

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный университет»
Факультет педагогики, психологии и коммуникативистики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе,
качеству образования – первый
проректор
Хайбуллин Т.А.
подпись
«27» мая 2022



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ Б1.О.19.10 КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Направление подготовки *44.03.05 Педагогическое образование*
(с двумя профилями подготовки)

Направленность (профиль) *Технологическое образование, Физика*

Программа подготовки *академическая*

Форма обучения *очная*

Квалификация выпускника – *бакалавр*

Краснодар 2022

Рабочая программа дисциплины «*Квантовая механика*» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), профиль: Технологическое образование, Физика

код и наименование направления подготовки

Программу составили:

Парфенова И.А., доц., канд.техн.наук, доц.



подпись

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры технологии и предпринимательства протокол № 10 «18» мая 2022 г.

Заведующий кафедрой
технологии и предпринимательства


Сажина Н.М.



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета педагогики, психологии и коммуникативистики протокол № 10 «19» мая 2022 г.

Председатель УМК факультета Гребенникова В.М.



подпись

Рецензенты:

Копытов Г.Ф. Заведующий кафедрой радиофизики и нанотехнологий физико-технического факультета ФГБОУ ВО «КубГУ» доктор физико-математических наук, профессор

Половодов Ю.А. Генеральный директор ООО «КПК», кандидат педагогических наук, доцент

1. Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель дисциплины

Целью курса является ознакомление студентов со специфическими квантовыми свойствами и закономерностями микрообъектов, с применением законов квантовой механики для анализа физических явлений и процессов.

1.2 Задачи дисциплины

- формирование основных понятий и представлений квантовой механики;
- ознакомление студентов с основными методами и их использованием для решения ряда конкретных задач;
- создание базы для изучения последующих разделов курса теоретической физики;
- обсуждение приложений квантовой механики, предсказанных на основе квантовых свойств и закономерностей микрообъектов;
- формирование у будущих учителей представления о квантовой теории как фундаменте современной физики и как важнейшей составной части общечеловеческой культуры.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Квантовая механика» относится к Модулю "Основы предметных знаний по профилю «Физика»". Модуль относится к обязательной части и является базовым теоретическим и практическим основанием для подготовки бакалавров по профилю «Физика».

Квантовая механика является одним из главных достижений научной мысли XX века. Наряду с теорией относительности она составляет фундамент современной физики. Она опирается на значительно более сложный, по сравнению с классической механикой, математический аппарат. Программа курса предусматривает изучение трёх физически эквивалентных формулировок квантовой механики: волновой механики Шрёдингера, матричной механики Гейзенберга и векторной квантовой механики Дирака.

Изучение дисциплины «Квантовая механика» базируется на знаниях, умениях, навыках, сформированных в процессе изучения дисциплин «Механика», «Математические методы в физике» и школьном курсе физики.

Понятия, законы и методы, введенные в дисциплине «Квантовая механика», будут использоваться при изучении дисциплин «Электродинамика и теория относительности», «Термодинамика, статистическая физика и физическая кинетика», а также для последующего прохождения педагогической практики, подготовки к итоговой государственной аттестации.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Дисциплина «Квантовая механика» обеспечивает инструментарий формирования следующих профессиональных компетенций бакалавров

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1. Способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности	
ИПК-1.1. Понимает сущность, закономерности, принципы и особенности изучаемых явлений и	знает предмет, цель, задачи и методы физики, её место в системе наук; фундаментальные физические теории и законы; понимать, анализировать физическую сущность явлений

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
процессов, базовых теорий в области физики и технологии	и процессов, происходящих в природе и технике
	умеет приобретать новые научно-теоретические знания
	владеет навыками применения физических теорий к анализу простейших теоретических и прикладных вопросов
ПК-2 Способен конструировать содержание образования в предметной области в соответствии с требованиями ФГОС основного и среднего общего образования, с уровнем развития современной науки и с учетом возрастных особенностей обучающихся	
ИПК-2.1. Определяет приоритетные направления развития образовательной системы РФ, требования ФГОС, примерных образовательных программ по учебным предметам «Физика» и «Технология»	знает методы и приёмы постановки физического эксперимента, способы его математической обработки; знать методы и приёмы решения конкретных физических задач, физические приложения математических понятий
	умеет применять базовые знания для решения теоретических и практических физических задач, правильно организовывать физические наблюдения и эксперименты, анализировать их результаты, осуществлять построение математических моделей физических явлений и процессов
	владеет навыками проведения физических наблюдений и экспериментов, решения простейших теоретических и прикладных задач

2. Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице (для студентов ОФО).

