

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Квантовая теория

Кафедра теоретической и вычислительной физики,
физического факультета

Образовательная программа

03.03.02 Физика

Профили подготовки

фундаментальная физика, медицинская физика

Уровень высшего образования Бакалавриат

Форма обучения

очная

Статус дисциплины: обязательная часть
базовый модуль направления

Махачкала 2022

Рабочая программа дисциплины «Квантовая теория» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 - «Физика» от «7» августа 2020г. № 891.

Разработчик: *кафедра теоретической и вычислительной физики*
Алисултанов З.З., д.ф.-м.н.

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры теоретической и вычислительной физики
21 марта 2022г., протокол №7.

Зав. кафедрой



Муртазаев А.К.

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

факультета от

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 теория» входит в обязательную часть образовательной программы бакалавриата по направлению 03.03.02 «Физика».

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой теоретической и вычислительной физики.

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: ОПК-1, ПК-3, ПК-7, ПК-10.

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 экзамена.

Объем дисциплины 4 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семе стр	Учебные занятия								Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированн ый зачет, экзамен
	в том числе								
	Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем						СРС, в том числе экзамен	
		Всего	из них						
			Лекции	Лабораторн ые занятия	Практичес кие занятия	КСР	консульта ции		
7	144	70	34	-	36	-	-	38/36	Экзамен

1. Цели освоения дисциплины

Квантовая теория - это один из разделов общего курса теоретической физики, который является основным в общей системе современной подготовки физиков-профессионалов. Основной целью дисциплины является создание фундаментальной базы знаний, на основе которых можно в дальнейшем развивать более углубленное и целеустремленное изучение различных разделов физики в рамках теоретической физики – специализированных дисциплин.

Данная дисциплина должна сформировать у студентов единую, стройную, логически непротиворечивую физическую картину окружающего нас мира природы, а также микромира. Для этого необходимо построить модели наблюдаемых явлений со строгим обоснованием приближений и рамок, в которых эти модели действуют. В рамках единого квантового подхода необходимо рассматривать все основные явления и процессы, происходящие в микромире, установить связь между ними, вывести основные закономерности и получить их выражение в виде математических уравнений. Необходимо также научить студентов самостоятельно применять полученные теоретические знания для решения конкретных задач с последующим анализом и оценкой полученных результатов.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина входит в обязательную часть образовательной программы бакалавриата по направлению 03.03.02 «Физика». Данная дисциплина является основополагающей вместе с такими дисциплинами как: математический анализ, аналитическая геометрия, дифференциальное и интегральное исчисление, уравнения математической физики, механика, электричество и магнетизм, оптика, теоретическая механика, высшая математика, статистическая физика, квантовая теория поля.

Для ее освоения необходимы знания таких дисциплин, как дифференциальные уравнения, теоретическая механика, 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 (в соответствии с ОПОП)	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1. Выявляет и анализирует проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности, основываясь на современной научной картине мира	Знает: физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности - тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники. Умеет: выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научно-техническую литературу с учетом зарубежного опыта. Владеет: навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем.	Письменный опрос

	ОПК-1.2. Реализует и совершенствует новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности.	Знает: основные понятия, идеи, методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач физики; - новые методологические подходы к решению задач в области профессиональной деятельности. Умеет: реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности. Владеет: навыками реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности.	
	ОПК-1.3. Проводит качественный и количественный анализ выбранного методов решения выявленной проблемы, при необходимости вносит необходимые коррективы.	Знает: основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы. Умеет: выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата. Владеет: - навыками проводить качественный и количественный анализ методов решения выявленной проблемы, оценивать эффективность выбранного метода.	
ПК-3. Способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности	ПК-3.1. Использует теоретические и практические знания для постановки и решения педагогических задач в предметной	Знает: содержание, сущность, закономерности, принципы и особенности изучаемых явлений и процессов, базовые теории в предметной области; закономерности, определяющие место	Разноуровневые задачи и задания

