

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра теоретической физики**

Авторы-составители: **Хеннер Виктор Карлович**  
**Циберкин Кирилл Борисович**  
**Демин Виталий Анатольевич**

Рабочая программа дисциплины

**КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ**

Код УМК 56066

Утверждено  
Протокол №6  
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Квантовая теория

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.02** Физика

направленность Фундаментальная физика

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Квантовая теория** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.03.02** Физика (направленность : Фундаментальная физика)

**ОПК.7** способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

**ОПК.8** способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей

**ПК.1** способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	8
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	4
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	144
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	56
<b>Проведение лекционных занятий</b>	28
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	28
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	88
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (8 триместр)

## 5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

### Квантовая теория. Первый семестр

#### Фундаментальные идеи квантовой физики

##### Развитие представлений о природе микромира

Гипотеза квантов поля М.Планка. Гипотеза Луи де Бройля. Волна де Бройля. Соотношения де Бройля. Упругое рассеяние волн-частиц на кристаллической решетке.

##### Корпускулярно-волновой дуализм. Статистический смысл волн материи

Опыты с дифракцией электронов на щелях и кристаллах. Корпускулярные свойства света. Корпускулярно-волновой дуализм. Волновая функция. Поток плотности вероятности. Статистический смысл волн материи.

##### Принцип соответствия. Соотношения неопределенностей

Принцип соответствия классической и квантовой механики. Соотношения неопределенностей Гейзенберга для координаты и импульса, времени и энергии. Оценки локализации частиц, времени жизни метастабильных квантовых состояний.

#### Принципы-постулаты квантовой теории

##### Гильбертово пространство

Формализм гильбертовых пространств. Теория квантовых измерений.

#### Квантовая механика систем, имеющих классическую аналогию

##### Правила квантования

Принцип классической аналогии (соответствия). Спектр собственных значений проекции координаты и импульса. Теорема разложения для физических величин с непрерывным спектром. Условия ортогональности и нормировки собственных векторов для физических величин с непрерывным спектром. Физический смысл коэффициентов разложения и среднее значение физической величины.

##### Координатное представление

Физический смысл и геометрическая интерпретация волновой функции (амплитуды вероятности). Оператор координаты в координатном представлении и его собственные функции. Собственный вектор оператора импульса в координатном представлении. Вычисление вероятностей измерения импульса в координатном представлении.

##### Простейшие модели квантовых систем

Операторы основных физических величин в координатном представлении. Стационарное уравнение Шредингера. Уровни энергии и стационарные состояния. Потенциальные ямы.

##### Импульсное представление

Операторы импульса и координаты в импульсном представлении. Собственные функции операторов координаты и импульса в импульсном представлении. Формулы перехода от импульсного представления к координатному и обратно. Примеры состояний в импульсном и координатном представлениях.

##### Одновременная измеримость физических величин и соотношения неопределенностей

Физический смысл коммутативности операторов. Полный набор физических величин. Принцип дополнительности Бора.

## **Квантовая динамика**

### **Правила квантования Дирака**

Некоторые свойства скобок Пуассона и коммутаторов физических величин. Принцип соответствия Дирака классических и квантовых скобок Пуассона.

### **Матричная механика**

Матричное представление операторов и векторов состояний. Свойства матриц. Унитарные преобразования и их свойства.

### **Гейзенберговская картина движения**

Физический смысл эволюции квантовой системы во времени. Уравнения Гейзенберга для операторов физических величин. Оператор эволюции во времени и его свойства.

### **Шредингеровская картина движения**

Переход к шредингеровской картине движения. Уравнение Шредингера и его физический смысл. Общие свойства уравнения Шредингера. Закон сохранения плотности вероятности. Плотность тока вероятности. Предельный переход от квантовых уравнений к классическим. Теорема Эренфеста. Квазиклассическое приближение. Метод ВКБ.