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры (часы)			
		8			
Контактная работа, в том числе:	56,3	56,3			
Аудиторные занятия (всего):	44	44			
Занятия лекционного типа	24	24	-	-	-
Лабораторные занятия	-	-	-	-	-
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)	28	28	-	-	-
Иная контактная работа:					
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4			
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,3	0,3			
Самостоятельная работа, в том числе:	25	25			
Курсовая работа	-	-	-	-	-
Проработка учебного (теоретического) материала	18	18	-	-	-
Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)	17	17	-	-	-

Реферат		4	4	-	-	-
Подготовка к текущему контролю		8	8	-	-	-
Контроль:						
Подготовка к экзамену		26,7	26,7			
Общая трудоемкость	час.	108	108	-	-	-
	в том числе контактная работа	50,3	50,3			
	зач. ед	3	3			

2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины. Разделы дисциплины, изучаемые в 8 семестре (для студентов ОФО)

2.3 Содержание разделов дисциплины:

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Экспериментальные основы и математический аппарат квантовой механики		4	4	-	4
2.	Волновая функция и ее свойства		4	4		4
3.	Операторы физических величин. Собственные функции, собственные значения, средние.		4	6		4
4.	Точно решаемые квантово-механические задачи. Одномерное движение. Движение в поле центральных сил		4	6	-	5
5.	Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений		4	4	-	4
6.	Спин и системы тождественных частиц		4	4	-	4
	ИТОГО		24	28	-	25

2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1.	Экспериментальные основы и математический	Место квантовой механики на карте науки. Основные этапы становления квантовой теории. Квантовая теория как	Контрольная работа №1- по разделу, коллоквиум

	<p>аппарат квантовой механики</p>	<p>важнейшая составная часть общечеловеческой культуры. Экспериментальные основы квантовой механики. Несостоятельность классической физики при объяснении атомных явлений (распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела; модель атома Резерфорда и проблема ее устойчивости; линейчатый характер атомных спектров). Постулаты Бора и их экспериментальное подтверждение. Квантование круговых орбит в атоме водорода. Уровни энергии и спектральные серии водородоподобного атома. Трудности теории Бора. Элементарная квантовая теория света и объяснение на ее основе фотоэлектрического эффекта, эффекта Комптона. Гипотеза де Бройля о корпускулярно-волновой природе микрочастиц и ее экспериментальные подтверждения (опыты по дифракции электронов, нейтронов, атомов и молекул).</p> <p>Математический аппарат квантовой механики. Понятие о волновой функции квантово-механической системы. Статистическое толкование волн де Бройля. Вероятностный характер законов квантовой механики. Уравнение Шрёдингера для свободной частицы и частицы во внешнем потенциальном поле. Стационарные состояния. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний. Уравнение непрерывности в квантовой механике. Вектор плотности потока вероятности.</p> <p>Принцип суперпозиции состояний в квантовой механике. Изображение физических величин линейными самосопряженными операторами. Операторы координаты, импульса, момента количества движения, энергии. Теоремы о собственных функциях и собственных значениях линейных самосопряженных операторов. Средние значения физических величин и вероятности их дозволённых значений. Соотношения коммутации. Понятие о полном наборе физических величин. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса. Неравенство</p>	
--	-----------------------------------	--	--

		<p>Гейзенберга. Критика ошибочных толкований соотношений неопределенностей. Роль процесса измерения в квантовой механике. Дифференцирование операторов по времени и законы сохранения в квантовой механике. Связь законов сохранения с симметрией пространства и времени.</p>	
2.	<p>Точно решаемые квантово-механические задачи. Одномерное движение. Движение в поле центральных сил</p>	<p>Взаимосвязь квантовой и классической механики. Обобщение уравнения Гамильтона-Якоби в квантовой механике. Предельный переход к классической механике. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике.</p> <p>Одномерные квантово-механические задачи. Задача о частице в одномерном, абсолютно непроницаемом ящике. Линейный гармонический осциллятор, его энергетический спектр и волновые функции. Взаимодействие микрочастицы с потенциальной ступенькой.</p> <p>Надбарьерное рассеяние. Прохождение частицы через потенциальный барьер прямоугольной и произвольной формы. Туннельный эффект. Общие свойства одномерного движения микрочастицы. Движение в центрально-симметричных полях. Проблема двух тел в квантовой механике и ее сведение к задаче о движении одной частицы в центрально-симметричном поле. Интегралы движения. Операторы момента импульса, их собственные функции и собственные значения. Радиальное уравнение Шредингера. Поведение радиальной волновой функции на больших и малых расстояниях от центра поля.</p> <p>Водородоподобный атом (энергетические уровни и структура волновых функций дискретного спектра; «случайное» вырождение; радиальная и угловая плотности электронного облака; спектроскопическая классификация состояний; круговые токи в атоме и магнитный момент орбитального движения электрона). Квантование энергии вращения (пространственный ротатор). Модель оптического электрона для атомов щелочных металлов.</p>	<p>Вопросы для опроса по теме, коллоквиум</p>