	области и в области образования ПК-3.2. Способен соотносить основные этапы развития предметной области с ее актуальными задачами, методами и концептуальными подходами, тенденциями и перспективами ее современного развития	предмета в общей картине мира; программы и учебники по преподаваемому предмету; основы общетеоретических дисциплин в объеме, необходимом для решения педагогических, научно-методических и организационно-управленческих задач (педагогика, методика преподавания предмета.)	
	ПК-3.3. Способен выделять структурные элементы, входящие в систему познания предметной области, анализировать их в единстве содержания, формы и выполняемых функций	Умеет: анализировать базовые предметные научно-теоретические представления о сущности, закономерностях, принципах и особенностях изучаемых явлений и процессов. Владеет: навыками понимания и системного анализа базовых научно-теоретических представлений для решения профессиональных задач.	
ПК-7. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики смежных с физикой науках	ПК-7.1. Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий исследований	Знает: теоретические и экспериментальные основы современных методов исследований изучаемых процессов и явлений. Умеет: самостоятельно ставить задачу и решать ее; использовать достижения современных информационно-	Устный опрос, письменный опрос
ПК-10 Владеет методами теоретической физики в применении к профессиональным задачам.	ПК-10.1. Владеет специальными знаниями в области квантовой теории.	Знает: основные физические явления и основные принципы квантовой теории, границы их применения и применение принципов в важнейших практических приложениях; основные физические величины и константы	

		теоретической физики, их определения, смысл, способы и единицы измерения; фундаментальные физические эксперименты в области исследования частиц и волн, и их роль в развитии науки. Умеет: объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления, эффекты и точки зрения фундаментальных физических взаимодействий; указать какие законы описывают то или иное явление (эффект); интерпретировать смысл физических величин и понятий; использовать методы адекватного физического и математического моделирования и методы теоретического анализа к решению конкретных проблем. Владеет: навыками использования основных физических законов и принципов в практических приложениях; навыками применения основных методов теоретического анализа для решения естественнонаучных задач; анализом полученных экспериментальных результатов в исследовании процессов, происходящих в микромире, адекватное соответствие результатов той или иной теоретической модели.	
	ПК-10.2. Владеет специальными знаниями в	Знает: основные законы динамики материальной точки и	

	области теоретической механики и электродинамики	системы материальных точек; основные законы движения материальной точки относительно неинерциальных систем отсчета; колебания систем со многими степенями свободы и их основные характеристики; законы и принципы аналитической механики, электродинамики; движение материальной точки при больших скоростях; основные уравнения гидродинамики и электродинамики. Умеет: объяснить физические наблюдаемые природные и другие явления с помощью законов и методов теоретической механики и электродинамики; определить какие законы описывают данное явление или эффект; использовать методы абстракции, физического и математического моделирования для решения конкретных задач в области теоретической механики и электродинамики. Владеет: основными физическими законами и принципами использования теоретической механики и электродинамики в практических приложениях; методами использования основных методов теоретического анализа для решения естественно-научных задач; анализом	
--	---	--	--

		полученных экспериментальных результатов в исследовании процессов, происходящих в микромире, адекватное соответствие результатов той или иной теоретической модели.	
	ПК-10.3. Применяет методы математической физики для постановки и решения задач в профессиональной деятельности	Знает: теоретические основы, основные понятия, законы и модели линейных и нелинейных уравнений математической физики. Умеет: понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями и моделями линейных и нелинейных уравнений математической физики. Владеет: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации	
	ПК-10.4. Способен использовать основные методы теоретической физики.	Знает: основные этапы развития и возникновения теоретической физики, об ученых, внесших основной вклад в развитии теоретической физики; основные законы и методы теоретической физики; возможности применения этих законов и методов для освоения, изучения дисциплин, как квантовая механика, термодинамика, статфизика и т.д.; основные стандарты, формы, правила составления научной документации и их отдельные	

		особенности. Умеет: критически оценивать следствия тех или иных решений, открытий в теоретической физике, на дальнейший ход развития науки в целом; применять знания, полученные при изучении теоретической физики, для решения конкретных физических задач; 39 39 разработать вариант решения различных задач смежных дисциплин на основе законов теоретической физики; написать статьи, доклады для выступления на различных форумах, заседаниях, семинарах. Владеет: возможностью применять методы теоретической физики, ход и историю развития теоретической физики для формирования общих взглядов на характер науки, научных исследований; типовыми методологиями, приемами, технологиями, применяемыми при написании, составлении обзоров проведенных научных исследований; существующими методами, законами теоретической физики, которые можно применить для решения задач в различных областях человеческой деятельности.	
--	--	--	--

5. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоят. работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные	Контроль		
Модуль 1. Основные понятия квантовой теории.									
1.	Основные постулаты квантовой механики. Предмет квантовой теории.	7		4	4			4	опрос
2.	Понятие состояний в квантовой теории.			4	4			4	опрос
3.	Динамические переменные в квантовой механике. Операторы и их собственные функции и собственные значения			4	4			4	опрос
Итого по модулю 1				12	12			12	коллоквиум
Модуль 2. Основные методы квантовой теории.									
1.	Изменение состояний со временем. Уравнение Шредингера.	7		2	4			4	опрос
2.	Стационарные состояния Гамильтониан.			2	2			4	опрос
3.	Чистые и смешанные состояния. Волновая функция. Матрица плотности			2	2			4	опрос
4.	Уравнения движения квантовой механики. Теоремы Эренфеста. Интегралы движения.			2	2			6	опрос
Итого по модулю 2				8	10			18	контрольная работа
Модуль 3. Некоторые приложения квантовой теории.									

1.	Квантовый гармонический осциллятор.	7		2	2			2	опрос
2.	Собственные значения и собственные функции осциллятора.			2	2			2	опрос
3.	Движение частицы в центрально-симметричном поле. Оператор момента импульса. Собственные функции и собственные значения.			2	2			2	опрос
4.	Атом водорода. Собственные функции и собственные значения.			2	2			2	опрос
5.	Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.			2	2			2	опрос
6.	Уравнение Паули. Спиновые функции.			4	2				опрос
Итого по модулю 3				14	14			8	контрольная работа
Модуль 4. Подготовка к экзамену			7					36	экзамен
ИТОГО				34	36			48/36	

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

4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.

Модуль 1. Основные понятия и методы квантовой теории

Введение. Понятие состояний в квантовой теории. Динамические переменные в квантовой механике. Элементы теории представлений.

Модуль 2. Основные методы квантовой теории.

Изменение векторов состояния со временем. Чистые и смешанные состояния. Некоторые приложения квантовой теории. Приближенные методы квантовой теории. Оператор Гамильтона. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Уравнение непрерывности. Уравнения движения в квантовой механике. Интегралы движения.

Модуль 3. Некоторые приложения квантовой 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. Уравнение Паули. Спинорные функции.

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.	2
Операторы и их свойства	Собственные функции и собственные значения операторов квантовой механики. Свойства операторов. Коммутационные соотношения.	2
Модуль 2. Основные методы квантовой теории.		
Уравнение Шредингера.	Стационарное состояние.	2
	Волновая функция стационарного состояния и ее свойства.	2
	Уравнение Шредингера.	2
Уравнения движения.	Интегралы движения и их связь с симметрией системы. Теоремы Эренфеста.	2
Общая теория моментов.	Момент импульса в сферических координатах. Орбитальный, магнитный и спиновый моменты.	2
Модуль 3. Некоторые приложения квантовой теории.		
Гармонический осциллятор.	Собственные функции и собственные значения энергии.	4
Движения в центрально симметричном поле.	Оператор момента импульса.	2
	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

6. Образовательные технологии

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

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 контролирующие 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.

7. 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
Основные понятия и исходные положения квантовой теории.	Выяснение ограниченности классической теории и необходимости перехода к квантовым понятиям. Понимание корпускулярно-волнового дуализма. Волновая функция и ее вероятная интерпретация. Рассмотреть принцип причинности, а также перспективы развития квантовой теории.
Понятие состояний в квантовой теории.	Здесь необходимо иметь четкое представление о векторах и совекторах состояний и о пространстве Гильберта. Понимать, для чего нужно использовать, условие нормировки различных термодинамических процессов. Принципы адиабатической и

Динамические параметры в квантовой теории.	Рассмотреть операторы наблюдаемых и как они действуют на вектора состояний, какими свойствами они обладают. Суметь находить собственные функции и собственные значения операторов, какие спектры собственных значений. Нахождение средних значений. Кроме того, необходимо уметь разлагать векторы состояния по системе собственных векторов
Элементы теории представлений.	Необходимо понять какие представления векторов состояний и операторов встречаются в квантовой механике, и уметь переходить от одного представления к другому. Кроме того, уметь использовать унитарное преобразование и разобраться в свойствах унитарного
Изменение векторов состояний со временем.	Рассмотреть каким образом появилось уравнение Шредингера. Понять смысл оператора Гамильтона, как в случае свободной частицы, так и при наличии внешних возмущающих факторов. Разобраться, что значит стационарное состояние и почему волновая функция такого состояния зависит от времени. Различие квантовых и классических скобок Пуассона. Рассмотреть также представления Шредингера, Гейзенберга и взаимодействия. Их отличительные черты. Законы изменения и сохранения физических величин и связь интегралов движения с симметрией
Чистые и смешанные состояния.	Понимание понятий чистого и смешанного состояний. Выяснение, почему смешанные состояния нельзя описывать волновой функцией и необходимости введения матрицы плотности. Кроме того, умение использовать матрицу плотности для вычисления