### **Преобразования симметрии**

Условия симметрии. Законы сохранения в квантовой теории (интегралы движения). Их математическая формулировка и физический смысл. Симметрия квантовой системы (операторы симметрии) и законы сохранения. Генераторы бесконечно малых преобразований (при трансляции, вращении).

## **Квантовая теория гармонических колебаний**

### **Операторы рождения и уничтожения**

Операторы рождения  $b^+$  и уничтожения  $b^-$  и их свойства.

### **Спектр энергии**

Спектр энергии гармонического осциллятора. Координатное представление.

### **Полиномы Чебышева-Эрмита**

Полиномы Чебышева-Эрмита. Основное состояние гармонического осциллятора и его свойства.

## **Теория момента количества движения. Спин**

### **Собственные значения и собственные функции момента импульса**

Операторы проекций момента произвольной квантовой системы и их свойства. Следствие перестановочных соотношений для операторов момента (векторная модель). Свойства повышающих и понижающих операторов. Собственные значения квадрата момента и его проекции.

### **Матричное представление момента**

Матричное представление операторов проекции момента импульса. Продольная компонента и полная величина момента. Лестничные операторы. Отбор квантовых переходов.

### **Спин. Магнитный момент электрона**

Спин частиц. Матрицы Паули и их свойства. Описание состояния квантовой частицы с полуцелым спином. Полный набор с учетом спина. Магнитный момент электрона.

## **Сложение двух квантовых моментов**

### **Операторы полного момента системы, состоящей из двух подсистем**

Операторы полного момента системы, состоящей из двух частей, их перестановочные соотношения и собственные значения. Два базиса собственных векторов, характеризующих момент всей системы. Коэффициенты Клебша-Гордона.

### **Теорема о сложении двух моментов**

Теорема о сложении двух моментов. Максимальное и минимальное значение полного момента.

### **Сложение двух спинов. Сложение орбитального и спинового моментов**

Сложение двух спинов. Триpletное и синглетное состояния и их свойства относительно перестановки спинов. Коэффициенты Клебша-Гордона. Сложение орбитального момента и спина.

### **Движение квантовых частиц в сферически симметричном потенциале. Атом водорода**

#### **Интегралы движения. Разделение переменных в уравнении Шредингера**

Интегралы движения. Полный набор физических величин и их общие собственные функции. Стационарное уравнение Шредингера для радиальной составляющей волновой функции. Асимптотика уравнения на малых и больших расстояниях.

#### **Электрон в кулоновском поле. Собственные значения и собственные функции энергии**

Движение электрона в кулоновском потенциале. Спектр энергии и свойства стационарных состояний. Радиальные волновые функции. Полиномы Лаггера.

#### **Орбитальный момент импульса. Сферические гармоники**

Орбитальный момент количества движения. Сферические гармоники и их свойства. Закон сохранения четности.

#### **Матрицы плотности**

Чистое и смешанное состояния. Примеры. Матрица плотности для чистых состояний и ее свойства. Физический смысл диагональных элементов матрицы плотности, среднее значение физических величин.

#### **Теория возмущения**

##### **Стационарная теория возмущений**

Стационарная теория возмущений при отсутствии вырождения. Вычисление поправок 1-го и 2-го порядка. Условие применимости метода. Двухуровневое приближение. Эффект Штарка для двухуровневого атома. Теория возмущений при наличии вырождения.

##### **Нестационарная теория возмущений**

Нестационарная теория возмущений. Теория квантовых переходов и задачи рассеяния. Уравнение Шредингера в представлении взаимодействия и в интегральной форме. Метод итераций. Оператор упорядочения во времени. Определение и свойства  $S$ -матрицы и физический смысл ее матричных элементов. Вероятность квантовых переходов в 1-м порядке теории возмущений. Переходы под воздействием периодического возмущения. Квантовые переходы под влиянием постоянного во времени возмущения. Плотность конечных состояний. "Золотое правило" Ферми.

