



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Квантовая механика и статистическая физика

Кафедра Теоретическая и вычислительная физика
физического факультета

Образовательная программа бакалавриата
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (Профиль)
Микроэлектроника и твердотельная электроника

Форма обучения
очная

Статус дисциплины: обязательная часть, физический модуль

Махачкала 2022г

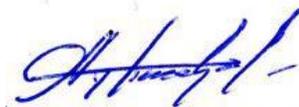
Рабочая программа дисциплины составлена 2022 г. в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04- Электроника и микроэлектроника, профиль подготовки: Микроэлектроника и твердотельная электроника (уровень: Бакалавриат) – 19 сентября 2017 г №927 (Изменения в ФГОС от 8 февраля 2021 г. № 83).

Разработчик: кафедра теоретическая и вычислительная физика
Хизриев К.Ш., доцент, к.ф.-м.н.

Рабочая программа дисциплины одобрена:

на заседании кафедры общей и теоретической физики от «21» марта 2022г., протокол №7.

Зав. кафедрой



Муртазаев А.К.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «23» марта 2022г., протокол №7

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно- методическим управлением « 31» марта 2022г.

Начальник УМУ



.Гасангаджиева А.Г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Квантовая механика и статистическая физика» входит в обязательную часть, физический модуль образовательной программы бакалавриата по направлению 11.03.04 - «Электроника и наноэлектроника».

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой теоретическая и вычислительная физика.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением поведения микрочастиц и систем, состоящих из атомов и молекул. Кроме того, данная дисциплина предполагает изучение особого типа закономерностей, которым подчиняются поведение и свойства макроскопических тел.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

общефессиональных – ОПК-1;

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельную работу.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме текущий контроль в форме опросов, контрольной работы и коллоквиума и промежуточный контроль в форме зачета и экзамена.

Объем дисциплины 8 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий 288 часов

Семестр	Учебные занятия								Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	
	в том числе									
	Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем								СРС, в том числе экз.
		Всего	из них							
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации				
5,6	288	110	54	-	56	-	-	142/36	зачет, экзамен	

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» являются изучение поведения микрочастиц и систем, состоящих из атомов и молекул. Кроме того, статистическая физика предполагает изучение особого типа закономерностей, которым подчиняются поведение и свойства макроскопических тел.

Необходимо формировать у студентов единую, стройную, логически непротиворечивую физическую картину окружающего нас мира природы. Для этого необходимо обобщить экспериментальные данные и на их основе произвести построение моделей наблюдаемых явлений со строгим обоснованием приближений и рамок, в которых эти модели действуют. Во - вторых, в рамках единого подхода классической физики необходимо, рассматривать все основные явления и процессы, происходящие в природе и установить связь между ними, вывести основные законы и получить их выражения в виде математических уравнений. В - третьих, необходимо научить студентов самостоятельно применять полученные теоретические знания для решения конкретных задач с последующим анализом и оценкой полученных результатов.

Данный курс опирается на такие дисциплины, как теоретическая механика, электродинамика, атомная физика, высшая математика.

Задачи дисциплины:

- показать необходимость перехода от классических представлений к квантовым, при изучении микрообъектов;
- рассмотреть основные операторы динамических величин и их свойства;
- показать, что более правильным является формулировка квантовой механики через интегралы по траектории;
- показать, что квантовая теория, по существу состоит из нерелятивистской и релятивистской теорий, которые рассматриваются в рамках основных уравнений Шредингера и Дирака, соответственно;
- дать общее представление теории представлений;
- показать интеграцию физико-математических знаний и важную роль высшей математики в теоретической физике;
- сформулировать основные умения и навыки при решении задач по квантовой механике и статистической физике;
- показать роль статистической физики в познании важных вопросов в разделе теоретическая физика;
- показать основные общие черты и различия классической и квантовой статистики;
- показать, что предмет «квантовая механика и статистическая физика» - один, но отличается методами исследования;

- дать понять студентам, что функция распределения в статистической физике играет такую же роль, что и волновая функция в квантовой механике.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина входит обязательная часть, физический модуль образовательной программы бакалавриата по направлению 11.03.04 - «Электроника и наноэлектроника». Для ее освоения необходимы знания таких дисциплин, как дифференциальные уравнения, электродинамика, методы математической физики.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

Код и наименование компетенции из ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1. Анализирует и обрабатывает научно-техническую информацию по естественным наукам и математике для решения поставленной инженерной задачи	Знает: - физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности Умеет: - выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научно-техническую литературу с учетом зарубежного опыта Владеет: - навыками критического анализа научно-технической литературы в сфере профессиональной деятельности	Устный опрос, письменный опрос