Некоторые приложения квантовой теории.	Здесь необходимо рассмотреть задачу линейного гармонического осциллятора в координатном импульсном, энергетическом представлении и представлении чисел заполнения. Разобраться в появлении операторов рождения и уничтожения. Необходимо понять, как и почему возникают полиномы Эрмита. Рассмотреть оператор момента импульса и использовать его собственные функции и собственные значения при решении задачи движения частицы в поле центральных сил. Кроме того, здесь необходимо уметь использовать знания для решения задачи движения частицы в периодическом поле и рассмотреть зонную
Теория моментов.	Рассмотреть все моменты и обратить внимание на спин электрона как пример системы с полуцелым моментом. Иметь четкое представление о собственных векторах и собственных значениях оператора спина электрона и матрицах Паули. Здесь же необходимо рассмотреть уравнение Паули и его отличительные черты. Необходимо также уметь складывать моменты
Приближенные методы квантовой теории.	Необходимо иметь представление о квазиклассическом приближении и методе БВК. Рассмотреть как пример туннельный эффект и с помощью теории возмущений показать различие в спектре при наличии и отсутствии вырождения. Обосновать эффект Штарка. Рассмотреть каким образом происходят квантовые переходы под действием нестационарного возмущения. Рассмотреть
Упругое рассеяние частиц.	Понять рассеяние в борновском приближении и условия его применения. Получить и обосновать формулу Резерфорда. Рассмотреть S и T-матрицы рассеяния и их смысл.
Теория излучения.	Здесь необходимо четко выяснить какие виды излучения встречаются, и чем они отличаются друг от друга. Кроме того, надо понять квантовую теорию дисперсии.

Ограниченность нерелятивистской квантовой теории и необходимость учета релятивистских	Вывести уравнение Клейна-Гордона и показать его применимость для описания частиц с нулевым спином. Рассмотреть также приложения уравнения Клейна - Гордона. Суметь получить выражения для плотности тока и заряда. Понять возникновение частиц и античастиц.
Уравнение Дирака	Рассмотреть, почему уравнение Дирака записывает в гамильтоновой и ковариантной формах и его применимость к описанию частиц со спином $\frac{1}{2}$. Получить уравнение непрерывности. Выяснить смысл ковариантности уравнения Дирака относительно пространственно-временных вращений и преобразований P, T и C. Разобраться в различных
Приближенное решение уравнения Дирака.	Рассмотреть собственный, угловой и полный моменты в теории Дирака. Обосновать возможность рождения электрон-позитронных пар электрическим полем. Выяснить смысл спин-орбитального, контактного и релятивистского эффектов, а также получение тонкой и
Тождественные частицы	Рассмотреть систему тождественных частиц, например, электронов и показать существование симметричных и антисимметричных состояний с использованием принципа Паули. В зависимости от состояния спина электронов различают пара- и орто- состояния. Рассмотреть, как обстоит дело с атомом гелия и молекулой водорода. Используя метод Хартри - Фока можно выяснить строение сложных атомов. Здесь же необходимо рассмотреть статистический метод Томаса-
Вторичное квантование	Надо ясно представить смысл вторичного квантования. Рассмотреть в чем различие между вторичным квантованием в случае Бозе и Ферми частиц. Суметь представить оператор Гамильтона в представлении вторичного квантования, а также разобраться со вторичным квантованием электромагнитного поля и квантованием колебаний в твердом теле. Иметь ясное

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.

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

7.1. Типовые контрольные задания.

7.1.1. Перечень вопросов к коллоквиумам.

Первый коллоквиум.

