



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**



«Согласовано»  
Руководитель ОП  
Капустина А.А.  
(Ф.И.О.)  
«05» февраля 2021 г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий кафедрой  
(подпись)



Капустина А.А.  
(Ф.И.О.)  
«05» февраля 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
Строение вещества с основами квантовой химии  
**Направление подготовки 04.03.01 Химия**  
(Фундаментальная химия)  
**Форма подготовки очная**

курс 2,3 семестр 4,5  
лекции 54 час.  
практические занятия 54 час  
лабораторные работы 00 час.  
в том числе с использованием МАО лек. -30 / пр. - / лаб. 00 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 108 час.  
в том числе с использованием МАО 30 час.  
самостоятельная работа 108 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 72 час.  
контрольные работы (количество) 5  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены  
зачет не предусмотрен  
экзамен 4,5 семестры

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 17 июля 2017 г. № 671

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Общей, неорганической и элементоорганической химии

протокол № 5 от «15» января 2021 г.

Заведующий кафедрой Капустина А.А.

Составители: Капустина А.А., Савченко В.Г.

Владивосток

2021

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Капустина А.А.  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры/департамента:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## I. Цели и задачи освоения дисциплины:

**Цель:** формирование у студентов знаний об основах строения вещества, методах его экспериментального и теоретического изучения, взаимосвязи строения и свойств химических веществ, формирование химического мышления, умения использовать полученные знания в профессиональной деятельности.

### **Задачи:**

1. Сформировать знания теоретических основ строения химических частиц.
2. Сформировать умение использовать свойства веществ для установления их строения и решать обратную задачу.
3. Познакомить с методами расчета энергии молекулы.

Для успешного изучения дисциплины «Строение вещества с основами квантовой химии» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- умение использовать знания по неорганической, органической, физической химии, физике для объяснения строения молекул;
- умение объяснять взаимосвязь строения и свойств молекул.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные компетенции:

Наименование категории (группы) общепрофессиональных компетенций	Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
Общепрофессиональные навыки	<b>ОПК-3</b> Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники	<b>ОПК-3.1.</b> Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности <b>ОПК-3.2.</b> Использует стандартное программное обеспечение при решении задач химической направленности

<p>Физико-математическая и компьютерная грамотность при решении задач профессиональной деятельности</p>	<p><b>ОПК-4</b> Способность планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических и физических задач</p>	<p><b>ОПК-4.1.</b> Использует базовые знания в области математики и физики при обработке результатов, связанных со строением и химической активностью молекул</p> <p><b>ОПК-4.2.</b> Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик</p> <p><b>ОПК-4.3.</b> Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений о строении атомов и молекул</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
<p><b>ОПК-3.1</b> Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности</p>	<p>Знает теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества</p>
	<p>Умеет выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества</p>
	<p>Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества</p>
<p><b>ОПК-3.2</b> Использует стандартное программное обеспечение, вычислительную технику при решении задач химической направленности;</p>	<p>Знает стандартное программное обеспечение, вычислительную технику, необходимую для решения задач, связанных со строением атомов и молекул</p>
	<p>Умеет выбирать стандартное программное обеспечение, вычислительную технику, необходимую для решения задач, связанных со строением атомов и молекул</p>
	<p>Владеет навыками использования стандартного программного обеспечения, вычислительной техники при решении задач, связанных со строением атомов и молекул</p>
<p><b>ОПК-4.1</b> Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности</p>	<p>Знает базовые законы и понятия математики и физики, необходимые при планировании работ по изучению строения атомов и молекул</p>
	<p>Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул</p>
	<p>Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики</p>
<p><b>ОПК-4.2</b> Обрабатывает данные с использованием стандартных</p>	<p>Знает стандартные способы аппроксимации</p>
	<p>Умеет применять стандартные способы аппроксимации при обработке данных</p>

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
способов аппроксимации численных характеристик	Владеет навыками обработки данных по расчету строения атомов и молекул с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик
<b>ОПК-4.3</b> Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул
	Умеет интерпретировать результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений
	Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений

## II. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 зачётных единиц 216 академических часа).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине являются:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Пр	Практические работы
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося				Формы промежуточной аттестации
			Лек	Пр	СР	Контроль	
<b>Модуль 1 Основы квантовой химии и квантовой механики</b>							
1	Раздел I. Основные постулаты квантовой механики. Математический аппарат квантовой механики. Простейшие задачи	4	9	12	18	36	УО-1; УО-2; ПР-1; ПР-2;
2	Раздел 2. Многоэлектронный атом; приближенные методы	4	5	8			

	решения квантово-механических задач						
3	Раздел 3. Квантовая химия молекул и теория химической связи	4	2	8			
4	Раздел 4. Поверхность потенциальной энергии (ППЭ); пути и энергетика химической реакции	4	2	8			
<b>Модуль 2. Строение вещества</b>							
5	Раздел 1. Введение. Классические и квантово-механические теории строения молекул	5	10	2	18	36	УО-1; УО-2; ПР-1; ПР-2;
6	Раздел 2. Геометрия молекул. Энергетическая характеристика молекул.	5	6	4			
7	Раздел 3. Электрические и магнитные свойства молекулярных систем и их использование для изучения строения молекул	5	6	4			
8	Раздел 4. Внутримолекулярное движение и электромагнитные спектры.	5	8	4			
9	Раздел 5. Комплексные соединения. Межмолекулярные взаимодействия. Строение конденсированных фаз.	5	6	4			
Итого:			54	54	36	72	216

### **III. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

#### **Лекционные занятия 54час.)**

#### **Модуль 1. Основы квантовой химии и квантовой механики (18 часов).**

#### **Раздел 1. Основные постулаты квантовой механики. Математический аппарат квантовой механики. Простейшие задачи (9 часов).**

#### **Тема 1. Волновая функция, состояние (2 часа).**

Вероятность нахождения квантовой системы в элементе конфигурационного пространства. Плотность вероятности нахождения квантовых частиц в пространстве. Условие нормировки волновой функции. Требования к волновой функции.

