

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

План одобрен
Ученым советом ИАТЭ НИЯУ МИФИ
Протокол № 25.8 от 25.08.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая механика и статистическая физика

название дисциплины

Специальность

14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

Образовательная программа

Ядерные реакторы

Шифр, название специализации

Форма обучения: очная

г. Обнинск

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель изучения дисциплины:

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

Задачи изучения дисциплины:

введение в статистическую физику неравновесных процессов, для описания которых используются функции распределения и уравнения, которым эти функции удовлетворяют – кинетические уравнения, в том числе в задачах физики плазмы и теории переноса нейтронов.

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

Дисциплина реализуется в рамках профессионального модуля.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: Общая физика, Атомная физика, Математика, Введение в ядерную физику, Ядерная и нейтронная физика, Введение в математический аппарат квантовой механики.

Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Взаимодействия частиц, Введение в квантовую теорию рассеяния и ее приложения к ядерной физике, производственная и преддипломные практики, научно-исследовательская работа, выпускная квалификационная работа.

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

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

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

Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-1	Способен создавать теоретические и математические модели, описывающие нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и тепломассопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов	З-ПК-1 Знать нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и тепломассопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов У-ПК-1 Уметь создавать теоретические и математические модели в профессиональной области В-ПК-1 Владеть навыками работы с современными расчетными программными средствами

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Интеллектуальное воспитание	- формирование культуры умственного труда (B11)	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.
Профессиональное воспитание	- формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)	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.
	- формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	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.
	- формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	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.
	- формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20); - формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21); - формирование творческого инженерного мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (B22)	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 эмоциональными свойствами членов проектной группы.
	- формирование культуры информационной безопасности (B23)	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.
	- формирование культуры ядерной и радиационной безопасности (B24); - 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 (B25);	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. 2. Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Экология», «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Ядерные технологии», «Радиационная гигиена», «Атомное право», «Радиационная и экологическая безопасность объектов ЯТЦ» для формирования личной

	- формирование ответственной позиции по применению ядерных технологий в свете сохранения окружающей среды для будущих поколений (B26)	ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами. 3. Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Информатика», «Принципы обеспечения безопасности АЭС», «Принципы обеспечения безопасности эксплуатации АЭС», «Критерии безопасности и оценки риска», «Ядерные технологии и экология топливного цикла», «Информационные и компьютерные технологии», «Физические основы получения информации», «Информационная безопасность», «Автоматизированная система управления технологическим процессом АЭС», «Системы управления и защиты ядерных энергетических установок» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов. 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
--	---	---

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	Форма обучения						
	Очная				Заочная		
	Курс, семестр				Курс, семестр		
	III курс, 6 семестр	IV курс, 7 семестр		Все-го	№ _	№ _	Все го
	Количество часов на вид работы:						
Контактная работа обучающихся с преподавателем							
Аудиторные занятия (всего)	48	32		80			
В том числе:							
<i>лекции</i>	16	16		32			
<i>практические занятия</i>	32	16		48			
<i>лабораторные занятия</i>							
Промежуточная аттестация							
В том числе:							
<i>зачет</i>	+	-					
<i>экзамен</i>	-	36		36			
Самостоятельная работа обучающихся	24	40		64			
Всего (часы):	72	108		180			
Всего (зачетные единицы):	2	3		5			

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)

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебной работы в часах									
		Очная форма обучения					Заочная форма обучения				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО	Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
1.	Квантовая механика										
1.1.	Формализм квантовой механики	2	8			4					
1.2.	Квантовые системы в одном измерении	4	10			4					
1.3.	Движение в центральном поле.	4	8			4					
1.4.	Теория возмущений в квантовой механике	2	2			4					
1.5.	Спин	2	2			4					
1.6.	Тождественные частицы в квантовой механике	2	2			4					
	Итого за 6 семестр:	16	32			24					
2.	Статистическая физика										
2.1.	Начала термодинамики	4	6			10					
2.2.	Методы термодинамики	4	8			10					
2.3.	Статистические распределения	4	6			10					
2.4.	Квантовая статистика	2	6			5					
2.5.	Статистическая теория идеальных систем	2	6			5					
	Итого за 7 семестр:	16	32			40					
	Всего:	32	64			100					