1. Ограниченность классической теории и необходимость перехода к квантовым представлениям. Волновая функция и принцип суперпозиции состояний.
2. Вероятностное истолкование волновой функции. Перспективы развития квантовой теории.
3. Векторы и совекторы состояний. Условие нормировки. Гильбертово пространство. Собственные функции и собственные значения операторов.
4. Спектр собственных значений и физическая интерпретация. Свойства собственных функций (векторов). Нормировка собственных векторов в случаях дискретного и непрерывного
5. Нахождение средних значений физических величин. Соотношение неопределенностей для некоммутирующих наблюдаемых.
6. Координатное, импульсное и матричное представления векторов состояний и операторов.
7. Унитарные преобразования и их свойства.
8. Оператор Гамильтона. Уравнение Шредингера. Стационарное состояние. Уравнение непрерывности.
9. Законы изменения и сохранения физических величин. Связь интегралов движения с симметрией системы.
10. Представления Гейзенберга, Шредингера и взаимодействия.
11. S-матричная формулировка квантовой теории. Вероятность перехода системы из начального в конечное состояние.
12. Понятие чистого и смешанного состояний. Матрица плотности.
13. Соотношение квантовой и классической теории. Теоремы Эренфеста.
14. Линейный гармонический осциллятор в координатном представлении.
15. Линейный гармонический осциллятор в импульсном и матричном представлениях.
16. Теория движения частиц в центрально-симметричном поле. Собственные значения и собственные функции оператора момента импульса.
17. Теория водородоподобного атома. Энергетический спектр и собственные значения атома.
18. Движение электрона в периодическом поле. Зонная структура энергетического спектра.

19. Собственные значения и собственные векторы моментов. Спин электрона.
20. Уравнение Паули, матрицы Паули и их свойства.
21. Векторное сложение моментов. Коэффициенты Клейна-Гордона.

Второй коллоквиум.

1. Квазиклассическое представление, метод БВК. Туннельный эффект.
2. Стационарная теория возмущений для задач с дискретным спектром.
3. Эффект Штарка. Теория возмущений при наличии вырождения.
4. Нестационарная теория возмущений.
5. Сечение упругого рассеяния в первом борновском приближении.
6. S и T матрицы рассеяния. Простейшие диаграммы Фейнмана.
7. Интенсивность вынужденного и спонтанного излучений в дипольном приближении.
8. Квантовая теория дисперсии.
9. Уравнение Клейна-Гордона и его применимость к описанию частиц с нулевым спином.
10. Плотность заряда и тока и нормировка уравнению Клейна-Гордона.
11. Уравнение Дирака в Гамильтоновской форме.
12. Уравнение Дирака в ковариантной форме.
13. Матрицы Дирака и их свойства. Уравнение непрерывности.
14. Ковариантность уравнения Дирака относительно пространственно-временных вращений.
15. Угловой, собственный и полный моменты в теории Дирака.
16. Решение уравнения Дирака для свободной частицы.

Третий коллоквиум.

1. Квазирелятивистское приближение уравнения Дирака во внешнем электромагнитном поле.
2. Тонкая и сверхтонкая структура энергетического спектра атомов.
3. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана.
4. Основное уравнение для системы частиц. Тождественные частицы.
5. Симметричное и антисимметричное состояния и их волновые функции.
6. Принцип Паули и принцип неразличимости тождественных частиц в квантовой механике.
7. Обменные эффекты при рассеянии частиц с целым и полуцелым спином.
8. Теория двухэлектронных атомов.
9. Пара и орто-состояния и вклад обменных эффектов.
10. Многоэлектронные атомы и метод Хартри-Фока.
11. Строение сложных атомов. Система элементов Менделеева.
12. Статистический метод Томаса-Ферми.
13. Вторичное квантование и его смысл.
14. Вторичное квантование в случае бозонов и фермионов.
15. Оператор Гамильтона в представлении вторичного квантования.

16. Вторичное квантование свободного электромагнитного поля.
 17. Понятие фотона и фонона.