#### **Тема 2. Формализм квантовой механики, операторы (1 час).**

Операторы физических величин. Собственные значения и собственные функции операторов. Спектр оператора. Вырожденные состояния, кратность вырождения. Среднее значение физической величины. Принцип суперпозиции состояний. Принцип неопределенности Гейзенберга. Соотношения неопределенностей для координаты и импульса.

### **Тема 3. Уравнение Шредингера (1 час).**

Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Стационарное уравнение Шредингера. Общий вид гамильтониана молекулы. Основное состояние.

### **Тема 4. Приближенные методы решения квантово-механических задач (1 час).**

Вариационный принцип. Вариационный метод Ритца. Теория возмущений.

### **Тема 5. Простейшие задачи квантовой механики (2 часа).**

Решение уравнения Шредингера для частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками (энергетические уровни, волновая функция частицы, плотность вероятности нахождения частицы в пространстве между стенками). Частица в потенциальном ящике. Модель свободных электронов для сопряжённых полиенов. Туннельный эффект.

### **Тема 6. Волновая функция атома водорода (2 часа).**

Гамильтониан водородоподобного атома. Разделение переменных. Радиальная функция. Сферические гармоники. Квантовые числа водородоподобного атома. Узловые точки и узловые поверхности. Радиальная функция распределения. Энергетические уровни водородоподобного атома.

## **Раздел 2. Многоэлектронный атом; приближенные методы решения квантово-механических задач (5 часов).**

### **Тема 1. Многоэлектронный атом (1 час).**

Гамильтониан многоэлектронного атома. Приближение независимых частиц. Эффективный потенциал. Метод самосогласованного поля. Уравнения Хартри. Энергия в методе Хартри.

### **Тема 2. Метод Хартри-Фока (2 часа).**

Антисимметричность электронной волновой функции. Спин-орбиталь. Детерминант Слетера. Уравнения Хартри-Фока. Остовный, кулоновский и обменный интегралы. Природа обменного взаимодействия. Общая схема решения уравнений Хартри-Фока. Понятия ограниченного и неограниченного

метода Хартри-Фока. Приближение центрального поля. Классификация АО. Физический смысл орбиталей Хартри-Фока. Теорема Купманса.

### **Тема 3. Электронная корреляция (1 час).**

Методы учета корреляционной энергии: метод конфигурационного взаимодействия, метод связанных кластеров, метод теории возмущений Меллера-Плессета, общие принципы и сравнительная характеристика.

### **Тема 4. Теория функционала плотности (1 час).**

Теорема Хоэнберга-Кона. Полная энергия квантовой системы. Представление кинетической энергии в ТФП, орбитали Кона-Шэма. Обменные и корреляционные функционалы. Приближения LDA и GGA. Гибридные функционалы.

## **Раздел 3. Квантовая химия молекул и теория химической связи (2 часа).**

### **Тема 1. Гамильтониан молекулы (1 час).**

Приближение Борна-Оппенгеймера. Электронная волновая функция. Критерий применимости приближения Борна-Оппенгеймера.

### **Тема 2. Метод молекулярных орбиталей (1 час).**

Приближение МО ЛКАО. Уравнения Рутаана. Метод Рутаана на примере молекулы водорода. Образование связывающей и разрыхляющей молекулярных орбиталей. Распределение электронной плотности для молекулярных связывающей и разрыхляющей орбиталей молекулы  $H_2$ . Зависимость полной, кинетической и потенциальной энергий от межъядерного расстояния в молекуле  $H_2$ .

## **Раздел 4. Поверхность потенциальной энергии (ППЭ); пути и энергетика химической реакции (2 часа).**

### **Тема 1. Поверхность потенциальной энергии (1 час).**

Потенциальная энергия двухатомной молекулы. Понятие ППЭ. Стационарные точки ППЭ. Гессиан. Координата реакции. Путь минимальной энергии. Седловая точка. Переходное состояние. Энергия активации.

### **Тема 2. Колебания молекул (1 час).**

Модель гармонического осциллятора для молекулы. Силовые постоянные. Частоты нормальных колебаний. Энергия нулевых колебаний. Расчет термодинамических функций.



## **Модуль 2. Строение вещества (36 часа).**

**Раздел 1. Введение. Классические и квантово-механические теории строения молекул. (10 час.).**

**Тема 1. Теоретические основы учения о строении химических частиц** Работы Франкланда, Купера, Кекуле, А.М. Бутлерова. (1 час.).

**Тема 2. Основы современной теории химического строения (1 час.).**

Потенциальная кривая. Равновесное состояние. Энергия (полная и диссоциации) молекулы. Интерпретация направленности химических связей.

**Тема 3. Теория отталкивания электронных пар валентной оболочки (2 час.), в том числе с использованием МАО-лекция – беседа (2 часа).**

Основные положения теории Гиллеспи. Применение теории для определения геометрического строения молекул.

**Тема 4. Приближенные методы решения волнового уравнения (6 час.), в том числе с использованием МАО-лекция – беседа (4 часа).**

Гомо- и гетеронуклеарные двухатомные молекулы в МО ЛКАО. Расчет энергии. Построение энергетических диаграмм. Симметрия молекулярных систем. Точечные группы симметрии молекул. Представления и характеры представлений точечных групп. Использование симметрии молекул для построения молекулярных орбиталей

Многоатомные молекулы в методе МО. Понятие о делокализованных и локализованных МО. Явление внутреннего вращения. Потенциальные барьеры. Конформеры.

**Раздел 2. Геометрия молекул. Энергетическая характеристика молекул. (6 час.).**

**Тема 1. Сохранение орбитальной симметрии в химических реакциях (2 час.), в том числе с использованием МАО-лекция с разбором конкретных ситуаций (2 часа).**

Принцип Вудворда и Гоффмана. Перициклические реакции. Супра- и антартаповерхностные реакции.