3.	Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений	Теория возмущений. Понятие о различных представлениях состояния квантово-механической системы. Матричное представление операторов. Уравнение Шредингера в матричной форме. Постановка задач, решаемых методами теории возмущения. Теория стационарного возмущения при отсутствии и наличии вырождения. Силы Ван-дер-Ваальса. Изотопический сдвиг уровней водородоподобного атома. Теория вынужденных квантовых переходов. Элементы теории излучения. Вероятность вынужденных электродипольных переходов. Коэффициенты Эйнштейна для индуцированных и спонтанных переходов. Соотношение неопределенности для энергии и времени. Интенсивность и естественная ширина спектральных линий. Правила отбора для электрического дипольного излучения осциллятора и оптического электрона в атомах.	Тест по теме, разделу, коллоквиум
4.	Спин и системы тождественных частиц	Принцип тождественности одинаковых микрочастиц. Оператор перестановки частиц. Симметричные и асимметричные состояния. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Приближенная теория атома гелия. Синглетные и триплетные уровни (орто- и парагелий). Обменное взаимодействие. Многоэлектронные атомы. Понятие о методе самосогласованного поля; правила сложения моментов; типы связей электронов в атомах. Спектроскопическая классификация состояний. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева. Заполнение оболочек в атомах. Молекула водорода и природа химических сил. Заключение. Границы применимости нерелятивистской квантовой механики. Формальная схема квантовой механики. Некоторые концептуальные вопросы квантовой механики.	Опрос, коллоквиум

2.3.2 Занятия семинарского типа

№	Наименование раздела	Тематика практических занятий (семинаров)	Форма текущего контроля
1	2	3	4

1.	<p>Экспериментальные основы и математический аппарат квантовой механики</p>	<p>Затруднения классической физики в объяснении свойств электромагнитного излучения и микробъектов.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проблема излучения АЧТ. Невозможность объяснения законов фотоэффекта на основе электродинамики Максвелла. 2. Модель упруго-связанного электрона и её затруднения. 3. Дискуссия Бора и Эйнштейна о фундаментальном принципе квантовой механики (соотношение неопределенностей для энергии и времени). <p>Волновые пакеты. Соотношение неопределенностей.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорости волн де Бройля. 2. Соотношения неопределенностей. 3. Время расщепления волнового пакета. <p>Собственные функции и собственные значения операторов.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Собственные функции и собственные значения операторов импульса, проекции момента импульса и его квадрата. 2. Нормировка волновых функций в случае непрерывного спектра собственных значений. <p>Коммутаторы. Коммутационные соотношения для координат и импульсов, проекций момента количества движения.</p>	<p>Контрольная работа №1 Математический аппарат квантовой механики. Соотношения коммутации</p>
2.	<p>Точно решаемые квантово-механические задачи. Одномерное движение. Движение в поле центральных сил</p>	<p>Линейный гармонический осциллятор.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вычисление энергии нулевых колебаний на основе неравенства Гейзенберга. 2. Вычисление амплитуд вероятностей с помощью условия нормировки волновых функций. 3. Правила отбора для ЛГО. <p>Операторы момента количества движения в сферической системе координат.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Операторы момента импульса и его проекций в сферической системе координат. 2. Операторы повышения и понижения момента импульса. 	<p>Коллоквиум.</p>

