

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

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе,  
качеству образования - первый  
проректор



Иванов А.Г.

подпись

2015 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ Б1.В.04.04 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 2015

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

Программу составил:

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



Земская Н.В., директор МБОУ гимназия №44



Мыринова М.Ю., канд. биолог.наук, доцент,  
зав.кафедры маркетинга и менеджмента  
зам.директора УМР КРИА ВО КубГАУ



Заведующий кафедрой (разработчика) технологии и предпринимательства  
протокол № 13 «26» мая 2015 г.

Заведующий кафедрой  
технологии и предпринимательства

  
подпись

Сажина Н.М.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры технологии и предпринимательства  
протокол № 13 «26» мая 2015 г.

Заведующий кафедрой  
технологии и предпринимательства

  
подпись

Сажина Н.М.

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета педагогики,  
психологии и коммуникативистики  
«27» мая 2015 г., протокол № 10.

Председатель УМК факультета

  
подпись

В.М. Гребенникова

Эксперты:

Жирма Е.Н., директор МБОУ СОШ №61 г.Краснодара



Хазова С.А., докт.пед.наук, доцент, профессор КубГУ



## 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 этой науки 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 обязательной вариативной части в изучении Модуля «Основы теоретической физики» и является базовым теоретическим и практическим основанием для подготовки бакалавров по второму 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.

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

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

| № п.п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или её части)                                                                                           | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны                                                                                                                                |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                  |
|--------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                    |                                                                                                                                 | знать                                                                                                                                                                                      | уметь                                                                                                                                                                        | владеть                                                                                                                                          |
| 1.     | ОКЗ                | – способен использовать естественнонаучные и математические знания для ориентирования в современном информационном пространстве | <b>З.1.</b> место квантовой механики на карте науки, её роль как фундамента современной физики и как составной части общечеловеческой культуры;<br><b>З.2.</b> основные понятия, принципы, | <b>У.1.</b> Самостоятельно приобретать знания по квантовой механике, используя учебную литературу и современные информационные и коммуникационные технологии;<br><b>У.2.</b> | <b>В.1.</b> Математической культурой, необходимой для понимания и описания квантово-механических явлений;<br><b>В.2.</b> методами математических |

| № п.п. | Индекс компетенции | Содержание компетенции (или её части)                                                                                              | В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                   |
|--------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                    |                                                                                                                                    | знать                                                                                                                                                                                                                                                 | уметь                                                                                                                                                                                                                                                                                              | владеть                                                                                                                                           |
| 2.     | ПК1                | – готовность реализовывать образовательные программы по учебному предмету в соответствии с требованиями образовательных стандартов | идеи и уравнения квантовой механики, этапы её становления и развития; 3.3. математический аппарат квантовой механики; 3.4. основные результаты точно-решаемых квантовых задач, метода теории возмущений и практические приложения квантовой механики. | использовать знания, полученные при изучении данного курса, в других разделах теоретической физики; У.3. решать задачи для простых квантово-механических моделей; У.4. анализировать физический смысл основных формул, уравнений и результатов квантовой механики, применять принцип соответствия. | преобразований для получения основных физических результатов; В.3. навыками применения уравнения Шрёдингера для решения основных квантовых 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               |   |   |   |
| <b>Контактная работа, в том числе:</b>                                |             |                 |   |   |   |
| <b>Аудиторные занятия (всего):</b>                                    | <b>30</b>   | <b>30</b>       |   |   |   |
| Занятия лекционного типа                                              | 14          | 14              | - | - | - |
| Лабораторные занятия                                                  | -           | -               | - | - | - |
| Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)            | 16          | 16              | - | - | - |
| <b>Иная контактная работа:</b>                                        |             |                 |   |   |   |
| Контроль самостоятельной работы (КСР)                                 | 4           | 4               |   |   |   |
| Промежуточная аттестация (ИКР)                                        | 0,3         | 0,3             |   |   |   |
| <b>Самостоятельная работа, в том числе:</b>                           |             |                 |   |   |   |
| 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           | - | - | - |
| <b>Контроль:</b>               |                                      |             |             |   |   |   |
| Подготовка к экзамену          |                                      | 26,7        | 26,7        |   |   |   |
| <b>Общая трудоемкость</b>      | <b>час.</b>                          | <b>108</b>  | <b>108</b>  | - | - | - |
|                                | <b>в том числе контактная работа</b> | <b>34,3</b> | <b>34,3</b> |   |   |   |
|                                | <b>зач. ед</b>                       | <b>3</b>    | <b>3</b>    |   |   |   |