**Тема 2. Метод МО Хюккеля (2 час.), в том числе с использованием МАО-лекция – беседа (2 часа).**

Основные положения метода МО Хюккеля. Применение его к диеновым и ароматическим соединениям. Понятия: электронная плотность, заряд на атомах, порядок связи, индекс свободной валентности. Энергия диссоциации и энергия делокализации.

**Тема 3. Диаграммы Уолша (2 час.), в том числе с использованием МАО-лекция с разбором конкретных ситуаций (2 часа).**

Подход Уолша к определению строения молекул. Диаграммы Уолша для молекул состава  $AB_2$  и  $AB_3$ .

**Раздел 3. Электрические и магнитные свойства молекулярных систем и их использование для изучения строения молекул. (6 час.).**

**Тема 1. Магнитный момент. Магнитная восприимчивость. (1 час).**

Магнитный момент и методы его определения. Связь магнитного момента и магнитной восприимчивости.

**Тема 2. Использование магнитных свойств при изучении строения молекул. (2 час).**

Применение магнитных свойств для определения термов атомов и молекул, в методе МО. Сущность методов ЭПР и ЯМР.

**Тема 3. Дипольный момент (1 час.).**

Дипольный момент в классической и квантовой механике. Индуцированный дипольный момент. Методы определения и вычисления дипольного момента.

**Тема 4. Поляризуемость молекул (2 час.), в том числе с использованием МАО-лекция – беседа (2 часа).**

Поляризуемость молекул. Эллипсоид поляризуемости. Уравнение Ланжевена-Дебая. Поляризационная теория. Зависимость поляризуемости и поляризующего действия от электронной конфигурации, размера и заряда иона. Молярная рефракция. Закономерности в величинах молярной рефракции.

**Раздел 4. Внутримолекулярное движение и электромагнитные спектры. (8 час.).**

**Тема 1. Вращательное движение (1 час.)**

Приближение жесткого ротатора. Момент инерции. Энергия вращения. Вращательная постоянная.

**Тема 2. Вращательные спектры (2 час.), в том числе с использованием МАО-лекция с разбором конкретных ситуаций (2 часа).**

Вращательные спектры. Правила отбора. Определение молекулярных параметров из вращательных спектров.

**Тема 3. Колебательное движение и колебательный спектр. (2 час.)**

Нормальные колебания: число, тип, симметрия. Колебательно-вращательный спектр. Приближение гармонического осциллятора. Правила отбора и спектр гармонического осциллятора.

**Тема 4. Молекула - ангармонический осциллятор (2 час.), в том числе с использованием МАО-лекция с разбором конкретных ситуаций (2 часа).**

Потенциал Морзе. Правила отбора и спектр ангармонического осциллятора. Определение геометрических параметров и другой информации из спектров.

**Тема 5. Колебательные спектры комбинационного рассеяния. Колебательные спектры многоатомных молекул. (1 час).**

Понятие о КР – спектрах и их использовании при изучении строения молекул. Особенности ИК - и КР -спектров многоатомных молекул.

**Раздел 5. Комплексные соединения. Межмолекулярные взаимодействия. Строение конденсированных фаз. (6 час.).**

**Тема 1. Комплексные соединения (2 час.), в том числе с использованием МАО-лекция с разбором конкретных ситуаций (2 часа).**

Комплексы  $\pi$ -акцепторного типа. Применение методов МО и ВС для описания строения комплексных соединений.

**Тема 2. Межмолекулярные взаимодействия(2час).**

Межмолекулярные взаимодействия: индукционное, ориентационное, дисперсионное взаимодействие. Ван-дер-Ваальсовы молекулы. Взаимосвязь сил Ван-дер-Ваальса

**Тема 3. Агрегатное состояние вещества (2 час.).**

Строение конденсированных фаз. Жидкости, аморфные вещества, мезофазы, кристаллы, их поверхности и границы раздела.

Кристаллическое состояние вещества: Элементарные кристаллы; Кристаллы с ковалентной связью; Ионные кристаллы. Аморфное, жидкое и газообразное состояние вещества. Интерметаллиды. Стекла.

### **III. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

**Модуль1 Практические занятия (36 час.)**

**Занятия №№1-2. Тема: Алгебра операторов. Операторы основных физических величин (4 часа).**

План занятий

I.Разбор теоретических вопросов:

**Тема: Алгебра операторов:**

1. Дать определение операторам.
2. Как обозначаются операторы?
3. Когда оператор считается заданным?
4. Что означает сумма или разность операторов?
5. Что означают понятия коммутативные и некоммутирующие операторы?
6. Произведение 2-х одинаковых операторов?
7. Что представляют собой линейные самосопряженные (эрмитовы) операторы?
- 8.Что означает понятие комплексное сопряжение ?

II.Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Проверить линейность операторов.
2. Найти явный вид оператора.
3. Доказать, что  $F + G = G + F$

**Тема: Операторы основных физических величин**

I. Разбор теоретических вопросов:

1. Оператор координаты  $x$ .
2. Оператор момента импульса.
3. Оператор кинетической энергии:
4. Выражения для составляющих оператора момента импульса в сферических координатах.
5. Выражение  $\nabla^2$  в сферических координатах.
6. Оператор полной энергии частицы или системы.
7. Операторы кинетической и потенциальной энергии.

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Доказать, что оператор физической величины является эрмитовым (самосопряженным).
2. Найти эрмитово-сопряженный оператор для оператора дифференцирования  $D = d/dx$ .
3. Проверить эрмитовость оператора  $\hat{p}_y$ .

**Занятия №№ 3-4. Тема: Коммутационные соотношения (4 часа).**

План занятий

I. Разбор теоретических вопросов:

1. В каком случае величины  $L$  и  $M$  могут быть одновременно и точно измерены?
2. Что показывают соотношения:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq \frac{\hbar}{2}$$

3. Приведите соотношение неопределенности для энергии и времени.
4. Напишите соотношения для коммутативных операторов.
5. Что показывают соотношения:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta \bar{y} \cdot \Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq \frac{\hbar}{2}$$

6. Напишите соотношения для коммутативных операторов.