		<p>Движение микрочастицы в поле центральных сил</p> <p>Исследование радиальной плотности вероятности в водородоподобном атоме.</p>	
3.	<p>Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений</p>	<p>Квантовые переходы в условиях нестационарного возмущения.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вероятность квантовых переходов под влиянием периодического возмущения. 2. Электрические дипольные переходы. 3. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел. 3. Вычисление коэффициентов Эйнштейна. 4. Естественная ширина энергетического уровня. 5. Упругое рассеяние частиц в первом приближении теории возмущений. <p>Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Двухуровневая система в поле электромагнитной волны. 2. Переходы в дискретном спектре. 3. Квантовые переходы из дискретного спектра в континуум. 	<p>Коллоквиум</p>
4.	<p>Спин и системы тождественных частиц</p>	<p>Спин электрона</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Перестановочные соотношения для операторов спина. 2. Матрицы Паули. 3. Операторы повышения и понижения проекции спина. <p>Атом гелия.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Применение теории возмущений двухкратно вырожденного уровня для определения энергетического спектра двухэлектронной системы. 2. Обменный и кулоновский интегралы. 3. Определение вида триплетных и синглетных волновых функций. 4. Орто- и парагелий. <p>Молекула водорода</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет энергетического спектра молекулы водорода. Интегралы обменного и кулоновского взаимодействия, интеграл неортогональности. 2. Определение вида волновых функций с учетом их свойств симметрии. 	<p>Контрольная работа №2: определение основных термов для переходных и редкоземельных элементов</p>

		<p>3. Установление критерия образования молекулы водорода и гомеоплярной химической связи.</p> <p>Многоэлектронные системы</p> <p>1. Вычисление орбитального, спинового и полного момента количества движения многоэлектронных атомов.</p> <p>2. Определение основных термов многоэлектронных атомов с учётом правил Хунда.</p> <p>3. Вычисление эффективного числа магнетонов Бора.</p>	
--	--	--	--

2.3.3 Лабораторные занятия

Не предусмотрены

2.3.4 Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрено

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1	Проработка учебного (теоретического) материала	Байков, Ю.А. Квантовая механика: учебное пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — М.: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 294 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/70719 .
2	Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)	Вайнберг, С. Квантовая теория поля. Т.1. Общая теория [Электронный ресурс] / С. Вайнберг; под ред. В.Ч. Жуковского; пер. с англ. В.Ч. Жуковского. — М.: Физматлит, 2015. — 648 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/91164 .
3	Реферат	Соболев, С.В. Основы нерелятивистской квантовой механики: учебное пособие / С.В. Соболев. — М.: Физматлит, 2016. — 144 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/105005

3. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ФГОС при реализации различных видов учебной работы в процессе изучения дисциплины предусматривается использование в учебном процессе следующих активных и интерактивных форм проведения занятий:

- лекции;
- подготовка письменных рефератов по темам курса;
- Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций).

Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторных занятиях

Семестр	Вид занятия (Л, ПР)	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
8	Л	Создание проблемных ситуаций, использование компьютерных демонстраций	6
	ПР	Коллективное решение физических задач и тестовых заданий, работа в малых группах	10

4. Оценочные и методические материалы

4.1 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «название дисциплины».

Оценочные средства включает контрольные материалы для проведения **текущего контроля** в форме заданий опроса, разноуровневых задач, и **промежуточной аттестации** в форме вопросов и заданий к экзамену.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины*	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация

1	Экспериментальные основы и математический аппарат квантовой механики	ПК-1	Контрольная работа №1- по разделу	Вопрос на экзамене 1-22
2	Точно решаемые квантово-механические задачи. Одномерное движение. Движение в поле центральных сил	ПК-1	Опрос	Вопрос на экзамене 23-31
3	Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений	ПК-2	Опрос	Вопрос на экзамене 32-27
4	Спин и системы тождественных частиц	ПК-2	Опрос	Вопрос на экзамене 38-43

Показатели, критерии и шкала оценки сформированных компетенций

Код и наименование компетенций	Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания		
	пороговый	базовый	продвинутый
	Оценка		
	Удовлетворительно /зачтено	Хорошо/зачтено	Отлично /зачтено
ПК-1 Способен осваивать и использовать базовые научно-теоретические знания и практические умения по технологическому и физическому образованию в профессиональной деятельности	Знает – математический аппарат квантовой механики; основные результаты точно-решаемых квантовых задач, метода теории возмущений и практические приложения квантовой механики	Знает – математический аппарат квантовой механики; основные результаты точно-решаемых квантовых задач, метода теории возмущений и практические приложения квантовой механики	Знает – математический аппарат квантовой механики; основные результаты точно-решаемых квантовых задач, метода теории возмущений и практические приложения квантовой механики
	Умеет – решать задачи для простых квантово-механических моделей	Умеет – решать задачи для простых квантово-механических моделей; анализировать физический смысл основных формул, уравнений и	Умеет – решать задачи для простых квантово- механических моделей; анализировать физический смысл основных формул, уравнений и результатов квантовой механики, применять принцип соответствия