	<p>ОПК-1.2. Использует положения, законы и методы естественных наук и математики для решения поставленной инженерной задачи</p>	<p>Знает: - основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности</p> <p>Умеет: - применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера</p> <p>Владеет: - навыками находить и критически анализировать информацию, необходимую для решения поставленной задачи.</p>	
--	--	--	--

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практич. занятия	Лаборат. занятия	Контроль самост. раб.		
Модуль 1. Основные понятия квантовой теории.									
1.	Введение в предмет «Квантовая механика и статистическая физика»	5		1	-	-	-	3	Опрос
2.	Понятие состояния в квантовой теории.			1	-	-	-	3	Опрос
3.	Динамические переменные в квантовой механике.			1	4	-	-	3	Опрос

4	Элементы теории представлений			1	1	-	-	3	Опрос
5	Чистые и смешанные состояния			2	1	-	-	4	Опрос
6	Изменение состояния во времени			2	2	-	-	4	Опрос
Итого по модулю 1				8	8	-	-	20	Контрольная работа
Модуль 2. Основные методы квантовой теории									
1.	Общая теория моментов.			1	2	-	-	3	опрос
2.	Приближенные методы квантовой теории.			1	2	-	-	3	опрос
3.	Уравнение Шредингера. Оператор Гамильтона.	5		1	2	-	-	4	опрос
4	Стационарные состояния. Уравнение непрерывности.			1	1	-	-	6	опрос
5	Уравнения движения в квантовой механике. Интегралы движения.			2	1	-	-	6	опрос
Итого по модулю 2				6	8	-	-	22	КОЛЛОКВИУМ
Модуль 3. Некоторые приложения квантовой теории.									
1.	Гармонический осциллятор. Собственные функции и собственные значения осциллятора.			1	1	-	-	4	опрос
2.	Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.			2	1	-	-	4	опрос
3.	Движение частиц в центрально-симметричном поле. Атом водорода.	5		1	2	-	-	4	опрос
4.	Собственные значения и собственные функции атома водорода.			1	2	-	-	2	опрос
5.	Элементы теории возмущений.			2	1	-	-	2	опрос
6.	Спин. Уравнение Паули.			1	1	-	-	4	опрос
Итого по модулю 3				8	8	-	-	20	зачет

Модуль 4. Основы нерелятивистской квантовой механики									
1.	Уравнение Клейна-Гордона.	5		1	1	-	-	2	опрос
2.	Уравнение Дирака. Частицы и античастицы.			1	1	-	-	4	опрос
3.	Решение уравнения Дирака для свободной частицы			1	1	-	-	4	опрос
4.	Атом гелия. Пара и ортогелий.			2	1	-	-	4	опрос
5.	Молекула водорода.			1	2	-	-	2	опрос
6.	Атом в магнитном поле. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана.			1	1	-	-	2	опрос
7.	Упругое рассеяние частиц.			1	1	-	-	2	
Итого по модулю 4				8	8	-	-	20	КОЛЛОКВИУМ
Модуль 5. Основные принципы статистической физики.									
1.	Фазовое пространство. Статистический ансамбль.	6		1	-	-	-	2	опрос
2.	Статистическое распределение. Статистическая независимость.			2	1	-	-	2	опрос
3.	Теорема Лиувилля.			1	1	-	-	4	опрос
4.	Микроканоническое распределение.			2	1	-	-	4	опрос
5.	Энтропия и ее основные свойства.			1	1	-	-	4	опрос
6.	Термодинамические потенциалы.			1	4	-	-	4	опрос
Итого по модулю 5				8	8	-	-	20	контрольная работа
Модуль 6. Статистические распределения.									
1.	Распределение Гиббса.	6		1	1	-	-	4	опрос
2.	Распределение Максвелла-Больцмана.			2	2	-	-	4	опрос
3.	Распределение Гиббса с переменным числом частиц.			1	2	-	-	4	опрос
4.	Система невзаимодействующих			2	1	-	-	4	опрос

	осцилляторов.								
5.	Свободная энергия в распределении Гиббса.			2	2	-	-	4	опрос
Итого по модулю 6				8	8	-	-	20	контрольная работа
Модуль 7. Классический и квантовый идеальные газы.									
1.	Распределение Больцмана.	6		1	1	-	-	2	опрос
2.	Свободная энергия и уравнения состояния идеального газа.			1	1	-	-	2	опрос
3.	Одноатомный идеальный газ.			1	1	-	-	2	опрос
4.	Двухатомный газ. Колебания атомов.			1	1	-	-	4	опрос
5.	Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.			1	1	-	-	4	опрос
6.	Ферми- и бозе-газы элементарных частиц.			1	-	-	-	2	опрос
7.	Черное излучение.			1	1	-	-	2	опрос
8.	Твердые тела при низких и высоких температурах.			1	2	-	-	2	опрос
Итого по модулю 7				8	8	-	-	20	
Модуль 8. Подготовка к экзамену		6						36	экзамен
ИТОГО				54	56	-	-	142/36	

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.