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Показать, что операторы проекций импульса коммутируют между собой.
2. Показать, что оператор координаты и оператор проекции импульса на другую координату коммутируют.
3. Вычислить коммутатор  $[\hat{L}_x, \hat{y}], [\hat{L}_y, \hat{z}], [\hat{p}_x, \hat{L}_z]$
4. Доказать, что, если два эрмитовых оператора **F** и **G** коммутируют, то их произведение также является эрмитовым.

**Занятия №№ 5-6 Тема: Задачи на собственные функции и собственные значения (4 часа).**

План занятий

I. Разбор теоретических вопросов:

1. В каком случае говорят, что  $a$  – это собственное значение оператора  $\hat{L} = \frac{d}{dx}$ , а функция  $f = e^{ax}$  – собственная функция оператора  $\hat{L} = \frac{d}{dx}$ ?
2. Как записать условие, при котором оператор  $\hat{L}$  оставляет функцию  $f$  неизменной, с точностью до постоянного множителя?
3. Что называется спектром собственных значений оператора  $\hat{L}$ ? Каким он может быть? 4. В каком случае говорят, что этот спектр  $n$ -кратно вырожден?
5. Какие собственные функции  $f_n$  и  $f_m$  самосопряженного оператора  $\hat{L}$  ортогональны между собой?
6. Что понимается под нормированием функции  $f_n$ ? а коэффициент  $\frac{1}{A}$  – коэффициентом
7. Как записать условие ортогональности и нормировки вместе?
8. Разбор теорем:

**Теорема.** Если несколько собственных функций принадлежат одинаковым собственным значениям, то любая линейная комбинация из этих функций является решением того же операторного уравнения и с тем же собственным значением.

**Теорема.** Если 2 оператора  $\hat{L}$  и  $\hat{M}$  имеют общую полную систему собственных функций, они коммутируют.

**Теорема.** Если 2 оператора  $\hat{L}$  и  $\hat{M}$  коммутируют, то они имеют общие собственные функции.

**Теорема.** Система собственных функций операторного уравнения полна. Это значит, что любую функцию  $F(x)$ , определенную в той же области переменных и подчиненную тем же граничным условиям, что и собственные функции дискретного спектра  $f_n(x)$  оператора  $\hat{L}$ , можно представить в виде ряда из этих собственных функций:

$$F(x) = c_1 f_1(x) + c_2 f_2(x) + \dots + c_n f_n(x)$$

$$F(x) = \sum_n c_n f_n(x)$$

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Доказать, что собственные значения эрмитова оператора являются вещественными числами.

2. Показать, что функции  $\phi$  и  $\phi = \phi e^{i\delta}$  описывают одно и то же физическое состояние.

3. Найти собственные значения и собственные функции оператора проекции момента импульса на ось  $z$ .

4. Найти собственные значения и собственные функции оператора проекции импульса  $p_x$ .

5. Найти собственные функции оператора координаты.

**Занятия №№ 7-8. Тема: Среднее значение физической величины. Одномерные задачи квантовой механики, частица в потенциальной яме, в потенциальном ящике (4 часа).**

План занятий

I. Разбор теоретических вопросов:

**Тема: Среднее значение физической величины**

1. Что является единственно возможным значением физической величины?  
2. Назовите основное уравнение квантовой механики. Кем и когда оно предложено?

3. Что такое волновая функция?

4. Приведите стационарное уравнение Шредингера. Почему оно так называется?

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Показать, что необходимым и достаточным условием вещественности среднего значения величины  $F$  является эрмитовость (самосопряженность) ее оператора  $F$ .

2. Найти связь между средними значениями координаты и импульса двух частиц, волновые функции которых  $\Psi_1$  и  $\Psi_2$  связаны соотношением

$$\Psi_2(x) = \Psi_1(x + a), \quad a = \text{const.}$$

3. Доказать, что если в одном и том же состоянии среднее значение величины  $A$  равно  $\langle A \rangle$ , а среднее значение величины  $B$  равно  $\langle B \rangle$ , то среднее значение суммы  $\langle A + B \rangle = \langle A \rangle + \langle B \rangle$ .

**Тема: Одномерные задачи квантовой механики, частица в потенциальной яме, в потенциальном ящике**

1. Постановка задачи:

Пусть частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Ширина ямы  $l$ . Найти:

- Нормированные волновые функции стационарных состояний и энергетический спектр частицы, используя уравнение Шредингера.

- Возможные значения энергии частицы, исходя из того, что реализуются лишь такие ее состояния, при которых в пределах данной ямы укладывается целое число полувольт де Бройля.

- Вероятность пребывания частицы в области  $l/3 < x < 2l/3$ , если она находится в основном энергетическом состоянии.

- Среднее значение координаты частицы  $\langle x \rangle$  и проекции импульса  $\langle p_x \rangle$  если частица находится в основном состоянии.

2. Анализ условия.

3. Решение.

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Найти вероятность пребывания частицы в области  $l/3 < x < 2l/3$ , если она находится в основном энергетическом состоянии.

2. Нарисовать волновые функции первых трех состояний для частицы, находящейся в потенциальной яме с потенциалом, изображенным на рисунке. Для каждого состояния указать число узлов функции и число максимумов на кривой плотности вероятности. Написать граничные условия, необходимые для расчета волновой функции.

3. Нарисовать волновые функции первых трех состояний для частицы, находящейся в потенциальной яме с потенциалом, изображенным на рисунке. Для каждого состояния указать число узлов функции и число максимумов на

кривой плотности вероятности. Написать граничные условия, необходимые для расчета волновой функции.