		результатов квантовой механики	
	Владеет – методами математических преобразований для получения некоторых физических результатов	Владеет – методами математических преобразований для получения некоторых физических результатов; навыками применения уравнения Шрёдингера для решения некоторых квантовых задач	Владеет – методами математических преобразований для получения основных физических результатов; навыками применения уравнения Шрёдингера для решения основных квантовых задач
ПК-2 Способен конструировать содержание технологического и физического образования в соответствии с требованиями ФГОС основного и среднего общего образования, с уровнем развития современной науки и с учетом возрастных особенностей обучающихся	Знает - методы и приёмы постановки физического эксперимента	Знает - методы и приёмы постановки физического эксперимента, способы его математической обработки;	Знает - методы и приёмы постановки физического эксперимента, способы его математической обработки; методы и приёмы решения конкретных физических задач, физические приложения математических понятий
	Умеет – применять базовые знания для решения теоретических и практических физических задач	Умеет – применять базовые знания для решения теоретических и практических физических задач, правильно организовывать физические наблюдения и эксперименты	Умеет – применять базовые знания для решения теоретических и практических физических задач, правильно организовывать физические наблюдения и эксперименты, анализировать их результаты, осуществлять построение математических моделей физических явлений и процессов
	Владеет – навыками решения простейших задач	Владеет – навыками проведения физических наблюдений и экспериментов, решения простейших прикладных задач	Владеет – навыками проведения физических наблюдений и экспериментов, решения простейших теоретических и прикладных задач

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

Вопросы опросов

№ 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ

1. Формула Планка.
2. Теория фотонов Эйнштейна.
3. Дискретность атомных состояний. Теория водородоподобного атома по Бору.
4. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля.
5. Описание состояния с помощью волновой функции. Волновая функция де Бройля для свободной частицы.
6. Статистическая интерпретация волновой функции.
7. Уравнение Э. Шрёдингера.
8. Стационарные состояния.
9. Плотность тока вероятности.
10. Сопоставление операторов физическим величинам в квантовой механике.
11. Принцип суперпозиции состояний и линейность операторов в квантовой механике.
12. Собственные функции и собственные значения операторов.
13. Самосопряженные операторы. Вещественность их собственных значений.
14. Ортогональность и нормировка собственных функций.
15. Средние значения физических величин.
16. Коммутация операторов. Условие совместной определенности физических величин.
17. Неравенство Гейзенберга. Соотношение неопределенностей.
18. Изменение во времени средних значений физических величин. Дифференцирование операторов по времени.
19. Законы сохранения в квантовой механике и их связь со свойствами симметрии пространства и времени.
20. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике.
21. Обобщение уравнения Гамильтона-Якоби в квантовой механике.
22. Предельный переход к классической механике.

№ 2. ТОЧНО РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ: ОДНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ. ДВИЖЕНИЕ В ПОЛЕ ЦЕНТРАЛЬНЫХ СИЛ.

1. Частица в потенциальном ящике.
2. Линейный гармонический осциллятор.
3. Взаимодействие микрочастицы с прямоугольной потенциальной ступенькой.
4. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
5. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в уравнении Шрёдингера.
6. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса.
7. Радиальное уравнение Шрёдингера. Энергетический спектр водородоподобного атома.
8. Радиальные волновые функции стационарных состояний водородоподобного атома и радиальная плотность вероятности.
9. Классификация состояний в атоме водорода.

№ 3. ТЕОРИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ

1. Стационарная теория возмущений невырожденного уровня.
2. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения.
3. Теория возмущения, зависящего от времени. Квантовые переходы под влиянием возмущения, периодически зависящего от времени.

4. Вероятность электрических дипольных переходов при взаимодействии заряженной частицы с электрическим полем электромагнитной волны.
5. Коэффициенты Эйнштейна.
6. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.

№ 4. СПИН И СИСТЕМЫ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ

1. Спин электрона. Экспериментальные факты.
2. Операторы спина. Матрицы Паули.
3. Полный момент количества движения электрона. Спин - орбитальное взаимодействие.
4. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
5. Нормальный эффект Зеемана.
6. Аномальный эффект Зеемана.
7. Принцип неразличимости одинаковых микрочастиц.
8. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы.
9. Принцип Паули.
10. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
11. Атом гелия. Пара- и ортогелий. Обменное взаимодействие.
12. Молекула водорода. Природа ковалентной химической связи.
13. Спин и валентность.

Перечень части компетенции, проверяемых оценочным средством: ПК-1 (знать), ПК-2 (знать).