Модуль 1. Основные понятия квантовой теории.

Введение. Понятие состояний в квантовой теории. Динамические переменные в квантовой механике. Элементы теории представлений. Изменение векторов состояния со временем. Чистые и смешанные состояния. Некоторые приложения квантовой теории.

Модуль 2. Основные методы квантовой теории.

Общая теория моментов. Приближенные методы квантовой теории. Оператор Гамильтона. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния.

Уравнение непрерывности. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Уравнения движения квантовой механики. Интегралы движения. Симметрия системы.

Модуль 3. Некоторые приложения нерелятивистской теории.

Гармонический осциллятор. Собственные значения и собственные функции осциллятора. Движение в центрально-симметричном поле. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Атом водорода. Собственные значения и собственные функции. Туннельный эффект. Элементы теории возмущений. Общая теория моментов. Спин. Уравнения Паули.

Модуль 4. Основы релятивистской физики и многоэлектронные системы.

Уравнение Клейна-Гордона. Плотность заряда и тока, условие нормировки, частицы и античастицы. Уравнение Дирака. Матрицы Дирака. Решение уравнения Дирака для свободной частицы. Тонкая и сверхтонкая структура энергетического спектра. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана. Бозе и Ферми частицы.

Атом гелия. Пара и орто – гелий. Обменная энергия. Периодическая система элементов. Молекула водорода. Вторичное квантование. Операторы рождения и уничтожения частиц. Природа химических сил.

Модуль 5. Основные принципы статистической физики.

Введение. Статистические ансамбли и функции распределения. Статистическая независимость. Теория Лиувилля. Микроканоническое распределение. Статистический вес и энтропия. Статистическая сумма и свободная энергия. Энтропия и ее основные свойства. Термодинамические потенциалы. Квазиклассический переход к статическому интегралу.

Модуль 6. Статистические распределения

Распределения Гиббса. Распределение Максвелла-Больцмана. Распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц. Система невзаимодействующих осцилляторов. Свободная энергия и статистическая сумма в распределении Гиббса. Распределение Максвелла.

Модуль 7. Классический и квантовый идеальные газы.

Свободная энергия и уравнение состояния идеального газа. Одноатомный идеальный газ. Ограничения на заполнение числа заполнений. Двухатомный газ. Колебания атомов. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Ферми и Бозе-газы элементарных частиц. Черное излучение твердого тела.

4.3.2. Содержание лабораторно-практических занятий по дисциплине.

Модуль 1. Основные понятия квантовой теории		
Название темы	Содержание темы	Объем в часах
Динамические переменные в квантовой механике	Соответствие операторов динамическим переменным. Операторы координаты, импульса. Гамильтониан.	4
Операторы и их свойства	Собственные функции и собственные значения операторов квантовой механики. Свойства операторов. Коммутационные соотношения.	4
Модуль 2. Основные методы квантовой теории.		
Уравнение Шредингера.	Стационарное состояние. Волновая функция стационарного состояния и ее свойства. Уравнение Шредингера.	3
Уравнения движения.	Интегралы движения и их связь с симметрией системы. Теоремы Эренфеста.	3
Общая теория моментов.	Момент импульса в сферических координатах. Орбитальный, магнитный и спиновый моменты.	2
Модуль 3. Некоторые приложения нерелятивистской квантовой теории.		
Гармонический осциллятор.	Собственные функции и собственные значения энергии.	2
Движения в центрально симметричном поле.	Оператор момента импульса. Собственные функции и собственные значения.	2
Туннельный эффект.	Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.	2
Атом водорода.	Собственные функции и собственные значения оператора Гамильтона для атома водорода.	2
Модуль 4. Основы релятивистской квантовой теории.		
Многоэлектронные системы.	Атом гелия. Молекула водорода. Обменная энергия.	4
Уравнения релятивистской квантовой теории.	Уравнение Клейна-Гордона. Решение уравнения Дирака. Матрицы Дирака.	4
Модуль 5. Основные принципы статистической физики.		
Теорема Лиувилля.	Изменение функции распределения во времени. Фазовая траектория.	2
Фазовое	Статистический ансамбль.	2