#### **Принцип тождественности частиц и его следствия**

##### **Неразличимость квантовых частиц**

Частицы как кванты (элементарные возбуждения) поля. Неразличимость частиц и принцип неопределенности. Неразличимость частиц и интерференция физически неразличимых альтернатив. Симметрия системы относительно перестановки одинаковых частиц. Закон сохранения четности. Постулат симметрии.

### **Статистика Ферми-Дирака. Принцип Паули**

Статистика Ферми-Дирака. Фермионы. Антисимметричная волновая функция. Принцип запрета Паули. Представление чисел заполнения. Электронный газ. Сверхтекучесть.

### **Статистика Бозе-Эйнштейна**

Статистика Бозе-Эйнштейна. Газ бозонов. Симметричная волновая функция. Фотонный газ. Бозе-конденсат. Куперовские пары. Сверхпроводимость.

### **Многоэлектронные атомы**

Идеализация и приближения. Метод самосогласованного поля - приближение Хартри. Понятие электронной конфигурации. Интегралы движения. Атом гелия. Парагелий и ортогелий. Зависимость энергии от суммарного спина полного орбитального момента (правила Хунда).

### **Релятивистская теория электрона**

Идеализация нерелятивистской теории. Релятивистская квантовая теория. Соотношения неопределенностей, затрагивающие время. Уравнение Клейна-Гордона и его особенности. Вывод релятивистского уравнения первого порядка во времени. Матрицы Дирака и их свойства. Уравнение непрерывности. Решение стационарного уравнения Дирака. Нерелятивистский предел уравнения Дирака - уравнение Паули. Магнитный момент и спин. Физическая интерпретация решений с отрицательной энергией. Теория дырок Дирака. Частицы и античастицы (электроны и позитроны).



## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

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

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Магазинников А. Л. Введение в квантовую механику: Учебное пособие/Магазинников А. Л.- Томск:Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,2012, ISBN 978-5-4332-0046-3.-112. <http://www.iprbookshop.ru/13860>
2. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория)/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский. -5-е изд., стер..-Москва:ФИЗМАТЛИТ,2004, ISBN 5-9221-0530-2.-800
3. Хеннер В. К., Циберкин К. Б., Краузин П. В. Квантовая теория: одномерные задачи: учебное пособие/В. К. Хеннер, К. Б. Циберкин, П. В. Краузин.-Пермь,2018, ISBN 9785-7944-3188-9.-124.-Библиогр.: с. 123-124

### Дополнительная:

1. Давыдов А. С. Квантовая механика: учебное пособие/А. С. Давыдов.-Москва:Физматгиз,1963.-748.- Библиогр.: с. 741-744
2. Киселев В. В. Квантовая механика. Курс лекций. (Учебное пособие) — М.: МЦНМО, 2009. — 560 с. — ISBN 978-5-94057-497-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система БиблиоТех : [сайт]. <https://psu.bibliotech.ru/Reader/Book/4962>
3. Блохинцев Д. И. Квантовая механика: лекции по избранным вопросам : учебное пособие для студентов физических специальностей вузов/Д. И. Блохинцев.-Москва:Издательство Московского университета,1988.-113.

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

[library.psu.ru/node/738](http://library.psu.ru/node/738) Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

<http://elis.psu.ru> Электронная мультимедийная библиотека ELiS

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Квантовая теория** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».
- Пакеты аналитических и численных вычислений Maxima;
- Графические пакеты GNUplot, Origin;

Дополнительный перечень используемых информационных технологий и программного обеспечения определяется преподавателями дисциплины.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Квантовая теория**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и  
критерии их оценивания**