Примерный вариант контрольной работы

1. Линейный гармонический осциллятор с зарядом e помещен в однородное электрическое поле напряженностью ϵ , направленное вдоль оси колебаний. Рассматривая действие электрического поля как возмущение, найти поправки первого и второго порядка к энергии осциллятора. В чем заключается влияние наложенного электрического поля? Покажите, что внешнее электрическое поле может «подавить» нулевые колебания осциллятора. При каком поле это возможно?

2. Найти поправки первого порядка к уровням энергии и волновым функциям электрона, движущегося в сферически-симметричном поле, в присутствии однородного магнитного поля, направленного вдоль оси z . Учесть, что невозмущенными волновыми функциями являются собственные функции оператора проекции момента импульса \hat{K}_z .

3. При рассмотрении водородоподобных атомов обычно считается, что электрон находится в кулоновском поле атомного ядра. При этом не учитывается отличие поля от кулоновского в области самого ядра. Найти поправку первого порядка к основному уровню энергии, обусловленную конечными размерами ядра, считая ядро равномерно заряженным шариком радиуса $r_0 \approx 10^{-12}$ см. Радиус первой боровской орбиты $a \approx 10^{-8}$ см. В качестве оператора возмущения принять

$$\hat{W} = \begin{cases} -\frac{Ze^2}{r_0} \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \frac{r^2}{r_0^2} \right) + \frac{Ze^2}{r}, & r \leq r_0 \\ 0, & r > r_0 \end{cases}$$

Волновая функция основного состояния $\Psi_0 = 2\sqrt{\frac{Z^3}{a^3}} e^{-\frac{Zr}{a}} e^{-\frac{i}{\sqrt{4\pi}}}$. Оцените

относительный сдвиг основного уровня энергии $\frac{E^{(1)}}{E_1^{(0)}}$ при $Z \sim 100$.

Перечень части компетенции, проверяемых оценочным средством: ПК-1 (знать, уметь, владеть), ПК-2 (знать, уметь, владеть).

Вопросы к экзамену

1. Формула Планка. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля. Теория фотонов Эйнштейна. Дискретность атомных состояний. Теория водородоподобного атома по Бору.
2. Описание состояния с помощью волновой функции. Волновая функция де Бройля для свободной частицы. Статистическая интерпретация волновой функции.
3. Уравнение Э. Шредингера.
4. Стационарные состояния.
5. Плотность тока вероятности.
6. Сопоставление операторов физическим величинам в квантовой механике. Принцип суперпозиции состояний и линейность операторов в квантовой механике. Собственные функции и собственные значения операторов. Самосопряженные операторы. Вещественность их собственных значений.
7. Ортогональность и нормировка собственных функций.
8. Средние значения физических величин.
9. Коммутация операторов. Условие совместной определенности физических величин.
10. Неравенство Гейзенберга. Соотношение неопределенностей.
11. Изменение во времени средних значений физических величин. Дифференцирование операторов по времени.
12. Законы сохранения в квантовой механике и их связь со свойствами симметрии пространства и времени.
13. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике.
14. Обобщение уравнения Гамильтона-Якоби в квантовой механике.
15. Предельный переход к классической механике.
16. Частица в потенциальном ящике.
17. Линейный гармонический осциллятор.
18. Взаимодействие микрочастицы с прямоугольной потенциальной ступенькой.
19. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
20. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в уравнении Шредингера.
21. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса.
22. Радиальное уравнение Шредингера. Энергетический спектр водородоподобного атома.
23. Радиальные волновые функции стационарных состояний водородоподобного атома и радиальная плотность вероятности.
24. Классификация состояний в атоме водорода.
25. Стационарная теория возмущений невырожденного уровня.
26. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения.
27. Теория возмущения, зависящего от времени. Квантовые переходы под влиянием возмущения, периодически зависящего от времени.
28. Вероятность электрических дипольных переходов при взаимодействии заряженной частицы с электрическим полем электромагнитной волны.
29. Коэффициенты Эйнштейна.

30. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.
31. Спин электрона. Экспериментальные факты.
32. Операторы спина. Матрицы Паули.
33. Полный момент количества движения электрона. Спин - орбитальное взаимодействие.
34. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
35. Нормальный эффект Зеемана.
36. Аномальный эффект Зеемана.
37. Принцип неразличимости одинаковых микрочастиц.
38. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы.
39. Принцип Паули.
40. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
41. Атом гелия. Пара- и ортогелий. Обменное взаимодействие.
42. Молекула водорода. Природа ковалентной химической связи.
43. Спин и валентность.