пространство.		
Термодинамические потенциалы.	Соотношения между производными термодинамических величин.	2
Статистический вес и энтропия.	Энтропия и ее основные свойства. Закон возрастания энтропии.	2
Модуль 6. Статистические распределения.		
Распределение Гиббса.	Расчет термодинамических величин используя каноническое распределение Гиббса.	8
Распределение Максвелла.	Нахождение выражений для средней квадратичной скорости и кинетической энергии.	4
Распределение Гиббса с переменным числом частиц.	Нахождение большого термодинамического потенциала для системы с переменным числом частиц.	4
Свободная энергия в распределении Гиббса.	Термодинамические соотношения и их вывод из распределения Гиббса.	5
Модуль 7. Классический и квантовый идеальные газы.		
Распределение Больцмана.	Нахождение распределения в потенциальном поле.	2
Свободная энергия идеального газа.	Статистическая сумма и свободная энергия идеального газа.	2
Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.	Термодинамические потенциалы для Ферми и Бозе-систем.	6
Твердые тела при высоких температурах.	Теплоемкость твердых тел при низких и высоких температурах. Модели Дебая и Эйнштейна.	5
Двухатомный газ.	Колебания атомов в твердых телах	4

5. Образовательные технологии

В течение семестра студенты посещают лекции, решают задачи, указанные преподавателем, к каждому семинару. В семестре проводятся контрольные работы (на семинарах). Зачет выставляется после решения всех задач контрольных работ, выполнения домашних и самостоятельных работ.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой. При изложении теоретического

материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

Обучающие и контролируемые модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

Для подготовки к занятиям также имеется электронный курс лекций, размещенный на сайте ДГУ, которые способствуют подготовке к сдаче экзамена.

В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций ведущих ученых из центральных вузов и академических институтов России.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;
- написание рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки;
- решение некоторых задач с применением компьютера.

Разделы и темы для самостоятельного изучения	Виды и содержание самостоятельной работы
Векторы и совекторы состояний	Пространство Гильберта. Разложение векторов состояний по базисным векторам
Динамические переменные в квантовой теории.	Операторы квантовой механики и их свойства. Дискретный и непрерывный спектры собственных значений.
Волновая функция и условия нормировки.	Разложение векторов состояния по системе собственных векторов наблюдаемой. Среднее значение физических величин.
Элементы теории представлений.	Координатное, импульсное и матричное представления векторов состояний и наблюдаемых
Изменения состояния со временем.	Основные уравнения нерелятивистской квантовой механики. Чистые и смешанные состояния.
Некоторые приложения квантовой теории.	Линейный гармонический осциллятор. Движение в поле центральных сил.

Общая теория моментов.	Спин электрона. Матрицы Паули. Сложение моментов.
Приближенные методы квантовой теории.	Туннельный эффект. Эффекты Штарка и Зеемана.
Релятивистская квантовая механика	Атом. Периодическая система элементов. Вторичное квантование.
Основные законы и методы статистической физики	Статистические ансамбли и функции распределения. Статистическое усреднение.
Статистическая теория идеальных систем. Одноатомные газы.	Статистика Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака. Системы с ограниченным спектром энергии. Отрицательные температуры.
Теория неидеальных систем. Корреляционные функции.	Классические неидеальный газ. Вириальное разложение.
Системы с кулоновским взаимодействием.	Свободная энергия плазмы. Элементы статистической теории дискретных систем.
Теория флуктуаций	Термодинамическая и статистическая теория флуктуаций.
Фазовые переходы. Теория Ландау.	Условия равновесия и устойчивости. Критическое поведение. Фазовый переход в сверхтекучее состояние.

Результаты самостоятельной работы учитываются при аттестации бакалавра (зачет, экзамен). При этом проводятся: тестирование, опрос на практических занятиях, заслушиваются доклады, проверка контрольных работ и т.д.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Типовые контрольные задания

7.1.1. Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы.

1. Предмет квантовой механики и статистической физики. Дуализм явлений микромира. Волновые
2. Принципы неопределенностей Гейзенберга. Принцип суперпозиций состояний.
3. Наблюдаемые и состояния. Чистые и смешанные состояния.
4. Соотношения между классической и квантовой механикой. Эволюция состояний.
5. Теория представлений. Представления Шредингера, Гейзенберга и взаимодействий.
6. Одномерное движение и его свойства.
7. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния.
8. Чистые и смешанные состояния и их описание в квантовой механике.
9. Движение в центрально-симметричном поле. Теория водородоподобного атома.
10. Зонная структура энергетического спектра.
11. Собственные значения и собственные функции оператора импульса.
12. Спин электрона и его собственные значения.
13. Собственные векторы оператора спина.
14. Матрицы Паули и их свойства.
15. Теория возмущений (Стационарная и нестационарная).
16. Основы релятивистской квантовой теории.
17. Уравнение Дирака.
18. Тождественность частиц. Строение сложных атомов.
19. Условие равновесия и его устойчивости
20. Теория Ландау фазовых переходов 2 рода.
21. Статистические ансамбли и функции распределения.
22. Статистическая независимость и статистическое усреднение.
23. Классическое и квантовое уравнение Лиувилля.
24. Статистический вес и энтропия.
25. Микроканоническое распределение.
26. Каноническое распределение.
27. Большая статистическая сумма и термодинамический потенциал.
28. Распределение Максвелла.
29. Распределение Больцмана.
30. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.
31. Равновесное излучение.
32. Флуктуация основных физических величин.