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

6.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Квантовая механика	
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 неопределенностей координата - импульс. Обобщенные соотношения неопределенностей.
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 неопределённостей.
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
1.4.	Теория возмущений в квантовой механике	Стационарная теория возмущений. Возмущение невырожденного уровня. Возмущение вырожденного уровня. Секулярное уравнение. Эффект Штарка.
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.
1.6.	Тождественные 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 слабо взаимодействующих частиц. Системы нескольких тождественных фермионов. Определитель Слэтера. Принцип запрета Паули.
2.	Статистическая физика	
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.
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.
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 равнораспределении. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана. Большое каноническое распределение.
2.4.	Квантовая статистика	Квантовые распределения: микроканоническое, каноническое и большое каноническое. Классический предел.
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

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	Квантовая механика	

1.1.	Формализм квантовой механики	Операторы в квантовой механике.
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.
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. Квантовомеханическая задача Кеплера.
1.4.	Теория возмущений в квантовой механике	Теория возмущений для невырожденного уровня. Теория возмущений для вырожденного уровня. Эффекты Штарка и Зеемана.
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 $1/2$.
1.6.	Тождественные 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.
2.	Статистическая физика	
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.
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.
2.3.	Статистические распределения	Микро и макро состояния. Статистические распределения. Микроканоническое распределение. Каноническое распределение. Теорема о равномерном распределении. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана. Большое каноническое распределение.
2.4.	Квантовая статистика	Квантовые распределения: микроканоническое, каноническое и большое каноническое. Классический предел.

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

а) основная литература:

1. Мултановский В.В., Василевский А.С. Квантовая механика. -М., Дрофа. 2007. -400 с. ЧЗ(2), ХР (48).

2. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т.1. Теория равно-весных систем. – Изд-во Либроком. 2012.-328с. ЧЗ(1), ХР(6).
3. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т.2. Теория равно-весных систем. – Изд-во Либроком. 2012.-436с. ЧЗ(1), ХР(6).
4. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. Изд-во ЛКИ, 2010.-344с. ЧЗ(3), ХР(8).
5. Базаров И.П. Термодинамика.-СПб, Лань.2007.-384 с. ЧЗ(2), ХР(8).

б)дополнительная литература

1. Балашов В.В., Долинов В.К. Курс квантовой механики.-Ижевск, Изд-во РХД, 2001г.-122с.(ЧЗ(2) ХР(21)).
2. А. Мессиа. Квантовая механика. Т. 1,2.- М., Наука, 1979. – ЧЗ(2), ХР(4).
3. Матвеев А.Н. Атомная физика.-М., ОНИКС.2007.-432 с. ЧЗ(2), ХР(3).

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

8.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
Текущий контроль, 6 семестр			
1.	Квантовые системы в одном измерении	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Контрольная работа
2.	Движение в центральном поле. Теория возмущений. Спин.	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Контрольная работа
Промежуточный контроль, 6 семестр			
	Зачет	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Билеты к зачету
Всего:			
Текущий контроль, 7 семестр			
1.	Начала термодинамики. Энтропия. Термодинамические потенциалы. Термодинамические циклы.	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Контрольная работа
2.	Распределения Максвелла и Больцмана	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Контрольная работа
Промежуточный контроль, 7 семестр			
	Экзамен	З-ПК-1; У-ПК-1; В-ПК-1	Экзаменационные билеты
Всего:			

8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

8.2.1. Экзамен или зачет

а) типовые вопросы (задания):

Вопросы к зачету. Раздел «Квантовая механика»(6 семестр)

1. Наблюдаемые в квантовой механике. Операторы наблюдаемых. Измерение физических величин в квантовой механике.
2. Эволюция квантовой системы. Уравнение Шредингера. Построение гамильтониана квантовой системы по принципу соответствия.