Перечень части компетенции, проверяемых оценочным средством: ПК-1 (знать, уметь, владеть), ПК-2 (знать, уметь, владеть).

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

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания на экзамене

Итоговой формой контроля сформированности компетенций у обучающихся по дисциплине является экзамен. Студенты обязаны сдать экзамен в соответствии с расписанием и учебным планом

ФОС промежуточной аттестации состоит из вопросов к экзамену по дисциплине.

Экзамен по дисциплине преследует цель оценить работу студента за курс, получение теоретических знаний, их прочность, развитие творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умение применять полученные знания для решения практических задач.

Форма проведения экзамена: письменно.

Экзаменатору предоставляется право задавать студентам дополнительные вопросы по всей учебной программе дисциплины.

Результат сдачи экзамена заносится преподавателем в экзаменационную ведомость и зачетную книжку.

Критерии оценки:

оценка «отлично»: глубокие исчерпывающие знания всего программного материала, логически последовательные, полные, грамматически правильные и конкретные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы членов комиссии; использование в необходимой мере в ответах языкового материала, представленного в рекомендуемых учебных пособиях и дополнительной литературе.;

оценка «хорошо»: твёрдые и достаточно полные знания всего программного материала, последовательные, правильные, конкретные ответы на поставленные вопросы при свободном реагировании на замечания по отдельным вопросам;

оценка «удовлетворительно»: знание и понимание основных вопросов программы, наличие не более 50% ошибок в освещении отдельных вопросов билета;

оценка «неудовлетворительно»: непонимание сущности излагаемых вопросов, грубые ошибки в ответе, неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы экзаменаторов.

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания контрольных работ:

Компонентом текущего контроля по дисциплине является контрольная работа в виде письменного решения задач.

Максимальное количество баллов, которое студенты могут получить за правильное решение задач на контрольной работе, составляет 5 баллов.

Ступени уровней освоения компетенций	Вид задания	Количество баллов
Пороговый	Контрольная работа	3
Базовый	Контрольная работа	4
Продвинутый	Контрольная работа	5

Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания опроса

Форма проведения – письменный опрос.

Длительность опроса – 20 минут.

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется за: умение использовать естественнонаучные и математические знания для анализа физических явлений и решения практических задач, умение понимать причинно-следственные связи, понимать сущность физических явлений.

- оценка «не зачтено» выставляется за: неспособность выявить причинно-следственные связи, отсутствие навыков анализировать физический смысл основных формул, уравнений, неумение решать задачи для простых механических моделей и интерпретировать их результаты.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

5.1 Основная литература:

1. Байков, Ю.А. Квантовая механика: учебное пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — М.: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 294 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/70719>.

2. Иродов, И.Е. Задачи по квантовой физике: учебное пособие / И.Е. Иродов. — М.: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 220 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/84093>.

3. Вайнберг, С. Квантовая теория поля. Т.1. Общая теория [Электронный ресурс] / С. Вайнберг; под ред. В.Ч. Жуковского; пер. с англ. В.Ч. Жуковского. — М.: Физматлит, 2015. — 648 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91164>.

4. Соболев, С.В. Основы нерелятивистской квантовой механики: учебное пособие / С.В. Соболев. — М.: Физматлит, 2016. — 144 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/105005>.

Для освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья имеются издания в электронном виде в электронно-библиотечных системах «Лань» и «Юрайт».

5.2 Дополнительная литература:

1. Ландау Л.Д. Курс теоретической физики. Том III. Квантовая механика (нерелятивистская теория) [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.— Электрон. текстовые данные. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 798 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17288>.

2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики - М.: Наука, 1983.

3. Матвеев А.Н. Атомная физика - М.: Высшая школа, 1989.

4. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика, - М.: Наука, 1979.

5. Шпольский Э.В. Атомная физика, т. 1 и 2. – М.: Наука, 1984.

6. Давыдов А.С. Квантовая механика. – М.: Наука, 1973.

7. Мултановский В.В., Василевский А.С. Курс теоретической физики. Квантовая механика – М.: Просвещение, 1991.

8. Ферми Э. Квантовая механика. Конспект лекций. – М.: Мир, 1968.