33. Броуновское движение.
34. Цепочка уравнений Боголюбова.
35. Самосогласованное поле.

7.1.2. Перечень вопросов к зачету.

1. Явления в микромире и их квантовое описание.
2. Корпускулярно-волновой дуализм. микрочастиц.
3. Дискретные свойства волн.
4. Чистые и смешанные состояния.
5. Операторы квантовой механики и их свойства.
6. Коммутационные соотношения.
7. Принцип суперпозиции состояний.
8. Наблюдаемые и состояния.
9. Кратность вырождения.
10. Непрерывный и дискретные спектры собственных значений и их физическая интерпретация.
11. Полный набор наблюдаемых. Средние значения физических величин.
12. Принцип неопределенностей Гейзенберга.
13. Импульсное и матричное представления наблюдаемых.
14. Оператор Гамильтона и уравнение Шредингера.
15. Стационарные состояния.
16. Уравнение непрерывности.
17. Общие свойства одномерного движения.
18. Движение в центрально-симметричном поле.
19. Туннельный эффект.
20. Оператор спина электрона. Матрицы Паули.
21. Элементы теории рассеяния.
22. Основные представления релятивистской квантовой теории.
23. Фазовые переходы 1 рода. Уравнение Клапейрона.
24. Фазовые переходы 2 рода. Уравнения Эренфеста.
25. Понятие о критических индексах.
26. Каноническое распределение Гиббса.
27. Большое каноническое распределение.
28. Средняя кинетическая энергия частиц системы.
29. Статистическая сумма и свободная энергия.
30. Квантовые распределения Бозе–Эйнштейна и Ферми–Дирака.
31. Идеальный одноатомный газ. Уравнение состояния и свободная энергия.
32. Равновесное излучение и формула Планка.
33. Отрицательные температуры.
34. Вириальное разложение для одноатомного газа.
35. Цепочка уравнений Боголюбова.

36. Флуктуации основных термодинамических величин.
37. Флуктуации в идеальном газе.

Перечень вопросов к экзамену.

1. Предмет квантовая механика и статистическая физика.
2. Основные постулаты квантовой механики.
3. Волновая функция. Принцип суперпозиции состояний.
4. Состояния и наблюдаемые. Операторы.
5. Свойства операторов. Коммутационные соотношения.
6. Собственные функции и собственные значения операторов.
7. Принцип неопределенностей Гейзенберга.
8. Чистые и смешанные состояния и их описание.
9. Теория представлений.
10. Общие свойства одномерного движения.
11. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния.
12. Оператор Гамильтона.
13. Оператор момента импульса.
14. Движение частиц в центрально симметричном поле.
15. Теория водородоподобного атома.
16. Зонная структура спектра энергии.
17. Оператор момента импульса, его собственные функции и собственные значения.
18. Гармонический осциллятор.
19. Спин электрона и его собственные значения.
20. Собственные векторы оператора спина.
21. Матрицы Паули и их свойства.
22. Стационарная теория возмущений.
23. Нестационарная теория возмущений.
24. Движение электрона в периодическом поле.
25. Основы релятивистской квантовой теории.
26. Уравнение Дирака.
27. Матрицы Дирака и их свойства.
28. Тождественность частиц. Принцип Паули.
29. Вторичное квантование.
30. Условия равновесия и устойчивости системы.
31. Теория Ландау фазовых переходов 2 рода.
32. Фазовый переход 1 рода. Уравнение Клапейрона.
33. Статистические ансамбли и функции распределения.
34. Статистическая независимость. Статистическое усреднение.
35. Классическое и квантовое уравнения Лиувилля.
36. Статистический вес и энтропия.

37. Микроканоническое распределение.
38. Каноническое распределение Гиббса.
39. Система с переменным числом частиц. Большая статистическая сумма и термодинамический потенциал.
40. Распределение Максвелла.
41. Распределение Больцмана.
42. Уравнение состояния идеального газа.
43. Ферми и Бозе-газы элементарных частиц.
44. Твердые тела. Модели Эйнштейна и Дебая.
45. Бозе-газ при низких температурах.
46. Статистика Ферми–Дирака.
47. Статистика Бозе–Эйнштейна.
48. Равновесное излучение. Формула Планка.
49. Флуктуации основных физических величин.
50. Флуктуации в идеальном газе.
51. Броуновское движение.
52. Цепочка уравнений Боголюбова.
53. Понятие о самосогласованном поле.
54. Критическое поведение вещества. Критические индексы.
55. Уравнение Больцмана. **H**-теорема.