## 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:

| №<br>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                              | 19               | 4                 | 4  | -  | 11                     |
| 2.           | Точно решаемые квантово-механические задачи. Одномерное движение. Движение в поле центральных сил | 20               | 4                 | 4  | -  | 12                     |
| 3.           | Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений                                         | 20               | 4                 | 4  | -  | 12                     |
| 4.           | Спин и системы тождественных частиц                                                               | 18               | 2                 | 4  | -  | 12                     |
|              | ИТОГО                                                                                             |                  | 14                | 16 | -  | 47                     |

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

| №  | Наименование раздела                                                 | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                       | Форма текущего контроля |
|----|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | 2                                                                    | 3                                                                                                                                                                                                                                        | 4                       |
| 1. | Экспериментальные основы и математический аппарат квантовой механики | Введение. Место квантовой механики на карте науки. Основные этапы становления квантовой теории. Квантовая теория как важнейшая составная часть общечеловеческой культуры. Экспериментальные основы квантовой механики. Несостоятельность | Устный опрос            |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>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 Гейзенберга. Критика ошибочных толкований соотношений неопределенностей. Роль процесса измерения в квантовой механике.</p> |  |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|    |                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|    |                                                                                                   | Дифференцирование операторов по времени и законы сохранения в квантовой механике. Связь законов сохранения с симметрией пространства и времени.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              |
| 2. | Точно решаемые квантово-механические задачи. Одномерное движение. Движение в поле центральных сил | <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. 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. 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. 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> | Устный опрос |
| 3. | Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений                                         | <p>Теория возмущений. Понятие о различных представлениях состояния квантово-механической системы. Матричное представление операторов. Уравнение Шредингера в матричной</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Устный опрос |

|    |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |
|----|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|    |                                     | <p>форме. Постановка задач, решаемых методами теории возмущения. Теория стационарного возмущения при отсутствии и наличии вырождения. Силы Ван-дер-Ваальса. Изотопический сдвиг уровней водородоподобного атома.</p> <p>Теория вынужденных квантовых переходов.</p> <p>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.</p>                                                                                                                     |              |
| 4. | Спин и системы тождественных частиц | <p>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.</p> <p>Спектроскопическая классификация состояний. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева. Заполнение оболочек в атомах. Молекула водорода и природа химических сил.</p> <p>Заключение. Границы применимости нерелятивистской квантовой механики. Формальная схема квантовой механики. Некоторые концептуальные вопросы квантовой механики.</p> | Устный опрос |

### 2.3.2 Занятия семинарского типа

| № | Наименование раздела | Тематика практических занятий (семинаров) | Форма текущего контроля |
|---|----------------------|-------------------------------------------|-------------------------|
|---|----------------------|-------------------------------------------|-------------------------|

| 1  | 2                                                                                                 | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 4                                                                                                                               |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5. | Экспериментальные основы и математический аппарат квантовой механики                              | <p>№ Занятие 1. Затруднения классической физики в объяснении свойств электромагнитного излучения и микрообъектов.</p> <p>1. Проблема излучения АЧТ. Невозможность объяснения законов фотоэффекта на основе электродинамики Максвелла.</p> <p>2. Модель упруго-связанного электрона и её затруднения.</p> <p>3. Дискуссия Бора и Эйнштейна о фундаментальном принципе квантовой механики (соотношение неопределенностей для энергии и времени).</p> <p>Занятие 2. Волновые пакеты. Соотношение неопределенностей.</p> <p>1. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорости волн де Бройля.</p> <p>2. Соотношения неопределенностей.</p> <p>3. Время распыливания волнового пакета.</p> <p>Занятие 3. Собственные функции и собственные значения операторов.</p> <p>1. Собственные функции и собственные значения операторов импульса, проекции момента импульса и его квадрата.</p> <p>2. Нормировка волновых функций в случае непрерывного спектра собственных значений.</p> <p>Занятие 4. Коммутаторы. Коммутационные соотношения для координат и импульсов, проекций момента количества движения.</p> | <p>Коллоквиум.</p> <p>Контрольная работа №1</p> <p>Математический аппарат квантовой механики.</p> <p>Соотношения коммутации</p> |
| 6. | Точно решаемые квантово-механические задачи. Одномерное движение. Движение в поле центральных сил | <p>Занятие 6. Линейный гармонический осциллятор.</p> <p>1. Вычисление энергии нулевых колебаний на основе неравенства Гейзенберга.</p> <p>2. Вычисление амплитуд вероятностей с помощью условия нормировки волновых функций.</p> <p>3. Правила отбора для ЛГО.</p> <p>Занятие 7. Операторы момента количества движения в сферической системе координат.</p> <p>1. Операторы момента импульса и его проекций в сферической системе координат.</p> <p>2. Операторы повышения и понижения момента импульса.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Коллоквиум.                                                                                                                     |