5.3. Периодические издания:

1. Журнал прикладной механики и технической физики

2. Журнал технической физики

3. Известия ВУЗов.Серия: Физика

4. Инженерная физика

5. Прикладная механика

6. Прикладная механика и техническая физика

7. Теоретическая и математическая физика

8. Успехи механики

9. Успехи физических наук

10. Ученые записки Казанского государственного университета: серия: Физико-математические науки

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Экзамен проводится в конце семестра. На экзамен оцениваются полученные теоретические и практические знания, их прочность, развитие творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умение синтезировать полученные знания и применять их.

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	<p>При изучении теоретической физики очень важно посещать лекции и подробно записывать излагаемый на них материал. Это обусловлено тем, что <u>в учебных пособиях не содержатся детальные математические преобразования</u>. Стандартный метод изложения сводится, как правило, к замечаниям типа: «как нетрудно показать», «после несложных преобразований получим» и т.д. Однако, за этими так называемыми «несложными преобразованиями» обычно скрываются несколько страниц математических преобразований, прежде чем получится требуемый результат! Эту специфику учебных пособий необходимо иметь в виду. В процессе чтения лекций материал излагается доказательно, подробно, со всеми промежуточными выкладками. <u>Присутствующий на лекции студент становится соучастником процесса получения всех основных физических результатов.</u> Только таким способом, постигая шаг за</p>

	<p>шагом весьма непростые вопросы, можно понять логику дисциплины и её основное содержание.</p> <p>В процессе самостоятельной работы над курсом лекций необходимо уделить внимание основным понятиям, перечисленным в терминологическом минимуме по каждому разделу, и научиться самостоятельно выводить все главные формулы и уравнения.</p>
Практические занятия	Подготовка к практическим занятиям предполагает работу с конспектом лекций и самостоятельное решение задач из домашних заданий.
Контрольная работа	В процессе подготовки к контрольной работе необходимо обратить внимание на вопросы, сформулированные в заданиях для самостоятельной работы, а также проанализировать решение типичных задач на практических занятиях.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

7. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю)

7.1 Перечень информационно-коммуникационных технологий

- электронные учебники и пособия, демонстрируемые с помощью компьютера и мультимедийного проектора,
- интерактивные доски,
- электронные энциклопедии и справочники,
- тренажеры и программы тестирования,
- образовательные ресурсы Интернета,
- видео и аудиотехника.

7.2 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

Microsoft Windows 8, 10

Microsoft Office Professional Plus

7.3 Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

В процессе работы над курсом студенты могут использовать электронные учебные пособия, размещенные в сети интернет, а также книги электронной библиотечной системы.

<http://elibrary.ru/> eLIBRARY – Научная электронная библиотека.

<http://www.edu.ru> - Каталог образовательных интернет-ресурсов.

<http://ru.wikipedia.org> - сетевая энциклопедия «Википедия».

<http://www.college.ru> - сайт, содержащий открытые учебники по естественнонаучным дисциплинам.

<http://www.edu.ru> - Российское образование - Федеральный портал.

<http://www.krugosvet.ru> - сетевая энциклопедия «Кругосвет».

<http://www.naturalscience.ru> - сайт, посвященный вопросам естествознания.

8. Материально-техническое обеспечение по дисциплине (модулю)

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность
1.	Лекционные занятия	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа 350080 г. Краснодар, ул. Сормовская, 173, №22 Учебная мебель (столы, стулья), персональный компьютер с выходом в сеть Интернет, проектор, экран, меловая доска, лабораторные комплексы для учебной практической и проектной деятельности по естественнонаучным дисциплинам
2.	Семинарские занятия	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа 350080 г. Краснодар, ул. Сормовская, 173, №22 Учебная мебель (столы, стулья), персональный компьютер с выходом в сеть Интернет, проектор, экран, меловая доска, лабораторные комплексы для учебной практической и проектной деятельности по естественнонаучным дисциплинам
3.	Групповые (индивидуальные) консультации	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа 350080 г. Краснодар, ул. Сормовская, 173, №22 Учебная мебель (столы, стулья), персональный компьютер с выходом в сеть Интернет, проектор, экран, меловая доска, лабораторные комплексы для учебной практической и проектной деятельности по естественнонаучным дисциплинам
4.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа 350080 г. Краснодар, ул. Сормовская, 173, №22 Учебная мебель (столы, стулья), персональный компьютер с выходом в сеть Интернет, проектор, экран, меловая доска, лабораторные комплексы для учебной практической и проектной деятельности по естественнонаучным дисциплинам
5.	Самостоятельная работа	Библиотека (Краснодар, ул. Сормовская, 173) Учебная мебель (столы, стулья), персональные компьютеры с выходом в сеть Интернет.