3. Уравнения движения в квантовой механике. Сохраняющиеся величины в квантовой механике.
4. Уравнения Эренфеста.
5. Измерения в квантовой механике. Совместные и несовместные наблюдаемые.
6. Обобщенное соотношение неопределенностей. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
7. Вероятностная интерпретация волновой функции. Квантовомеханический поток. Квантовомеханическое уравнение непрерывности.
8. Уравнение Шредингера. Стационарное и нестационарное уравнения Шредингера.
9. Квантовые системы в одном измерении. Барьеры. Коэффициенты отражения и прохождения.
10. Туннельный эффект.
11. Одномерный квантовый гармонический осциллятор.
12. Движение в центральном поле. Момент импульса квантовой частицы. Свойства операторов квадрата момента и его компонент.
13. Сферические гармоники и их свойства.
14. Движение в центральном поле. Радиальное уравнение Шредингера. Граничные условия для решений радиального уравнения.
15. Стационарная теория возмущений. Возмущение невырожденного уровня.
16. Спин. Оператор спина.
17. Сложение спинов. Коэффициенты векторного сложения.
18. Тожественные частицы в квантовой механике. Постулат симметризации. Фермионы и бозоны.
19. Определитель Слэтера.
20. Постулаты квантовой механики.

Вопросы к экзамену. Раздел «Статистическая физика» (7 семестр)

1. Термодинамическая система. Макроскопические и микроскопические параметры. Первоначальные представления о средних по времени и средних по ансамблю. Требования к термодинамическим системам.
2. Термодинамическое равновесие. «Нулевой» закон термодинамики. Термодинамическая транзитивность. Эмпирическая температура. Газовый термометр.
3. Задание термодинамической системы и ее состояния. Адиабатически изолированная система. Система в термостате. Система с воображаемыми стенками. Система под поршнем. Несущественность граничных условий. «Внешние» и «внутренние» параметры.
4. Реакция системы на внешнее воздействие. Процессы. Квазистатические (равновесные) процессы. Работа. Примеры – работа идеального газа. Принцип максимальной работы. Теплота. Принцип максимального поглощения теплоты.
5. Первое начало термодинамики. Однозначность внутренней энергии. Преобразование механической работы в теплоту и теплоты в механическую работу. Теплоемкости и скрытые теплоты. Калорическое уравнение состояния.
6. Циклические процессы. Цикл Карно. Работа в циклическом процессе. Тепловая машина. Холодильная машина. Коэффициент полезного действия цикла Карно. Теоремы Карно.
7. Второе начало термодинамики, его различные формулировки для равновесной термодинамической системы, их эквивалентность.
8. Третье начало термодинамики. Поведение калорических величин вблизи абсолютного нуля. Недостижимость абсолютного нуля.
9. Вычисление энтропии идеального газа. Выражение для химического потенциала, теплоемкости процессов, теплового эффекта.
10. Метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы - характеристические функции. Энергия, свободная энергия, энтальпия, потенциал Гиббса, большой термодинамический потенциал. Энтропия как термодинамический потенциал.
11. Получение уравнений состояния из термодинамических потенциалов. Аддитивные свойства термодинамических потенциалов. Проблемы перевода одних переменных в другие.
12. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы

второго рода. Фазовые переходы λ - типа.

13. Представление чисел заполнения. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.

14. Микроканоническое распределение Гиббса. Эргодическая гипотеза.

15. Связь статистического веса с термодинамическими характеристиками равновесной системы. Асимптотика статистического веса.

16. Каноническое распределение Гиббса. Связь с термодинамическим описанием системы.

17. Большое каноническое распределение Гиббса.

18. Статистическая

сумма и статистический вес.

19. Распределение

Максвелла и распределение Больцмана.

20. Каноническое распределение по микросостояниям и распределение по энергиям.

21. Статистический интеграл для идеального классического газа.

22. Каноническая и большая каноническая статсуммы в представлении чисел заполнения

23. Принцип тождественности частиц и числа заполнения Бозе-систем и Ферми-систем

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Критерии оценивания знаний и умений студента по результатам изучения учебной дисциплины (на экзамене):

Оценка «отлично» - за глубокие знания учебного материала, содержащегося в основных и дополнительных рекомендуемых литературных источниках, умение четко и безошибочно (практически безошибочно) анализировать явления и проблемы; логично и последовательно отвечать на поставленные вопросы, умение применять теоретические положения при решении практических задач.

Оценка «хорошо» - за

прочные знания учебного материала; аргументированные ответы на поставленные вопросы, которые, однако, содержат определенные (несущественные) неточности, умение применять теоретические положения при решении практических задач.