|    |                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                 |
|----|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                           | Занятие 8. Движение микрочастицы в поле центральных сил (2 час.)<br>Исследование радиальной плотности вероятности в водородоподобном атоме.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                 |
| 7. | Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений | Занятия 3, 4. Квантовые переходы в условиях нестационарного возмущения.<br>1.Вероятность квантовых переходов под влиянием периодического возмущения. Электрические дипольные переходы.<br>2.Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.<br>3.Вычисление коэффициентов Эйнштейна.<br>4.Естественная ширина энергетического уровня.<br>5.Упругое рассеяние частиц в первом приближении теории возмущений.<br>Занятие 5. Взаимодействие квантовой системы с электромагнитным полем (компьютерный эксперимент)<br>1.Двухуровневая система в поле электромагнитной волны.<br>2.Переходы в дискретном спектре.<br>3.Квантовые переходы из дискретного спектра в континуум.                                                                                                                                            | Коллоквиум                                                                                                      |
| 8. | Спин и системы тождественных частиц                       | Занятие 6. Спин электрона<br>1.Перестановочные соотношения для операторов спина.<br>2. Матрицы Паули.<br>3.Операторы повышения и понижения проекции спина.<br>Занятие 7. Атом гелия.<br>1. Применение теории возмущений двухкратно вырожденного уровня для определения энергетического спектра двухэлектронной системы.<br>2.Обменный и кулоновский интегралы.<br>3.Определение вида триплетных и синглетных волновых функций.<br>4. Орто- и парагелий.<br>Занятие 8. Молекула водорода<br>1.Расчет энергетического спектра молекулы водорода. Интегралы обменного и кулоновского взаимодействия, интеграл неортогональности.<br>2.Определение вида волновых функций с учетом их свойств симметрии.<br>3.Установление критерия образования молекулы водорода и гомеополарной химической связи.<br>Занятия 9, 10. Многоэлектронные | Коллоквиум.<br><br>Контрольная работа №2: определение основных термов для переходных и редкоземельных элементов |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | системы<br>1.Вычисление орбитального, спинового и полного момента количества движения многоэлектронных атомов.<br>2.Определение основных термов многоэлектронных атомов с учётом правил Хунда.<br>3.Вычисление эффективного числа магнетонов Бора. |  |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

### 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. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 294 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/70719">https://e.lanbook.com/book/70719</a> .<br>Иродов, И.Е. Задачи по квантовой физике: учебное пособие / И.Е. Иродов. — Москва : Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 220 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/84093">https://e.lanbook.com/book/84093</a> . |
| 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. — Москва: Физматлит, 2015. — 648 с. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/91164">https://e.lanbook.com/book/91164</a> .                                                                                                                                                                                                  |
| 3 | Реферат                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

## 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).

## 4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

### 4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации

#### Вопросы коллоквиумов

Коллоквиум № 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.

#### Коллоквиум № 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.

#### Коллоквиум № 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.

#### Коллоквиум № 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.

### Примерный вариант контрольной работы

1. Линейный гармонический осциллятор с зарядом  $e$  помещен в однородное электрическое поле напряженностью  $\mathcal{E}$ , 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? (см., напр., Галицкий В.М., Карнаков Б.М., Коган В.И. Задачи по квантовой механике, № 8.3).