Примерные контрольные тесты для текущего и итогового контроля подготовленности студентов по курсу.

1. Операторы квантовой механики.

1) Собственные значения оператора $\hat{F} = -\frac{d^2}{dx^2}$, принадлежащие собственной функции $\psi(x) = \sin 2x$.

а) $F = 6$, б) $F = 0$, **в) $F = 4$** , г) $F = 1$, д) $F = 2$.

2) Коммутатор операторов \hat{x} и \hat{P}_x равен

а) $i\hbar$, б) $-i\hbar$, в) 0 , г) \hbar^2 , д) $-\hbar$.

3) Коммутатор операторов \hat{y} и \hat{P}_y равен

а) $i\hbar$, б) $-i\hbar$, в) $\hbar\omega$, г) $\hbar/2$, **д) 0** .

4) Найти коммутатор операторов \hat{P}_x и \hat{P}_y

а) $[\hat{P}_x, \hat{P}_x] = \hat{P}_z$, б) $-i\hat{P}_z$, в) $i\hat{P}_z$, **г) 0** , д) $i\hbar\hat{P}_z$.

5) Коммутатор операторов \hat{P}_x и \hat{P}_z равен

а) \hat{P}_y , б) $-\hat{P}_y$, в) $i\hbar\hat{P}_y$, г) $-i\hbar\hat{P}_y$, **д) 0**.

6) Найти коммутатор операторов \hat{M}_x и \hat{M}_y

а) $i\hbar\hat{M}_z$, б) $i\hbar\hat{M}_x$, в) 0, г) \hat{M}_z , д) $\hbar\hat{M}_z$.

7) Найти коммутатор операторов \hat{M}_y и \hat{M}_z

а) $\hbar\hat{M}_x$, **б) $-i\hbar\hat{M}_z$** , в) 0, г) $-\hbar\hat{M}_x$, д) $\hbar\hat{M}_x$.

8) Оператор \hat{M}_x может быть записан в виде:

а) $\hat{M}_x = i\hbar\left(\frac{\partial}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z}\right)$, б) $-i\hbar\left(z\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial z}\right)$, в) $z\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial z}$,
г) $i\hbar\left(z\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial z}\right)$, д) $i\hbar\left(z\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial z}\right)$.

9) Оператор \hat{M}_y может быть записан в виде:

а) $i\hbar\left(\frac{\partial}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x}\right)$, б) $x\frac{\partial}{\partial z} - z\frac{\partial}{\partial x}$, в) $i\hbar\left(y\frac{\partial}{\partial x} - x\frac{\partial}{\partial y}\right)$,
г) $i\hbar\left(x\frac{\partial}{\partial z} - z\frac{\partial}{\partial x}\right)$, д) $-i\hbar\left(x\frac{\partial}{\partial z} - z\frac{\partial}{\partial x}\right)$.

10) Оператор \hat{M}_z может быть записан в виде:

а) $i\hbar\left(y\frac{\partial}{\partial x} - x\frac{\partial}{\partial y}\right)$, б) $i\hbar\left(y\frac{\partial}{\partial y} - x\frac{\partial}{\partial x}\right)$, в) $y\frac{\partial}{\partial x} - x\frac{\partial}{\partial y}$,
г) $i\hbar\left(x\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial x}\right)$, д) $x\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial x}$.

11) Оператор \hat{M}_x в сферических координатах имеет вид:

а) $i\hbar\left(\sin\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} + \cos\varphi\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)$, **б) $i\hbar\left(\sin\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} + \operatorname{ctg}\theta\cos\varphi\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)$** , в) $-i\hbar\left(\sin\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} + \cos\varphi\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)$,
г) $-i\hbar\left(\sin\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} + \operatorname{ctg}\theta\cos\varphi\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)$, д) $\sin\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} + \operatorname{ctg}\theta\cos\varphi\frac{\partial}{\partial\varphi}$.

12) Оператор \hat{M}_y в сферических координатах имеет вид:

a) $-i\hbar\left(\cos\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} + \operatorname{ctg}\theta\sin\varphi\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)$, б) $i\hbar\left(\cos\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} - \operatorname{ctg}\theta\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)$,
в) $-i\hbar\left(\cos\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} - \operatorname{ctg}\theta\sin\varphi\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)$, г) $\cos\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} - \operatorname{ctg}\theta\frac{\partial}{\partial\varphi}$, д) $i\hbar\left(\frac{\partial}{\partial\theta} - \frac{\partial}{\partial\varphi}\right)$.