Оценка «удовлетворительно» - за посредственные знания учебного материала, слабо аргументированные ответы, слабое применение теоретических положений при решении практических задач.

Оценка «неудовлетворительно» - за незнание значительной части учебного материала, существенные ошибки в ответах на вопросы, неумение ориентироваться при решении практических задач, незнание основных фундаментальных положений изучаемой дисциплины.

в) описание шкалы оценивания:

Оценка «отлично» - 90-100 баллов

Оценка «хорошо» - 75-89 баллов

Оценка «удовлетворительно» - 60-74 баллов

Оценка «неудовлетворительно» - меньше 59 баллов

8.2.2. Контрольные работы

Контрольная работа «Квантовые системы в одном измерении»

а) типовые задания (вопросы) - образец:

Вариант 1.

1. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Найти ширину ямы, если разность энергий уровней с $n_2=3$ и $n_1=2$ составляет $\Delta E = 0,3 \text{ эВ}$. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, $\hbar c = 0,197 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{м}$, $\hbar c = 197,3 \text{ эВ} \cdot \text{нм}$.

- В условиях предыдущей задачи найти для указанных уровней средние значения координаты и импульса. Считать, что яма расположена симметрично относительно начала координат, т.е. $V(x) = V(-x)$.
- При каких энергиях электрона коэффициент надбарьерного отражения от прямо-угольного потенциального барьера высотой 10 эВ и шириной 1 нм равен 0 ?

Вариант 2.

- Электрон находится в прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Энергия первого возбужденного состояния равна $0,4 \text{ эВ}$. Чему равна энергия второго возбужденного состояния? Чему равна ширина ямы? Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 0,511 \text{ МэВ}/c^2$, $\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, $c = 0,659 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$, $\hbar c = 197,3 \text{ МэВ} \cdot \text{Фм}$.
- Частица находится в состоянии $\psi(x) = N \exp(-\frac{x^2}{a^2} + ikx)$, где a и k – заданные постоянные. Чему равны средние значения координаты, импульса и кинетической энергии в этом состоянии?
- Какая доля электронов с энергией 1 эВ пройдет через прямоугольный потенциальный барьер высотой 8 эВ и шириной $0,5 \text{ нм}$?

Контрольная работа «Движение в центральном поле. Теория возмущений»

- Найдите уровни энергии и волновые функции трехмерного гармонического осциллятора, гамильтониан которого имеет вид $\hat{H} = \hat{H}_x + \hat{H}_y + \hat{H}_z$, где $\hat{H}_x = \frac{\hat{p}_x^2}{2m} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$, аналогично для $\hat{H}_y$ и $\hat{H}_z$. Какова кратность вырождения второго возбужденного состояния?
Указание: воспользуйтесь методом разделения переменных.
- Как изменится энергия основного состояния атома водорода при включении дополнительного малого взаимодействия между протоном и электроном вида $W(r) = -\frac{\alpha e^2}{r}$?
Получите ответ двумя способами: путем точного решения и по теории возмущений.
- Чему равно наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии $2p$? Заряд ядра Z . Система предполагается водородоподобной.

Вариант 2.

- Как изменится энергия основного состояния атома водорода при включении дополнительного малого взаимодействия между протоном и электроном вида $W(r) = kr^2$?
- Чему равно наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии $2s$? Заряд ядра Z . Система предполагается водородоподобной.
- Найдите уровни энергии и волновые функции двумерного гармонического осциллятора, гамильтониан которого имеет вид $\hat{H} = \hat{H}_x + \hat{H}_y$, где $\hat{H}_x = \frac{\hat{p}_x^2}{2m} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$, аналогично для $\hat{H}_y$. Какова кратность вырождения первого возбужденного состояния?

Указание: воспользуйтесь методом разделения переменных.

Контрольная работа «Начала термодинамики. Энтропия. Термодинамические потенциалы. Термодинамические циклы».

1. Вычислить свободную энергию F , энтропию S и энтальпию H для одного литра гелия при температуре 1500К и давлении 1 мбар.

Ответ: $F = -2,46$ Дж, $S = 0,0017$ Дж/К, $H = 0,25$ Дж.

2. Два одинаковых теплоизолированных сосуда, соединенные краном с трубкой, содержат по одному молю одного и того же газа. Температура газа в одном сосуде T_1 , в другом T_2 . Молярная теплоемкость газа C_V известна. После открывания крана газ пришел в новое состояние равновесия. Чему равно приращение энтропии газа?