**Занятия №№ 9-10. Тема: Гармонический осциллятор. Теория момента импульса, движение частицы в центральном поле. Водородоподобный атом (2 часа).**

План занятий

I. Разбор теоретических вопросов:

**Тема: Гармонический осциллятор:**

1. Решение операторного уравнения для нахождения возможных значений энергии частицы.

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Найти наиболее вероятное положение частицы при заданных условиях.

**Тема: Теория момента импульса, движение частицы в центральном поле. Водородоподобный атом:**

1. Нахождение собственных функции и собственные значения проекции оператора момента импульса и квадрата оператора момента импульса.

2. Квантование орбитального момента и его проекции.

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Изобразите радиальную и сферическую поверхностную функции для состояния электрона в атоме водорода с волновой функцией  $\Psi_{320}$ .

$$R_{32} = \frac{4}{81\sqrt{30}} e^{-\rho/3} \rho^2 \quad S_{20} = \sqrt{\frac{5}{4\pi}} \frac{1}{2} (3 \cos^2 \Theta - 1)$$

Нарисуйте и назовите атомную орбиталь.

2. Изобразите радиальную и сферическую поверхностную функции для состояния электрона в атоме водорода с волновой функцией  $\Psi_{321}$ .

$$R_{32} = \frac{4}{81\sqrt{30}} e^{-\rho/3} \rho^2 \quad S_{21} = \sqrt{\frac{5}{12\pi}} 3 \sin \Theta \cos \Theta \cos \varphi$$

Нарисуйте и назовите атомную орбиталь.

**Занятия №№ 11-12. Тема: Многоэлектронные атомы. Термы многоэлектронных атомов (4 часа).**

План занятий

I. Разбор теоретических вопросов:

1. Что такое одноэлектронное приближение?

2. Что такое электронная конфигурация? Однократно- или двукратно-возбужденная электронная конфигурация?

3. В чем сущность метода Хартри? Запишите оператор потенциальной энергии  $i$ -го электрона в методе Хартри.



4. В чем смысл метода самосогласованного поля? Что понимается под самосогласованным полем?

5. Что такое терм атома?

II. Решение задач

Примеры задач:

1. Определить терм основного состояния атома V (порядковый номер - 23).

2. Определить, для какого атома терм основного состояния  $^4S_{3/2}$ .

3. Атом Ti (электронная конфигурация:  $3d^24s^2$ ) может иметь следующие термы:  $^1S$ ,  $^3P$ ,  $^1D$ ,  $^1G$ ,  $^3F$ . Расположить термы в порядке возрастания энергии.

4. Определить терм основного состояния атома Br (порядковый номер - 35).

5. Определить, для какого атома терм основного состояния  $^2D_{3/2}$ .

6. Атом Ni (электронная конфигурация:  $3d^84s^2$ ) может иметь следующие термы:  $^1S$ ,  $^3P$ ,  $^1D$ ,  $^1G$ ,  $^3F$ . Расположить термы в порядке возрастания энергии.

**Занятия №№ 13-14. Тема: Метод Хартри-Фока. (4 часа).**

План занятий

I. Разбор теоретических вопросов:

1. Какое основное отличие заложено в метод Хартри-Фока по сравнению с методом Хартри?

2. Что такое основная энергия молекулы в методе Хартри-Фока?

3. Какие экспериментальные возможности существуют для проверки теоремы Купманса?

4. Разбор примеров и задач.

**Занятия №№ 15-16. Номенклатура базисных наборов (4 часа).**

План занятий

I. Разбор теоретических вопросов:

1. Что понимают под электронной корреляцией? Что такое дырка Ферми? Учитывает ли корреляцию метод Хартри-Фока? Какую?

2. Почему методы учета корреляционной энергии иногда называют пост-хартри-фоковскими?

3. Расшифруйте и объясните аббревиатуры MP4, CISD, CCSDT.

4. Назовите обменный и корреляционный функционалы в составе B3LYP.

5. SVWN, PBE, BLYP, B3LYP. Какие из перечисленных функционалов относятся к градиент-корректированным, какие из них являются гибридными?

6. Что означает термин ab initio? Какие квантово-химические методы подходят под это определение?

7. Разбор примеров и задач.

**Занятия №№ 17-18. Приближение МО ЛКАО. Уравнения Рутана (4 часа).**

## План занятия

### I. Разбор теоретических вопросов:

1. В молекуле (как и в атоме) имеются дискретные энергетические состояния отдельных электронов (молекулярные орбитали) с их самосогласованным движением в поле друг друга и всех ядер молекулы.
2. Каждая орбиталь характеризуется своим набором квантовых чисел, отражающих свойства электронов в данном энергетическом состоянии.
3. Характер распределения электронов по МО определяет порядок (кратность) связи, её энергию, межъядерные расстояния (длина связи), магнитные свойства молекул и др.
4. Заполнение молекулярных орбиталей подчиняется тем же правилам, что и заполнение атомных: принципу энергетической выгоды, принципу Паули, правилу Хунда, принципу заполнения электронных структур Aufbau.

### II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Пусть число базисных орбиталей -  $n$ . Оцените число интегралов, которые нужно вычислить для задания матриц уравнения Рутаана.
2. Получите уравнения Рутаана используя вариационный метод.

## Модуль 2 Практические занятия (18 час.)

**Занятие № 1.** Основы квантовой химии. Теория отталкивания электронных пар валентной оболочки (2 часа).

### План занятия

#### I. Разбор теоретических вопросов:

1. Основные постулаты квантовой химии.
2. Чем обуславливается конфигурация связей многовалентного атома (или иона)?
3. Назовите ориентации облаков  $\bar{e}$ -пар валентных орбиталей в пространстве в зависимости от их числа.
4. Как изменяется сила отталкивания  $\bar{e}$ -пар (E - неподеленная, X - поделенная) в валентной оболочке в ряду E-E  $\rightarrow$  E-X  $\rightarrow$  X-X? Вместо " $\rightarrow$ " поставьте знак ">" или "<".
5. Почему с увеличением числа неподеленных  $\bar{e}$ -пар уменьшается валентный угол а одготипных молекулах?
6. Почему неподеленная электронная пара занимает а пространстве бо́льший объём?
7. Объясните и помощью основных положений теории ОЭПВО правило полярности, согласно которому в структурах молекул AX<sub>5</sub>, AX<sub>4</sub>E, AX<sub>3</sub>E<sub>2</sub>, производных от тригональной бипирамиды, бо́лее электроотрицательные

лиганды всегда занимают аксиальные положения, и аксиальные связи удлинены по сравнению с экваториальными?