13) Оператор \hat{M}_y в сферических координатах имеет вид:

a) $-i\hbar\frac{\partial}{\partial\theta}$, **б)** $-i\hbar\frac{\partial}{\partial\varphi}$, в) $-i\hbar(\cos\theta - \sin\theta)$, г) $\frac{\partial}{\partial\theta}$, д) $\frac{\partial}{\partial\varphi}$.

14) Оператор \hat{M}^2 в сферических координатах имеет вид:

a) $\hbar^2\nabla_{\theta,\varphi}^2$, **б)** $-\hbar^2\nabla_{\theta,\varphi}^2$, в) $-i\hbar\left(\frac{1}{\sin\theta} - \frac{\partial}{\partial\theta}\sin\theta\right) + \frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}$,
г) $i\hbar\nabla_{\theta,\varphi}^2$, д) $-i\hbar\nabla_{\theta,\varphi}^2$.

15) Собственные значения оператора \hat{M}^2 будут:

a) $l(l+1)$, б) $l(l-1)$, **в)** $\hbar^2l(l+1)$, г) $-\hbar^2l(l+1)$, д) $-i\hbar^2l(l+1)$.

16) Собственные значения оператора \hat{M}_z будут:

a) $-\hbar m$, **б)** $\hbar m$, в) $-i\hbar m$, г) $i\hbar m$, д) m .

17) Оператор $\nabla_{\theta,\varphi}^2$ может быть представлен в виде:

a) $\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial}{\partial r}\right) + \frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}$, б) $\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\varphi}\right) + \frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}$,
в) $\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta} + \frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}$, **г)** $\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\varphi}\right) + \frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}$, д) $\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial}{\partial r}\right)$.

18) Найти среднее значение координаты частицы, находящийся в состоянии

$$\psi = A \exp\left(ikx - \frac{x^2}{a^2}\right)$$

a) 0 , б) $\hbar k$, в) $\hbar^2 k^2$, г) ik , д) k^2 .

19) Найти энергию одномерного гармонического осциллятора с частотой ω_0 в состоянии $n = 3$

а) $\frac{3\hbar\omega_0}{2}$, б) $\frac{7}{2}\hbar\omega_0$, в) $3\hbar\omega_0$, г) $\hbar\omega_0$, д) $\frac{5}{2}\hbar\omega_0$.

20) Чему равна производная от оператора координаты по времени

а) $\frac{\hat{p}_x}{m}$, б) 0 , в) $-\frac{\partial V}{\partial x}$, г) $\frac{P_x^2}{2m}$, д) $\frac{\hat{p}_x}{2m}$.

21) Найти решение уравнения $\left(x + \frac{d}{dx}\right)\psi = \lambda\psi$

а) $\psi = C \exp(\lambda x)$, б) $C \exp(-\lambda x)$, в) $C \exp\left(\lambda x - \frac{x^2}{2}\right)$,
г) $C \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right)$, д) $C \exp\left(-\lambda x + \frac{x^2}{2}\right)$.

22) Волновая функция свободной частицы записана в виде

$\psi(x, 0) = A \exp\left(-\frac{x^2}{a^2} + ikx\right)$. Определить коэффициент A

а) $|A|^2 = \frac{1}{\sqrt{\pi}}$, б) $|A|^2 = \frac{1}{\sqrt{a\sqrt{\pi}}}$, в) $|A|^2 = \frac{\pi}{a}$, г) $|A|^2 = \frac{\sqrt{\pi}}{a}$, д) $|A|^2 = \sqrt{\frac{\pi}{a}}$

Тематика контрольных работ

1. Уравнение Шредингера и его приложения.
2. Основы релятивистской квантовой теории. Уравнение Дирака.
3. Канонические распределения.
4. Теория фазовых переходов.
5. Распределение Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.

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

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

Лекции

- посещение занятий – 10 баллов,
- активное участие на лекциях – 15 баллов,
- устный опрос, тестирование, коллоквиум – 60 баллов,

- и др. (доклады, рефераты) – 15 баллов.

Практические занятия

- посещение занятий – 10 баллов,
- активное участие на практических занятиях – 15 баллов,
- выполнение домашних работ – 15 баллов,
- выполнение самостоятельных работ – 20 баллов,
- выполнение контрольных работ – 40 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос – 60 баллов,
- письменная контрольная работа – 30 баллов,
- тестирование – 10 баллов.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) основная литература:

1. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Р. Квантовая механика. М.: Наука.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика ч. М.: Физматлит, 2010 г.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика ч.1 М.: Физматлит, 2010 г.
4. Абдурахманов А.А., Мусаев Г.М. Методические указания к решению задач по квантовой механике.
5. Мусаев Г.М. – Методические указания к решению задач по статистической физике.
6. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 1. Теория равновесных систем. Термодинамика Т 1. Изд-во: Либроком. 2012 г.
7. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 2. Теория равновесных систем. Статистическая физика. Изд-во: Эдиториал УРСС. 2010 г.
8. Базаров И.П. Термодинамика. Изд-во: Лань. 2010 г.
9. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Задачи по термодинамике и стат. физике, М.: изд. «Высшая школа», 1997 г.