Ответ: $S_2 - S_1 = C_V \ln(T_1 + T_2)^2 / 4T_1 T_2 > 0$.

3. Чему равен к.п.д. цикла, состоящего из двух изобар и двух адиабат, если в пределах цикла давление изменяется в n раз. Рабочее вещество – идеальный газ с показателем адиабаты

Контрольная работа «Распределения Максвелла и Больцмана»

1. Найти функцию распределения молекул идеального газа по кинетическим энергиям и наиболее вероятное значение кинетической энергии молекулы.

Ответ: $f(E) = A E^{1/2} \exp(-E/kT)$, $E_{\text{вер.}} = kT/2$.

2. Гелий находится в очень высоком сосуде в однородном поле силы тяжести при температуре T . Температуру увеличили в n раз. На какой высоте h концентрация молекул не изменится?

Ответ: $h = (kT/mg) \ln n / (n - 1)$.

3. Найти массу моля коллоидных частиц, если при вращении центрифуги с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси концентрация этих частиц на расстоянии r_1 от оси вращения в n раз больше, чем на расстоянии r_2 . Плотности частиц и растворителя равны ρ и ρ_0 соответственно.

Ответ: $M = 2RT \rho \ln n / (\rho - \rho_0)(r_1^2 - r_2^2) \omega^2$.

Контрольная работа «Стохастические процессы. Основное кинетическое уравнение».

1. Пусть αdt – вероятность того, что молекула испытает столкновение в течение времени dt . Найти:

а) вероятность того, что молекула не испытает столкновений в течение времени t ;

б) среднее время между столкновениями.

Ответ: $P = \exp(-\alpha t)$; $t_{cp} = 1/\alpha$.

2. В цилиндрический сосуд высотой $H = 2$ м налит раствор сахара при температуре 20°C. На дне сосуда концентрация составляет 200 г/л. Она убывает с высотой по экспоненциальному закону и достигает у поверхности 0,1 г/л. Из-за изменения концентрации возникает направленный от дна поток, равный $j_m = 101$ мг/ч. Вычислить по этим данным коэффициент диффузии молекул сахара. Относительную молярную массу сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$ принять равной 132. Столкновениями между молекулами сахара пренебречь.

Ответ: $D = -j_m / m A N_0 c = 3,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, где $c = (1/H) \ln N_0 / N = 38 \text{ м}^{-1}$.

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Оценка «отлично» - задания контрольной работы выполнены более чем на 80%, продемонстрировано уверенное знание теоретических положений, допустимо наличие в решениях несущественных неточностей. **Оценка «хорошо»** - задания контрольной работы выполнены более чем на 2/3, при этом продемонстрированы прочные знания учебного материала, однако, решения содержат определенные (несущественные) неточности. **Оценка «удовлетворительно»** - задания контрольной работы выполнены более чем на 50%, знание учебного материала-посредственное. **Оценка «неудовлетворительно»**- решено менее 50% заданий, в решении задач имеются существенные ошибки, продемонстрировано незнание значительной части учебного материала.

в) описание шкалы оценивания:

Оценка «отлично»- 26-30 баллов

Оценка «хорошо»-21-25 баллов

Оценка «удовлетворительно»-15-20 баллов

Оценка «неудовлетворительно»-меньше 15 баллов

8.2.3. Тестовые материалы

Тестовые материалы по курсу «Квантовая механика и статистическая физика» Раздел – «Квантовая механика»

1. Электрон в атоме находится в состоянии с волновой функцией $\Psi(\vec{r}) = Ne^{-\alpha r} \sin^2 \theta e^{2i\varphi}$, где (r, θ, φ) – сферические координаты. Чему равна чётность этого состояния ?

- A. $\pi = +1$
- B. $\pi = -1$
- C. $\pi = +1$ с вероятностью $1/2$ и с такой же вероятностью $\pi = -1$.

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

- A. $l = 0$
- B. $l = 1$
- C. $l = 0, 1$
- D. $l = 2$
- E. $l = 0, 1, 2$
- F. $l = 0, 1, 2, 3$

3. Частица массы m , движущаяся вдоль прямой $-\infty < x < \infty$, описывается волновой функцией $\Psi(x) = Ne^{-\alpha|x|}$. Чему равно в этом состоянии среднее (наблюдаемое) значение импульса?

