

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 обязательную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.03** Радиофизика
направленность Электроника, микро- и наноэлектроника

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

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

03.03.03 Радиофизика (направленность : Электроника, микро- и наноэлектроника)

ОПК.3 Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

Индикаторы

ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.03.03 Радиофизика (направленность: Электроника, микро- и наноэлектроника)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	8
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	56
Проведение лекционных занятий	28
Проведение практических занятий, семинаров	28
Самостоятельная работа (ак.час.)	88
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	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 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).

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.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ОПК.3

Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности</p>	<p>Знать основные представления о природе микромира, понятие гильбертова пространства, правила квантования, соотношение неопределённостей, картину Шрёдингера и Гейзенберга. Уметь проводить переход между классическими и квантовыми представлениями, решать задачи о динамике одномерных квантовых систем, совершать переходы между различными представлениями. Владеть методами и правилами квантования, решения одномерных задач, приемами оценки применимости квантовых подходов.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные представления о природе микромира, понятие гильбертова пространства, правила квантования, соотношение неопределённостей, картину Шрёдингера и Гейзенберга. Не умеет проводить переход между классическими и квантовыми представлениями, решать задачи о динамике одномерных квантовых систем, совершать переходы между различными представлениями. Не владеет методами и правилами квантования, решения одномерных задач, приемами оценки применимости квантовых подходов.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания о природе микромира, понятие гильбертова пространства, правила квантования, соотношение неопределённостей, картину Шрёдингера и Гейзенберга. Демонстрирует частично сформированное умение производить расчёты, давать интерпретацию результатов. Имеет представление о методах и правилах квантования, решения одномерных задач, приемах оценки применимости квантовых подходов.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о природе микромира, понятие гильбертова пространства, правила квантования, соотношение неопределённостей, картину Шрёдингера и Гейзенберга. В целом успешные, но</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты, давать интерпретацию результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. Владеет основными понятиями о методах и правилах квантования, решения одномерных задач, приемах оценки применимости квантовых подходов.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания о природе микромира, понятие гильбертова пространства, правила квантования, соотношение неопределённостей, картину Шрёдингера и Гейзенберга. Сформированное умение производить расчёты, проводить переход между классическими и квантовыми представлениями, решать задачи о динамике одномерных квантовых систем, совершать переходы между различными представлениями. Успешное и систематическое применение методов и правил квантования, решения одномерных задач, приемов 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 (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Развитие представлений о природе микромира Входное тестирование	Навыки линейной алгебры и математической физики
ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности	Шредингеровская картина движения Письменное контрольное мероприятие	Знание базовых представлений о природе микромира, основных понятий квантовой теории, владение математическим аппаратом квантовой теории, правилами перехода к квантовым представлениям.
ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности	Орбитальный момент импульса. Сферические гармоники Письменное контрольное мероприятие	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
ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности	Многоэлектронные атомы Итоговое контрольное мероприятие	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, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Знание методов стационарной и нестационарной теории возмущений, умение строить приближённые решения, владение приемами вычисления поправок к энергетическому	12

спектру частиц в сложных потенциалах	
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