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p>Знать: свойства операторов момента, операторов рождения и уничтожения, понятия орбитального момента и спина, правила квантования и сложения моментов. Уметь: находить спектры собственных задач и собственных функций операторов момента, определять интегралы движения, вычислять энергетические и оптические спектры атомов. Владеть: методами решения задач на собственные значения операторов, уровни энергии электрона в сферически-симметричных потенциалах.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает свойства операторов момента, операторов рождения и уничтожения, понятия орбитального момента и спина, правила квантования и сложения моментов. Не умеет производить расчеты, находить спектры собственных задач и собственных функций операторов момента, определять интегралы движения, вычислять энергетические и оптические спектры атомов. Не владеет методами решения задач на собственные значения операторов, навыками расчёта уровней энергии электрона в сферически-симметричных потенциалах.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания свойств операторов момента, операторов рождения и уничтожения, понятий орбитального момента и спина, правил квантования и сложения моментов. Демонстрирует частично сформированное умение производить расчёты, давать интерпретацию результатов. Имеет представление о методах решения задач на собственные значения операторов, расчёта уровни энергии электрона в сферически-симметричных потенциалах.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания свойств операторов момента, операторов рождения и уничтожения, понятий орбитального момента и спина, правил квантования и сложения моментов. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты, давать интерпретацию</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. Владеет методами решения задач на собственные значения операторов, навыками расчёта уровней энергии электрона в сферически-симметричных потенциалах, но с отдельными пробелами.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания свойств операторов момента, операторов рождения и уничтожения, понятий орбитального момента и спина, правил квантования и сложения моментов. Сформированное умение производить расчёты, находить спектры собственных задач и собственных функций операторов момента, определять интегралы движения, вычислять энергетические и оптические спектры атомов. Успешное и систематическое применение навыков решения задач на собственные значения операторов, расчёта уровней энергии электрона в сферически-симметричных потенциалах.</p>
<p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Знать: методы теории возмущений, принцип тождественности частиц, основы теории многоэлектронных атомов. Уметь: находить приближённые решения задач в сложных потенциалах, многоэлектронных задач. Владеть: навыками и приёмами построения теории возмущений для квантово-механических задач.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает методы теории возмущений, принцип тождественности частиц, основы теории многоэлектронных атомов. Не умеет находить приближённые решения задач в сложных потенциалах, многоэлектронных задач. Не владеет навыками построения приближённых решений в сложных потенциалах, решения многоэлектронных задач.</p> <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания методов теории возмущений, принципа тождественности частиц, основ теории многоэлектронных атомов. Демонстрирует частично сформированное умение производить расчёты, давать интерпретацию результатов. Имеет представление о приёмах построения приближённых решений в сложных потенциалах, решения</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>многоэлектронных задач.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания методов теории возмущений, принципа тождественности частиц, основ теории многоэлектронных атомов. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты, давать интерпретацию результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. Владеет основным понятийным аппаратом теории возмущений и многочастичных задач, но с отдельными пробелами.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания методов теории возмущений, принципа тождественности частиц, основ теории многоэлектронных атомов. Сформированное умение производить расчёты, давать интерпретацию результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. Успешное и систематическое применение аппарата теории возмущений и решения многочастичных задач.</p>
<p><b>ОПК.8</b>  способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>Знать: основные представления о природе микромира, правила квантования, соотношение неопределённостей, свойства операторов момента, методы теории возмущений.  Уметь: проводить переход между классическими и квантовыми представлениями, решать задачи о динамике одномерных квантовых систем, находить спектры собственных чисел и собственных функций операторов момента, совершать переходы между различными представлениями.  Владеть: методами и правилами квантования, решения</p>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает основных представлений о природе микромира, правилах квантования, соотношении неопределённостей, свойствах операторов момента и методах теории возмущений.  Не умеет проводить переход между классическими и квантовыми представлениями, решать задачи о динамике одномерных квантовых систем, находить спектры собственных чисел и собственных функций операторов момента, совершать переходы между различными представлениями.  Не владеет методами и правилами квантования, решения одномерных задач и сферически-симметричных задач, приемами оценки применимости квантовых подходов.</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	одномерных задач и сферически-симметричных задач, приемами оценки применимости квантовых подходов.	<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания о природе микромира, правилах квантования, соотношении неопределённостей, свойствах операторов момента и методах теории возмущений. Демонстрирует частично сформированное умение проводить переход между классическими и квантовыми представлениями, решать задачи о динамике одномерных квантовых систем, находить спектры собственных чисел и собственных функций операторов момента, совершать переходы между различными представлениями. Имеет представление о методах и правилах квантования, решения одномерных задач и сферически-симметричных задач, приемами оценки применимости квантовых подходов.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о природе микромира, правилах квантования, соотношении неопределённостей, свойствах операторов момента и методах теории возмущений. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения проводить переход между классическими и квантовыми представлениями, решать задачи о динамике одномерных квантовых систем, находить спектры собственных чисел и собственных функций операторов момента, совершать переходы между различными представлениями. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами и правилами квантования, решения одномерных задач и сферически-симметричных задач, приемами оценки применимости квантовых подходов.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания о природе микромира, правилах квантования, соотношении неопределённостей, свойствах операторов момента и методах теории возмущений. Сформированное умение проводить переход между классическими и</p>



Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>квантовыми представлениями, решать задачи о динамике одномерных квантовых систем, находить спектры собственных чисел и собственных функций операторов момента, совершать переходы между различными представлениями. Успешное и систематическое применение методов квантования, решения одномерных задач и сферически-симметричных задач, приемами оценки применимости квантовых подходов.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Экзамен

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	Развитие представлений о природе микромира <b>Входное тестирование</b>	Навыки линейной алгебры и математической физики
<b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Шредингеровская картина движения <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание базовых представлений о природе микромира, основных понятий квантовой теории, владение математическим аппаратом квантовой теории, правилами перехода к квантовым представлениям.
<b>ОПК.8</b> способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей	Орбитальный момент импульса. Сферические гармоники <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	владение представлениями о общих и частных свойствах операторов момента, элементарными правилами вторичного квантования, методами сложения моментов, умение анализировать задачи о движении частиц в сферически-симметричных потенциалах
<b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Многоэлектронные атомы <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	владение приемами построения приближенных решений, базовыми понятиями квантовой статистики и теории многих частиц

## Спецификация мероприятий текущего контроля

### Развитие представлений о природе микромира

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Записать решение уравнения для одномерной плоской волны	5
Решить задачу Штурма-Лиувилля	3
Вычислить определитель матрицы 3x3	2

### Шредингеровская картина движения

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Знание общих свойств одномерного движения, умение анализировать одномерные задачи, находить энергетические спектры частицы в потенциальной яме	10
Владение методами описания квантовых явлений в представлении Гейзенберга и Шрёдингера	8
Знание базовых принципов соответствия классической и квантовой механики, правил вычисления наблюдаемых величин	7
Знание соотношения неопределённостей, понятия волновой функции	5

### Орбитальный момент импульса. Сферические гармоники

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Владение базовыми понятиями теории момента, знание оператора углового момента, спина, умение находить их собственные числа и векторы	9
Умение анализировать задачи о движении частиц в сферически-симметричном потенциале, строить спектры излучения водорода и водородоподобных ионов, двухатомных молекул	9
Умение проводить разделение переменных в уравнении Шрёдингера в трёхмерном пространстве, строить решение с применением сферических гармоник	6
Знание правил сложения моментов, умение вычислять коэффициенты Клебша-Гордана	6

### Многоэлектронные атомы

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знание методов стационарной и нестационарной теории возмущений, умение строить приближённые решения, владение приемами вычисления поправок к энергетическому спектру частиц в сложных потенциалах	12
Знание базовых методов анализа многочастичных задач, владение навыками построения энергетических спектров многоэлектронных атомов.	12
Владение основными понятиями квантовой статистики, знание принципа тождественности, принципа Паули, статистики Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна	8
Знание методов построения орбиталей многоэлектронных атомов, основ теории химической связи	8