- A. $\langle p_x \rangle = \hbar\alpha$
- B. $\langle p_x \rangle = -\hbar\alpha$
- C. $\langle p_x \rangle = 0$
- D. $\langle p_x \rangle = \frac{\hbar}{\alpha}$
- E. $\langle p_x \rangle = -\frac{\hbar}{\alpha}$

4. В условиях задачи 3 чему равно среднее значение квадрата координаты?

- A. $\langle x^2 \rangle = \frac{1}{\alpha^2}$
 B. $\langle x^2 \rangle = \frac{1}{2\alpha^2}$
 C. $\langle x^2 \rangle = \alpha^2$
 D. $\langle x^2 \rangle = \frac{\alpha^2}{2}$

5. Гармонический осциллятор находится в основном состоянии, характеризующимся энергией $\frac{\hbar\omega}{2}$. Чему равно среднее значение потенциальной энергии осциллятора в этом состоянии ?

- A. $\langle U \rangle = \frac{\hbar\omega}{2}$
 B. $\langle U \rangle = \frac{\hbar\omega}{4}$
 C. $\langle U \rangle = 0$
 D. $\langle U \rangle = \frac{\hbar\omega}{3}$
 E. $\langle U \rangle = \frac{\hbar\omega}{6}$

6. Чему равен коммутатор $[\hat{A}^2, \hat{B}]$, если $[\hat{A}, \hat{B}] = i\alpha\hat{I}$ (α – постоянная, $\hat{I}$ – единичный оператор)

- A. $i\alpha\hat{A}$
 B. $2i\alpha\hat{A}$
 C. $i\alpha\hat{B}$
 D. $2i\alpha\hat{B}$
 E. $i\alpha^2\hat{A}$
 F. $i\alpha^2\hat{B}$

7. В условиях предыдущей задачи в некотором состоянии квантовой системы $\langle A \rangle = a$, $\langle A^2 \rangle = 2a^2$, $\langle B \rangle = b$, $\langle B^2 \rangle = 2b^2$. Как записывается в этом случае обобщенное соотношение неопределенностей для пары операторов $\hat{A}^2, \hat{B}$?

- A. $\Delta(A^2) \cdot \Delta B \geq \alpha a$
 B. $\Delta(A^2) \cdot \Delta B \geq 2\alpha b$
 C. $\Delta(A^2) \cdot \Delta B \geq \alpha a^2$
 D. $\Delta(A^2) \cdot \Delta B \geq \alpha ab$
 E. $\Delta(A^2) \cdot \Delta B \geq \frac{1}{2} \alpha a$

8. Частица движется вдоль прямой $-\infty < x < \infty$ и характеризуется волновой функцией рассеяния вида $\Psi(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}$. В указанном состоянии плотность потока вероятности j_x равна

- A. $\frac{\hbar k}{m} |A - B|^2$
 B. $\frac{\hbar k}{m} (|A|^2 - |B|^2)$

C. $\frac{\hbar k}{m} |A+B|^2$

D. $\frac{\hbar k}{m} (|A|^2 + |B|^2)$

9. Частица рассеивается на одномерном потенциальном барьере прямоугольной формы. Высота барьера V_0 , его ширина и масса частицы m связаны соотношением $\frac{1}{\hbar} (2mV_0)^{\frac{1}{2}} a = \pi$. При каком значении отношения $\xi = \frac{E}{V_0}$ (E – энергия частицы) коэффициент надбарьерного отражения

равен 0? В вариантах ответа n – целое неотрицательное число.

A. $\xi = n$

B. $\xi = n - 1$

C. $\xi = n^2 - 1$

D. $\xi = n + 1$

E. $\xi = n^2 + 1$

10. Частица, описываемая волновой функцией Ae^{ikx} , падает слева на потенциальный барьер. После прохождения барьера волновая функция описывается выражением $i \frac{A}{2} e^{2ikx}$.

Коэффициент прохождения такого барьера равен :

A. 1

B. $\frac{1}{2}$

C. $\frac{1}{4}$.

11. Частица со спином 1 описывается спинором $\begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \alpha \end{pmatrix}$. При каких α этот спинор

нормирован на 1?