б) дополнительная литература:

1. Кубо Р. Статистическая механика. Современный курс с задачами и решениями. Изд-во: КомКнига. 2007 г.
2. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 3: Теория неравновесных систем. Изд-во: Эдиториал УРСС. 2011 г.
3. Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Том 4: Квантовая статистика. Изд-во: КомКнига. 2010 г.
4. Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. Изд-во НГУ, Сиб. унив. изд-во, 2001. - 608 с.
5. Караваев Г.Ф., Герасимов В. В. Основы термодинамики и статистической физики в задачах с решением. Изд-во: Феникс. 2012 г.
6. Варакаш В.М., Болсун А.И., Аксенов В.В. Сборник задач по статистической физике. Изд-во: Эдиториал УРСС. 2011 г.
7. Гладков С. О. Сборник задач по теоретической и математической физике. Изд-во: ФИЗМАТЛИТ. 2010 г.

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

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks (www.iprbookshop.ru). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г.
2. Лицензионное соглашение № 6984/20 на использование адаптированных технологий ЭБС IPRbooks (www.iprbookshop.ru) для лиц с ОВЗ от 02.10.2020.
3. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Университетская библиотека онлайн»: www.biblioclub.ru. Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010 от 01.10.2020 г. 537 наименований.
4. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com/>. Договор № СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023 г.
5. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
6. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор № 101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока. Договор может пролонгироваться неограниченное количество раз, если ни одна из сторон не желает его расторгнуть.

7. Scopus

Scopus издательства Elsevier B.V. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2022 г. <https://www.scopus.com>

8. Wiley Online Library

Коллекция журналов Freedom Collection издательства Elsevier. Письмо РФФИ от 17.07.2010 г. № 742 о предоставлении лицензионного доступа к электронному ресурсу Freedom Collection издательства Elsevier в 2022 г. <https://onlinelibrary.wiley.com/>

9. Международное издательство Springer Nature

Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2022 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>

10. Журналы American Physical Society

Базы данных APS (American Physical Society). Письмо РФФИ от 10.11.2020 г. № 1265 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных American Physical Society в 2022 г. <http://journals.aps.org/about>

11. Журналы Royal Society of Chemistry

База данных RSC DATABASE издательства Royal Society of Chemistry Письмо РФФИ от 20.10.2020 г. № 1196 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Royal Society of Chemistry в 2022 г. <http://pubs.rsc.org/>

12. Журнал Science (AAAS) <http://www.sciencemag.org/>

13. Единое окно <http://window.edu.ru/>

(интернет ресурс)

14. Дагестанский региональный ресурсный центр <http://rrc.dgu.ru/>

15. Нэикон <http://archive.neicon.ru/>

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- словарь терминов;
- тезисы лекций,
- раздаточный материал по тематике лекций.

Оптимальным путем освоения дисциплины является посещение всех лекций и семинаров, выполнение предлагаемых заданий в виде задач, тестов и устных вопросов.

На лекциях рекомендуется деятельность студента в форме активного слушания, т.е. предполагается возможность задавать вопросы на уточнение понимания темы и рекомендуется конспектирование лекции. На семинарских занятиях деятельность студента заключается в активном обсуждении задач, решенных другими студентами, решении задач самостоятельно, выполнении контрольных заданий. В случае, если студентом пропущено лекционное или семинарское занятие, он может освоить пропущенную тему самостоятельно с опорой на план занятия, рекомендуемую литературу и консультативные рекомендации преподавателя.

Перед проведением экзамена проводится коллективная аудиторная консультация, на которой даются советы по подготовке к экзамену. В целом рекомендуется регулярно посещать занятия и выполнять текущие задания, что обеспечит достаточный уровень готовности к сдаче экзамена.

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

- Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
- Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

Также по данной дисциплине подготовлен электронный курс лекций размещенный на сайте ДГУ.

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

Лекционные и практические занятия проводятся в аудиториях факультета.

Технические средства обучения, используемые в учебном процессе для освоения дисциплины:

1. компьютерное оборудование, которое используется в ходе изложения лекционного материала;
2. пакет плакатов и графиков, используемых в ходе текущей работы, а также для промежуточного и итогового контроля;
3. электронная библиотека курса и Интернет-ресурсы – для самостоятельной работы.