических факторов. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование по вопросам.

Лица с нарушениями опорно-двигательного аппарата не нуждаются в особых формах предоставления учебных материалов. Однако, с учетом состояния здоровья часть занятий может быть реализована дистанционно (при помощи сети «Интернет»). Так, при невозможности посещения лекционного занятия обучающийся может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия обучающийся должен предоставить письменный конспект ответов на вопросы, письменно выполненное практическое задание.

Доклад так же может быть предоставлен в письменной форме (в виде реферата), при этом требования к содержанию остаются теми же, а требования к качеству изложения материала (понятность, качество речи, взаимодействие с аудиторией и т.д.) заменяются на соответствующие требования, предъявляемые к письменным работам (качество оформления текста и списка литературы, грамотность, наличие иллюстрационных материалов и т.д.).

Промежуточная аттестация для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата проводится на общих основаниях, при необходимости процедура зачета может быть реализована дистанционно (например, при помощи программы Skype).

Для этого по договоренности с преподавателем обучающийся в определенное время выходит на связь для проведения процедуры зачета. В таком случае зачет сдается в виде собеседования по вопросам (см. формы проведения промежуточной аттестации для лиц с нарушениями зрения). Вопрос и практическое задание выбираются самим преподавателем.

Примечание: Фонды оценочных средств, включающие типовые задания и методы оценки, критерии оценивания, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины обучающимися с ОВЗ могут входить в состав РПД на правах отдельного документа.

#### **Программу составил:**

\_\_\_\_\_ В.Л. Шаблов, д.ф.-м.н., профессор отд. ЯФиТ

#### **Рецензент:**

\_\_\_\_\_ А.Г. Юферов, к.ф.-м.н., доцент отд. ЯФиТ