A. $\frac{1}{2}$

B. $-\frac{1}{2}$

C. $\frac{1}{2} e^{i\varphi}$

D. $\frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\varphi}$

12. Определите орбитальный момент относительного движения α – частицы и нейтрона в термоядерном резонансе ${}^5\text{He}$ ($E_R \sim 16/76$ МэВ). Спин резонанса $3/2$, четность положительна.

- A. 0
- B. 1
- C. 2
- D. 3
- E. 4

13. Какая доля электронов с энергией 1 эВ пройдет через прямоугольный потенциал-ный барьер высотой 8 эВ и шириной 0,5 Нм?

- A. 10^{-5}
- B. $2 \cdot 10^{-6}$
- C. $2 \cdot 10^{-5}$
- D. $\frac{1}{\sqrt{2}} 10^{-5}$
- E. $3 \cdot 10^{-5}$

14. Чему равно наиболее вероятное расстояние электрона от ядра в состоянии $2p$? Заряд ядра Z . Система предполагается водородоподобной.

- A. $2a_0$
- B. $3a_0$
- C. $4a_0$

15. Как изменится энергия основного состояния атома водорода при включении дополнительного малого взаимодействия между протоном и электроном вида

$$W(r) = -\frac{\alpha e^2}{r} + kr^2?$$

- A. $-\alpha Ry + 3ka_0$
- B. $-\alpha Ry + 3ka_0^2$
- C. $-\alpha Ry + \frac{3}{2}ka_0^2$
- E. $-\frac{\alpha e^2}{a_0} + 3ka_0^2$

Ответы

1. А
2. Е
3. С
4. В
5. В
6. А
7. А
8. В
9. Е
10. В
11. С
12. С
13. В.
14. С
15. В, Е

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Оценка «отлично»-тестовые задания выполнены более чем на 80%, продемонстрировано уверенное знание теоретических положений, допустимо наличие в решениях несущественных неточностей.

Оценка «хорошо» - тестовые задания выполнены более чем на 2/3, при этом продемонстрированы прочные знания учебного материала, однако, решения содержат определенные (несущественные) неточности.

Оценка «удовлетворительно» - тестовые задания выполнены более чем на 50%, знание учебного материала-посредственное. **Оценка «неудовлетворительно»**- решено менее 50% заданий, в решении заданий имеются существенные ошибки, продемонстрировано незнание значительной части учебного материала.

в) описание шкалы оценивания:

Оценка «отлично»- 26-30 баллов

Оценка «хорошо»-21-25 баллов

Оценка «удовлетворительно»-15-20 баллов

Оценка «неудовлетворительно»-меньше 15 баллов

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

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

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

Текущий контроль осуществляется два раза в семестр: контрольная точка № 1 (КТ № 1) и контрольная точка № 2 (КТ № 2).

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум

	Оценочное средство № 1.1	15	30
	Оценочное средство № 1.2	15	30
	Контрольная точка № 2		
	Оценочное средство № 2.1		
	Оценочное средство № 2.2	15	30
Промежуточный	Экзамен		
	Оценочное средство	20	40
ИТОГО по дисциплине		60	100

Процедура оценивания знаний, умений, владений по дисциплине включает учет успешности по всем видам заявленных оценочных средств.

Контрольные работы направлены на выявление способности обучающихся применять полученные теоретические знания для решения практических задач, на оценку приобретенных навыков самостоятельной работы.

По окончании освоения дисциплины проводится промежуточная аттестация в виде экзамена, что позволяет оценить совокупность приобретенных в процессе обучения компетенций. При выставлении итоговой оценки применяется балльно-рейтинговая система оценки результатов обучения.

Экзамен предназначен для оценки работы обучающегося в течение всего срока изучения дисциплины и призван выявить уровень, прочность и систематичность полученных теоретических знаний и умений.