## II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Определите геометрическое строение молекул: а)  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{IF}_5$ ,  $\text{ClF}_3$ ,  $[\text{ICl}_2]^-$ ,  $[\text{ICl}_4]^-$ ,  $\text{SCl}_4$ ; б)  $\text{BeCl}_2$ ,  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{PCl}_5$ ,  $\text{SCl}_6$ ,  $\text{XeF}_6$ ; в)  $\text{COCl}_2$ ,  $\text{SOF}_4$ ,  $\text{TeO}_2$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{SO}_2\text{F}_2$ ,  $\text{IOF}_5$ ; г)  $\text{SF}_3\text{N}$ ,  $\text{CH}\equiv\text{CH}$

**Занятия №№ 2-3.** Метод МО ЛКАО, гомонуклеарные и гетеронуклеарные двухатомные молекулы (4 час).

План занятия

I. Разбор теоретических вопросов:

1. Классификация молекулярных орбиталей по связывающим свойствам.
2. Классификация молекулярных орбиталей по симметрии.
3. Классификация молекулярных орбиталей по энергии.
4. Построение волновых функций и энергетических диаграмм гомонуклеарных двухатомных молекул.

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Сравнить устойчивость и длину связей в молекулах  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2^+$  и  $\text{N}_2^-$ , используя метод МО.
2. Записать волновые функции МО и построить энергетические диаграммы следующих молекул:  $\text{CO}$ ,  $\text{CN}^-$ .

**Занятие № 4.** Симметрия молекул. Многоатомные молекулы в ММО (2 часа).

План занятия

I. Разбор теоретических вопросов:

1. Точечные группы симметрии молекул. Операции симметрии.
2. Правило группового умножения.
3. Представления и характеры представлений точечных групп. Приводимые (ПП) и неприводимые представления (НП).
4. Классификация молекулярных орбиталей многоатомных молекул.
5. Представление о делокализованных и локализованных МО, их использовании для описания одноэлектронных и коллективных свойств

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Составление таблицы НП для группы симметрии  $C_{2v}$ .
2. Построение волновых функций МО и энергетических диаграмм для многоатомных молекул ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ).

**Занятие № 5.** Сохранение орбитальной симметрии при химических реакциях (2 часа).

План занятия

I. Разбор теоретических вопросов:

1. Сформулируйте принцип сохранения орбитальной симметрии.
2. Дайте определение согласованным, перициклическим реакциям.

Приведите примеры.

3. Что такое супраповерхностное и антароповерхностное присоединение? Примеры.

4. В чем заключается метод корреляционных диаграмм?

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Рассмотрите с помощью корреляционных диаграмм реакцию димеризации этилена по типу  $\pi_s^2 + \pi_s^2$  и по типу  $\pi_s^2 + \pi_a^2$ . Какая из них разрешена, а какая запрещена по симметрии?

2. Рассмотрите с помощью корреляционных диаграмм реакцию диенового синтеза (реакция Дильса-Альдера) – присоединение олефинов к диенам. Докажите, что она разрешена по симметрии.

**Занятия № 6.** Диаграммы Уолша. Метод Хюккеля. Применение к диеновым и ароматическим соединениям (2 часа).

План занятия

I. Разбор теоретических вопросов:

1. Подход Уолша к оценке расположения МО на энергетической шкале в однотипных соединениях. Положительное и отрицательное перекрытия.

2. Построение корреляционных диаграмм для молекул  $AB_2$  линейного и углового строения.

3. Построение корреляционных диаграмм для плоских и пирамидальных молекул  $AB_3$ .

4. Подход Хюккеля к описанию связи в непредельных соединениях.

Основные положения метода Хюккеля.

5. Расчет энергии и волновой функции молекулы аллила.

6. Электронная плотность, заряд на атомах, порядок связи, индекс свободной валентности.

6. Расчет энергии и волновой функции молекулы бензола.

Особенности ароматических соединений. Правило Хюккеля

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Определите с помощью диаграммы Уолша, какие из перечисленных молекул будут угловыми, а какие линейными:  $BH_2$ ,  $CH_2$ ,  $H_2O$ ,

$\text{NH}_2^+$ ?

2. Рассчитанные по методу МОХ,  $\pi$ -МО бутадиена имеют вид:

$$\Psi_1 = 0.372 x_1 + 0.602 x_2 + 0.602 x_3 + 0.372 x_4$$

$$\Psi_2 = 0.602 x_1 + 0.372 x_2 - 0.372 x_3 - 0.602 x_4$$

$$\Psi_3 = 0.602 x_1 - 0.372 x_2 - 0.372 x_3 + 0.602 x_4$$

$$\Psi_4 = 0.372 x_1 - 0.602 x_2 + 0.602 x_3 - 0.372 x_4 .$$

Учитывая, что электронами заняты только первые две  $\pi$ -МО, рассчитайте электронные плотности на 3-ем и 4-ом атомах углерода и порядок связи между ними.