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

- Оператор импульса $\vec{P}$ имеет вид:
 - $-i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$,
 - $i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$,
 - $-i\hbar \nabla$,
 - $i\hbar \nabla$.
- Оператор проекции момента импульса $\hat{M}_z$ в декартовых координатах равен:
 - $i\hbar(z \frac{\partial}{\partial y} - y \frac{\partial}{\partial z})$,
 - $i\hbar(y \frac{\partial}{\partial z} - z \frac{\partial}{\partial y})$,
 - $-i\hbar(z \frac{\partial}{\partial y} - y \frac{\partial}{\partial z})$,
 - $i\hbar(y \frac{\partial}{\partial z} - z \frac{\partial}{\partial y})$,
 - $i\hbar(x \frac{\partial}{\partial y} - y \frac{\partial}{\partial x})$.
- Оператор $\hat{M}_x$ в сферических координатах записывается в виде:
 - $i\hbar \frac{\partial}{\partial \varphi}$,
 - $i\hbar(\sin \varphi \frac{\partial}{\partial \theta} + \operatorname{ctg} \theta \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi})$,
 - $-i\hbar \frac{\partial}{\partial \varphi}$,
 - $-i\hbar(\cos \varphi \frac{\partial}{\partial \theta} - \operatorname{ctg} \theta \sin \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi})$,
 - $-i\hbar(\cos \varphi \frac{\partial}{\partial \theta} + \operatorname{ctg} \theta \sin \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi})$.
- Собственные значения оператора M_z равны:
 - $\frac{\hbar}{2}$,
 - $-\hbar m$ (m - целое число) ,
 - $\hbar m$ (m - полуцелое число) ,
 - $\hbar m$ (где $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$) ,
 - $-\hbar m$ (где $m=0, 1, 2, \dots, n$)
- Гамильтониан для частицы в силовом поле имеет вид:
 - $\frac{1}{2m}(\hat{P} - \frac{e}{c}\hat{A})^2 + eV + U$,
 - $\frac{1}{2m}(\hat{P} + \frac{e}{c}\hat{A})^2 + eV$,
 - $\frac{1}{2m}(\hat{P} + \frac{e}{c}\hat{A})^2 + eV + U$,
 - $\frac{1}{2m}\hat{P}^2 + U$,
 - $\frac{1}{2}\nabla^2 + U + eV$.
- Плотность тока вероятности $\vec{j}$ в уравнении Шредингера записывается в виде:
 - $\vec{j} = \frac{i\hbar}{2m}(\nabla \psi^* - \nabla \psi)$,
 - $\vec{j} = \operatorname{div}(\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*)$,
 - $\vec{j} = \frac{i\hbar}{2m}(\psi \nabla \psi^* - \psi^* \nabla \psi)$,
 - $\vec{j} = \frac{1}{2m} \operatorname{div}(\psi \nabla \psi^* - \psi^* \nabla \psi)$.
- Волновые функции плоского ротатора
 - $\psi_m(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{im\varphi}$,
 - $\psi_m(\varphi) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{im\varphi}$,
 - $\psi_m(\varphi) = \sqrt{2\pi} e^{-im\varphi}$,
 - $\psi_m(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\pm im\varphi}$,
 - $\psi_m(\varphi) = \frac{i}{\sqrt{2\pi}} e^{-im\varphi}$.
- Фотон γ -излучения , длина волны которого 0,1 мм, имеет массу (в кг).
 - $1,2 \cdot 10^{-28}$,
 - $2,8 \cdot 10^{-34}$,
 - $2,2 \cdot 10^{-32}$,
 - $1,8 \cdot 10^{-30}$,
 - $2,2 \cdot 10^{-34}$.

9. В сферических координатах для одной частицы $\hat{M}_y$ равен

- 1) $\exp\{-i\varphi(\frac{\partial}{\partial\theta} + i\operatorname{ctg}\theta\frac{\partial}{\partial\varphi})\}$, 2) $i(\cos\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} + \operatorname{ctg}\theta\sin\varphi\frac{\partial}{\partial\varphi})$,
 3) $\exp\{i\varphi(\frac{\partial}{\partial\theta} + i\operatorname{ctg}\theta\frac{\partial}{\partial\varphi})\}$, 4) $-i(\cos\varphi\frac{\partial}{\partial\theta} + \operatorname{ctg}\theta\sin\varphi\frac{\partial}{\partial\varphi})$.

10. Длина волны де Бройля λ для нерелятивистского электрона (может быть более одного ответа)

- 1) $\frac{c}{\sqrt{2m_0E}}$, 2) $\frac{\hbar}{\sqrt{2m_0E}}$, 3) $\frac{\hbar c}{\sqrt{2m_0E}}$, 4) $\frac{\hbar c}{\sqrt{2m_0c^2E}}$, 5) $\frac{\hbar}{\sqrt{2m_0c}}$.

11. Пространственное квантование орбитального момента импульса электрона $\vec{M}$ состоит в:

- 1) непрерывном изменении в величине.
 2) непрерывном изменении по направлению.
 3) дискретном изменении по величине.
 4) дискретном изменении ориентации $\vec{M}$ в пространстве.
 5) дискретном изменении $\vec{M}$ как по величине, так и ориентации.