8.4. Шкала оценки образовательных достижений

Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет сумму баллов, заработанных студентом 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 студенту, 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 студенту, 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	3 - «удовлетворительно»/ «зачтено»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, 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			
0-59	2 - «неудовлетворительно»/ «не	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает

	зачтено»		существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, 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. (ЧЗ(2), ХР(48)).
2. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. Изд-во ЛКИ, 2010.-344с. (ЧЗ(3), ХР(8)).
3. Матвеев А.Н. Атомная физика.-М., ОНИКС.2007.-432 с. (ЧЗ(2), ХР(3)).
4. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика.Т.1. Теория равновесных систем. – Изд-во Либроком. 2012.-328с. (ЧЗ(1), ХР(6)).
5. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика.Т.2. Теория равновесных систем. – Изд-во Либроком. 2012.-436с. (ЧЗ(1), ХР(6)).
6. Базаров И.П. Термодинамика.-СПб, Лань.2007.-384 с.(ЧЗ(2), ХР(8)).

б) дополнительная учебная литература:

1. Балашов В.В., Долинов В.К. Курс квантовой механики.-Ижевск, Изд-во РХД, 2001г.-122с.(ЧЗ(2) ХР(21)).
2. А. Мессиа. Квантовая механика. Т. 1,2.- М., Наука, 1979. – (ЧЗ(2), ХР(4)).
3. Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц.-М., Мир.-1989г.-481 с.(ХР(3)).
4. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика.-М., Наука.-1976.-332 с.

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

1. <http://www.iqlib.ru/> Электронная библиотека IQLb образовательных и просветительских изданий. Свободный доступ к электронным учебникам, справочным и учебным пособиям.
2. http://www.edu.ru/modules/php?op=modload&name=Web_Links&file=index&l_op=viewlk&cid=2720 – Федеральный портал российского профессионального образования: Математика и естественно-научное образование.

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 колоде 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.

При изучении раздела «Физическая кинетика» особое внимание рекомендуется уделить уравнениям физической кинетики (Фоккера-Планка, Эйнштейна-Смолуховского, Чепмена-Колмогорова, Больцмана) и их практическому применению (особенно это касается уравнения Больцмана), в том числе к задачам переноса нейтронов.

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

12.1. Перечень информационных справочных систем

1. <http://www.iqlib.ru/> Электронная библиотека IQLb образовательных и просветительских изданий. Свободный доступ к электронным учебникам, справочным и учебным пособиям.

2. Googleакадемия. <https://scholar.google.ru/> (раздел: Физика)

3. Единое окно доступа к информационным ресурсам. window.edu.ru

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

При осуществлении образовательного процесса по данной дисциплине используется аудитория С-322, оснащенная мультимедийным оборудованием, оборудованная 10 компьютерами.

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)	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
12.	Стохастические процессы. Основное кинетическое уравнение.	Практические занятия	2 час.	Групповое обсуждение
13.	Уравнение Больцмана	Лекция	2 час.	Проблемная лекция
14.	Уравнение Больцмана	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 боровский 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 спинорные 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 состоит 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 (теплого 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. Спинорная 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 $\Psi(\vec{r}) = Ne^{-\alpha r} \sin \theta e^{i\varphi}$, где (r, θ, φ) – сферические координаты. Чему равна чётность этого состояния?
- А. $\pi = +1$
 В. $\pi = -1$
 С. $\pi = +1$ 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 чётность 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 $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, $\hbar = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$, $c = 0,659 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$, $\hbar c = 197,3 \text{ МэВ} \cdot \text{Фм}$.
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 α -частицы коэффициент надбарьерного отражения от прямоугольного потенциального барьера высотой 10 МэВ и шириной 1 Фм равен 0? Масса α -частицы 4 а.е.м. , 1 а.е.м. равна $931,5 \text{ МэВ}/c^2$.

12.3. 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, квазистатические (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 также, сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Оценка знаний студентов 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 студент 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 также использование на лекциях звукозаписывающих устройств (диктофонов и т.д.). Допускается присутствие на занятиях ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь.

Оценка знаний студентов на семинарских занятиях осуществляется в устной форме (как ответы на вопросы, так и практические задания). При необходимости анализа фильма может быть заменен описанием ситуации межкультурного 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 студент может воспользоваться кратким конспектом лекции.

При невозможности посещения практического занятия студент 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 студент 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, профессор отделения ЯФиТ(О), д.ф.-м.н., профессор

Рецензент:

_____ А.Г. Юферов, доцент отделения ЯФиТ(О), к.ф.-м.н.