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 невозмущёнными 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  $\Psi_0 = 2\sqrt{\frac{Z^3}{a^3}} e^{\frac{-Zr}{a}} \frac{1}{\sqrt{4\pi}}$ . Оцените

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

### 4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

#### Примерные вопросы к экзамену

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. Шредингера.
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.
23. Частица в потенциальном ящике.
24. Линейный гармонический осциллятор.
25. Взаимодействие микрочастицы с прямоугольной потенциальной ступенькой.
26. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
27. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в уравнении Шредингера.
28. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса.
29. Радиальное уравнение Шредингера. Энергетический спектр водородоподобного атома.
30. Радиальные волновые функции стационарных состояний водородоподобного атома и радиальная плотность вероятности.
31. Классификация состояний в атоме водорода.
32. Стационарная теория возмущений невырожденного уровня.
33. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения.
34. Теория возмущения, зависящего от времени. Квантовые переходы под влиянием возмущения, периодически зависящего от времени.
35. Вероятность электрических дипольных переходов при взаимодействии заряженной частицы с электрическим полем электромагнитной волны.
36. Коэффициенты Эйнштейна.
37. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.
38. Спин электрона. Экспериментальные факты.
39. Операторы спина. Матрицы Паули.
40. Полный момент количества движения электрона. Спин - орбитальное взаимодействие.
41. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
42. Нормальный эффект Зеемана.

43. Аномальный эффект Зеемана.
44. Принцип неразличимости одинаковых микрочастиц.
45. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы.
46. Принцип Паули.
47. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
48. Атом гелия. Пара- и ортогелий. Обменное взаимодействие.
49. Молекула водорода. Природа ковалентной химической связи.
50. Спин и валентность.

## **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. — Москва : 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. — Москва : 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. — Москва: Физматлит, 2015. — 648 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/91164>.

### **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>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.
2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики - М.: Наука, 1983.
3. Матвеев А.Н. Атомная физика - М.: Высшая школа, 1989.
4. Шпольский Э.В. Атомная физика, т. 1 и 2. – М.: Наука, 1984.
5. Мултановский В.В., Василевский А.С. Курс теоретической физики. Квантовая механика – М.: Просвещение, 1991.

### **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. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

<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

## 7. 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 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.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Реферат    | При подготовке реферата необходимо использовать рекомендованную литературу, при этом следует обратить внимание на необходимость проведения подробных доказательств и выводов основных соотношений.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Коллоквиум | Коллоквиум содержит три части: проверка знания основных формул и терминологического минимума, ответ на теоретический вопрос с представлением письменной домашней самостоятельной работы. Знание основных формул и терминов является «допуском» к обсуждению теоретических вопросов (студент допускается к дальнейшему собеседованию при условии знания не менее 75 % формул). В процессе собеседования студент должен уметь <u>выводить все основные формулы, уравнения, соотношения</u> и давать объяснение физического смысла всех получаемых результатов. |

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)

### 8.1 Перечень необходимого программного обеспечения

Операционная система Windows XP (или выше);

Программа для создания и проведения презентаций Microsoft Power Point

### 8.2 Перечень необходимых 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.

## 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

| №  | Вид работ           | Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и оснащенность                                                                                      |
|----|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Лекционные занятия  | Лекционная аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер) и соответствующим программным обеспечением (ПО) (ауд. №21, ауд. №22) |
| 2. | Семинарские занятия | Специальное помещение, оснащенное доской и учебной мебелью, презентационной техникой (проектор, экран, компьютер) и соответствующим программным             |

|    |                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                  | обеспечением (ПО) (ауд. №21, ауд. №22)                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3. | Групповые<br>(индивидуальные)<br>консультации    | Специальное помещение, оснащенное доской и учебной мебелью, презентационной техникой (проектор, экран, компьютер) и соответствующим программным обеспечением (ПО), демонстрационное оборудование, типовой комплект плакатов, типовой комплект демонстраций (ауд. №21, ауд. №22) |
| 4. | Текущий контроль,<br>промежуточная<br>аттестация | Специальное помещение, оснащенное доской и учебной мебелью, презентационной техникой (проектор, экран, компьютер) и соответствующим программным обеспечением (ПО) (ауд. №21, ауд. №22)                                                                                          |
| 5. | Самостоятельная<br>работа                        | Кабинет для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.                                      |