12. Максимальное число различных волновых функций в случае $n=4$ равно:

- 1) 20, 2) 28, 3) 36, 4) 32, 5) 38.

13. Стационарное уравнение Шредингера

- 1) $\hat{H}\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$, 2) $\hat{H}\psi = 0$, 3) $\hat{H}\psi = E\psi$, 4) $-\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = \hat{H}\psi$.

14. Дискретные значения энергии, отвечающие движению в плоскости, перпендикулярной внешнему однородному магнитному полю, называется

- 1) уровнями Ферми, 2) уровнями Дирака, 3) квантово-механическими уровнями,
 4) сверхтонкими уровнями, 5) уровнями Ландау.

15. Собственные значения оператора $\hat{M}^2$ равны:

- 1) $\hbar\ell(\ell+1)$, 2) $\hbar^2(\ell+1)$, 3) $\hbar(\ell+1)$, 4) $\hbar^2\ell(\ell+1)$, 5) $-\hbar^2\ell(\ell+1)$.

16. Коммутатор оператора $\hat{M}^2$ с оператором Гамильтона свободной частицы равен:

- 1) $\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2$, 2) $\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + \frac{\hbar^2}{2m}$, 3) $\frac{\hbar^2}{2m}(i\nabla^2)$, 4) 0, 5) $-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2$.

17. Орбитальный момент количества движения M электрона в атоме.

- 1) $\hbar\ell(\ell+1)$, 2) $\hbar\sqrt{\ell(\ell+1)}$, 3) $\hbar^2\ell(\ell+1)$, 4) $\hbar\sqrt{\ell(\ell+1)}$.

18. Оператор координаты в импульсном виде:

- 1) $\hat{x} = x$, 2) $\hat{x} = -i\hbar\frac{\partial}{\partial x}$, 3) $\hat{x} = \hbar i\frac{\partial}{\partial P_x}$, 4) $\hat{x} = i\hbar\frac{\partial}{\partial x}$, 5) $\hat{x} = \hbar\frac{\partial}{\partial P_x}$.

19. Матрица S называется унитарной, если:

- 1) $S \cdot S^{-1} = 1$, 2) $S \cdot S^* = 1$, 3) $S \cdot S^* = 1$, 4) $S \cdot S^* = S^+$, 5) $S \cdot S^+ = S$.

20. Максимальное число волновых функций при $n=4$ равно:

- 1) 20, 2) 36, 3) 38, 4) 32, 5) 16.

21. В сферических координатах $\hat{M}_+ = \hat{M}_x + i\hat{M}_y$ равны:

- 1) $i(\cos \varphi \frac{\partial}{\partial \theta} + \operatorname{ctg} \theta \sin \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi})$, 2) $\exp[i\varphi (\frac{\partial}{\partial \theta} + i \operatorname{ctg} \theta \frac{\partial}{\partial \varphi})]$,
3) $i(\sin \varphi \frac{\partial}{\partial \theta} + \operatorname{ctg} \theta \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi})$, 4) $\exp[-i\varphi (-\frac{\partial}{\partial \theta} + i \operatorname{ctg} \theta \frac{\partial}{\partial \varphi})]$.

22. Коммутатор оператора $\hat{M}^2$ с гамильтонианом свободной нерелятивистской частицы

- 1) $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla$, 2) $\frac{\hbar^2}{2m} \nabla$, 3) $-\frac{\hbar^2}{2m}$, 4) 0, 5) $-\frac{\hbar^3}{2m} \Delta$.

23. Коммутатор оператора $\hat{S} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \sigma_0 \\ 0 \end{pmatrix}$ с гамильтонианом свободной нерелятивистской частицы.

- 1) 0, 2) $-\frac{\hbar^2}{m} \hat{S}$, 3) $-\frac{\hbar^3}{2m} \hat{S}$, 4) $\frac{\hbar^3}{2m} \hat{S}$, 5) $\frac{\hbar^2}{2m} \hat{S}$.

24. Коммутатор оператора $\hat{S}^2$ с гамильтонианом свободной нерелятивистской частицы:

- 1) $\frac{\hbar^2}{2m}$, 2) 0, 3) $\frac{\hbar^2}{m}$, 4) $\frac{\hbar^2}{2m}$, 5) $-\frac{\hbar^3}{2m}$.

25. Максимальное число электронов, обладающих заданным главным квантовым числом n , равно:

- 1) n^2 , 2) $2(n+1)^2$, 3) $2n^2$, 4) $n(n-1)^2$, 5) $n(n+1)$.

26. Квант магнитного потока:

- 1) $\frac{\hbar c}{4e}$, 2) $\frac{2\hbar c}{e}$, 3) $\frac{\hbar c}{2e}$, 4) $\frac{\hbar c}{e}$, 5) $\frac{\hbar e}{c}$.

27. Дискретные значения энергии, отвечающие движению в плоскости, перпендикулярной внешнему однородному магнитному полю, называется:

- 1) уровнями Ферми, 2) уровнями Ландау, 3) сверхтонкими уровнями,
4), квантово-механическими уровнями, 5) тонкими уровнями.

28. Расщепление уровней энергии атоме во внешнем слабом электрическом поле есть эффект:

- 1) Пашена-Бака, 2) Рамзауэра, 3) Штарка, 4) Зеемана, 5) аномальный эффект Зеемана.

29. При разрыве спин-орбитальной связи в сильном магнитном поле наблюдается:

- 1) аномальный эффект Зеемана 2) Эффект Штарка, 3) Эффект Пашена- Бака, 4) нормальный эффект Зеемана.

30. Собственные функции оператора момента импульса:

- 1) сферические функции, 2) эллиптические функции, 3) полиномы Эрмита, 4) полиномы Лаггера, 5) полиномы Лагранжа.

31. Коммутатор $\hat{M}_i$ с r^{-2} равен:

- 1) $i\varepsilon_{ijk}P_k$, 2) $\delta_{ij}x_j$, 3) 0, 4) $i\varepsilon_{ijk}P_kx_k$, 5) 0

7.1.3. Тематика контрольных работ

1. Свойства операторов. Уравнение Шредингера. Стационарные состояния.
2. Некоторые приложения квантовой теории. Гармонический осциллятор. Атом водорода. Молекула водорода. Атом гелия.
3. Релятивистское квантовое уравнение Дирака. Матрица Дирака. Решение уравнения Дирака для конкретных случаев.

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. Брайан Клегг Квантовая теория [Электронный ресурс] / Клегг Брайан. — Электрон. текстовые данные. — М. : РИПОЛ классик, 2014. — 160 с. — 978-5-386-07920-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71429.html>
2. Тюрин А.Н. Квантование, классическая и квантовая теории поля и тэта-функции [Электронный ресурс] / А.Н. Тюрин. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2003. — 168 с. — 5-93972-284-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16539.html>
3. Борчердс Р.Е. Квантовая теория поля [Электронный ресурс] / Р.Е. Борчердс. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. — 96 с. — 978-5-93972-627-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16540.html>
4. Блохинцев Д.И. «Основы квантовой механики» М: Наука, 1983.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. , Т.3: Квантовая механика: нерелятивистская теория, М.: Физматлит, 2004. - 800 с
6. Давыдов Л.Д. «Квантовая механика » М.: Наука, 1973.
7. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. «Квантовая механика» М.: Наука, 1979.
8. Галицкий В.М., Корнаков Б.М., Кочан В.И. «Задачи по квантовой механике» М., Наука, 1972
9. Гречко Л.Г., Сугаков В.И., Томасевич О.Ф., Федорченко А.М «Сборник задач по теоретической физике», изд. «Высшая школа» 1984.

б) дополнительная литература:

1. Дирак П.А. «Принципы квантовой механики» М., Физмат, 1960.
2. Елютин П.В., Кравченко В.Д. «Квантовая механика с задачами» М.: Наука, 1976.
3. Фок В.А. «Начала квантовой механики» М.: Наука, 1976.
4. Абдурахманов А.А., Мусаев Г.М. «Методические указания по решению задач квантовой механики» Махачкала, 1988.

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

1. Международная база данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. Научные журналы и обзоры издательства Elsevier <http://www.sciencedirect.com/>
3. Ресурсы Российской электронной библиотеки www.elibrary.ru, включая научные обзоры журнала Успехи физических наук www.ufn.ru
4. Региональный ресурсный Центр образовательных ресурсов <http://rrc.dgu.ru/>
5. Электронные ресурсы Издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>
6. <http://physweb.ru/db/section/e190500000>
7. Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ <http://lib.mexmat.ru/>
8. Научно-образовательный центр при МИАН <http://www.mi.ras.ru/>
9. Книги по электродинамике <http://www.sciteclibrary.ru/cgi-bin/yabb2/YaBB.pl?num=1170686788>

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.