**Занятие № 7.** Магнитные свойства молекул. Электрические свойства молекул (2 часа).

План занятия

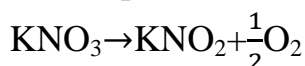
I. Разбор теоретических вопросов:

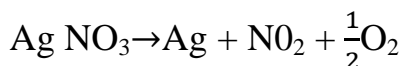
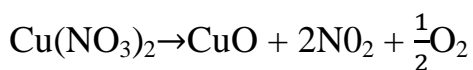
1. Чем обусловлены магнитные свойства вещества?
2. Какие вещества являются парамагнитными? В чем особенность парамагнетизма?
3. Диамагнетизм. Его особенности.
4. Магнитная восприимчивость и магнитные моменты.
5. Энергия молекулы в магнитном поле. Расщепление вырожденных уровней энергии.
6. Использование магнитных свойств при изучении строения молекул.
7. Спектральные методы, основанные на магнитных свойствах веществ. Понятие об ЭПР- и ЯМР-методах.
8. Дипольный момент. Физический смысл, методы определения. Вычисление дипольного момента по аддитивной схеме.
9. Дипольный момент и симметрия молекул, полярные и неполярные молекулы.
10. Поляризуемость и ее зависимость от строения молекул; Эллипсоид поляризуемости;
11. Вычисление поляризуемости по аддитивной схеме;
12. Поляризационная теория;
13. Применение поляризационной теории для объяснения реакционной способности молекул.

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Объяснить с точки зрения поляризационной теории почему получается различные продукты при термическом разложении нитратов:





2. Рассчитать дипольные моменты изомеров толуоловой кислоты  $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{COOH}$ , если дипольный момент группы  $\text{CH}_3$  в бензольном ядре равен +0.4Д, а дипольный момент группы  $\text{COOH}$  в бензольном ядре равен -0.9Д.

3. Используя представление о симметрии, определите, какие из перечисленных ниже молекул являются полярными, а какие неполярными:  $\text{HCN}$ ,  $\text{NOCl}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COCl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{CO}_2$ .

**Занятия № 8** Вращательное движение и вращательные спектры молекул. Колебательное движение и колебательные спектры молекул (2 часа).

План занятия

I. Разбор теоретических вопросов:

1. Внутримолекулярное движение и электромагнитный спектр;
2. Вращательное движение (приближение жесткого ротатора). Вращательная постоянная. Вращательное квантовое число Вращательные уровни энергии.
3. Вращательный спектр поглощения и испускания. Правила отбора.
4. Нормальные колебания и их классификация.
5. Колебательное движение в приближении гармонического осциллятора.
6. Колебательный спектр поглощения и испускания.
7. Молекула- ангармонический осциллятор.
8. КР спектры. Правила отбора.
9. Определение молекулярных параметров из колебательных спектров

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Изучение ИК-вращательного спектра газообразного  $\text{HF}$  дает для вращательной постоянной значение  $B = 41.14 \text{ см}^{-1}$ . Рассчитать значение энергии вращения для состояний, отвечающих вращательным квантовым числам 1, 2, 3, 4, 5. Вычислить величину кванта энергии, возбуждающего переход молекулы с данного уровня на соседний.

2. Первая полоса в колебательном спектре поглощения газообразного лежит при  $3.46 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , вторая - при  $1.76 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , третья - при  $1.15 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ . Найти значение фактора ангармоничности  $\chi$  и  $\omega_0$  - основную частоту колебаний молекулы.

**Занятие № 9. Комплексные соединения. Межмолекулярное взаимодействие. Агрегатное состояние вещества (2 часа).**

План занятия

I. Разбор теоретических вопросов по координационным соединениям:

1. Классификация карбониллов металлов по функции молекулы CO как структурного фрагмента комплекса.

2. Состав карбониллов. Правило инертного газа.

3. Образование связи в карбонилах металлов по методу ВС.

4. Образование связи в карбонилах металлов по методу МО.

5. Теория поля лигандов.

II. Решение задач

Примеры типов задач для решения:

1. Рассмотреть строение  $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$ , используя метод МО.

III. Разбор теоретических вопросов по межмолекулярному взаимодействию и агрегатному состоянию вещества:

1. Ориентационное взаимодействие;

2. Индукционное взаимодействие;

3. Дисперсионное взаимодействие;

4. Взаимосвязь сил Ван-дер-Вальса; Ван-дер-Вальсовы молекулы; Ион-молекулярное взаимодействие.

5. Дать характеристику кристаллического состояния вещества: элементарные кристаллы; кристаллы с ковалентной связью; ионные кристаллы.

6. Природа водородной связи.

7. Аморфное, жидкое и газообразное состояние вещества.

8. Интерметаллиды. Состав. Строение.

9. Стекла. Состав. Строение.

Большая часть учебного материала должна быть проработана студентом самостоятельно, внеаудиторных занятий. Самостоятельная работа студентов является неотъемлемой составной частью процесса подготовки специалистов.

Под самостоятельной работой студента понимается часть учебной планируемой работы, которая выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, без его непосредственного участия. Самостоятельная работа направлена на усвоение системы научных и профессиональных знаний, формирование умений и навыков, приобретение опыта самостоятельной творческой деятельности.

Самостоятельная работа студентов включает в себя подготовку к практическим работам, описание проделанной работы с приведением расчетов, графиков, таблиц и выводов, подготовка к защите теории по работе, самоконтроль знаний по теме работы с помощью вопросов к каждой работе,

подготовка к коллоквиумам. Для качественного выполнения практических работ каждый студент должен заранее подготовиться к очередной работе. Подготовка складывается из изучения цели, задач и содержания практической работы, повторения теоретического материала, относящегося к работе.

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Подготовка к практическим работам оценивается в ходе устного опроса по пятибалльной системе.

Отчеты по практическим работам составляются студентами индивидуально и защищаются устно, оцениваются по пятибалльной системе.

Отчеты по практическим работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, уравнения реакций, таблицы, методику проведения лабораторных опытов, список литературы, расчеты и т. д.

Структурно отчет по практической работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

Титульный лист – обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета).

Исходные данные к выполнению заданий – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.).

Основная часть – материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных.

Выводы – обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы).

Список литературы – обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии).

План-конспект занятия и отчет по практической работе относится к категории «письменная работа», оформляется по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ.



Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы);
- набор и оформление математических выражений (формул);
- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- интервал межстрочный – полуторный;
- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- выравнивание текста – «по ширине»;
- поля страницы - левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).
- режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все приложения включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

#### IV. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

##### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
Модуль 1.				
1.	1-6 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям, контрольным работам.	6 час	Работа на практических занятиях, УО-1 (собеседование/устный опрос) Контрольная работа №1 (ПР-2)
2.	7-12 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям, контрольным работам.	6 час	Работа на практических занятиях, УО-1 (собеседование/устный опрос) Контрольная работа №2 (ПР-2)
3.	13-18 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям, контрольным работам.	6 час	Работа на практических занятиях, УО-1 (собеседование/устный опрос) Контрольная работа №3 (ПР-2)
	Промежуточная аттестация	Подготовка к экзамену	36 час	Экзамен
Модуль 2				

1.	1-6 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям, сдаче коллоквиума.	6 час	Принятие коллоквиумов №№ 1-2 с оценкой в соответствии с рейтингом-планом. (УО-1) Контрольные работы №№1-2. (ПР 2)
2	7-12 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям, сдаче коллоквиума.	6 час	Принятие коллоквиума №3 с оценкой в соответствии с рейтингом-планом. (УО-1) Контрольные работы №№ 3--4. (ПР 2)
3.	13-18 недели семестра	Подготовка к практическим занятиям, сдаче коллоквиума.	6 час	Принятие коллоквиума №4с оценкой в соответствии с рейтингом-планом (УО-1) Контрольная работа №5. (ПР 2)
4.	Промежуточная аттестация	Подготовка к экзамену	36	Экзаменационные билеты

### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

*Планирование и организация времени, отведенного на выполнение заданий самостоятельной работы.*

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить структуру каждого задания, обратить внимание на график выполнения работ, отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику. Обратит внимание, что итоги самостоятельной работы влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины.

*Работа с литературой.*

При выполнении ряда заданий требуется работать с литературой. Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ (<http://www.dvfu.ru/library/>) и других ведущих вузов страны, а также доступных для использования научно-библиотечных систем.

В процессе выполнения самостоятельной работы, в том числе при написании эссе рекомендуется работать со следующими видами изданий:

а) Научные издания, предназначенные для научной работы и

содержащие теоретические, экспериментальные сведения об исследованиях. Они могут публиковаться в форме: монографий, научных статей в журналах или в научных сборниках;

б) Учебная литература подразделяется на:

- учебные издания (учебники, учебные пособия, тексты лекций), в которых содержится наиболее полное системное изложение дисциплины или какого-то ее раздела;

- справочники, словари и энциклопедии – издания, содержащие краткие сведения научного или прикладного характера, не предназначенные для сплошного чтения. Их цель – возможность быстрого получения самых общих представлений о предмете.

Существуют два метода работы над источниками:

– сплошное чтение обязательно при изучении учебника, глав монографии или статьи, то есть того, что имеет учебное значение. Как правило, здесь требуется повторное чтение, для того чтобы понять написанное. Старайтесь при сплошном чтении не пропускать комментарии, сноски, справочные материалы, так как они предназначены для пояснений и помощи. Анализируйте рисунки (карты, диаграммы, графики), старайтесь понять, какие тенденции и закономерности они отражают;

– метод выборочного чтения дополняет сплошное чтение; он применяется для поисков дополнительных, уточняющих необходимых сведений в словарях, энциклопедиях, иных справочных изданиях. Этот метод крайне важен для повторения изученного и его закрепления, особенно при подготовке к зачету.

Для того чтобы каждый метод принес наибольший эффект, необходимо фиксировать все важные моменты, связанные с интересующей Вас темой.

Тезисы – это основные положения научного труда, статьи или другого произведения, а возможно, и устного выступления; они несут в себе большой объем информации, нежели план. Простые тезисы лаконичны по форме; сложные – помимо главной авторской мысли содержат краткое ее обоснование и доказательства, придающие тезисам более весомый и убедительный характер. Тезисы прочитанного позволяют глубже раскрыть его содержание; обучаясь излагать суть прочитанного в тезисной форме, вы сумеете выделять из множества мыслей авторов самые главные и ценные и делать обобщения.

Конспект – это способ самостоятельно изложить содержание книги или статьи в логической последовательности. Конспектируя какой-либо источник, надо стремиться к тому, чтобы немногими словами сказать о многом. В тексте конспекта желательно поместить не только выводы или положения, но и их аргументированные доказательства (факты, цифры, цитаты).

Писать конспект можно и по мере изучения произведения, например, если прорабатывается монография или несколько журнальных статей.

Составляя тезисы или конспект, всегда делайте ссылки на страницы, с которых вы взяли конспектируемое положение или факт, – это поможет вам сократить время на поиск нужного места в книге, если возникает потребность глубже разобраться с излагаемым вопросом или что-то уточнить при написании письменных работ.

### **Методические рекомендации по выполнению заданий для самостоятельной работы и критерии оценки.**

В соответствии с целями и задачами дисциплины студент изучает на занятиях и дома разделы лекционного курса, готовится к практическим занятиям, проходит контрольные точки текущей аттестации, включающие разные формы проверки усвоения материала (опрос, тестирование и др.).

Самостоятельная работа включает подготовку к практическим занятиям (работа с литературой, проработка тем лекционных занятий), к тестированию и контрольным работам.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

### **Рекомендации по подготовке к практическим занятиям**

Самостоятельная работа студентов по подготовке к практическим занятиям включает в себя проработку тематического плана лекций, уделяя особое внимание структуре и содержанию темы и основных понятий. Изучение «сложных» тем следует начинать с составления логической схемы основных понятий, категорий, связей между ними. Целесообразно прибегнуть к классификации материала, в частности при изучении тем, в которых присутствует большое количество незнакомых понятий, категорий, теорий, концепций, либо насыщенных информацией типологического характера.

В ходе подготовки к практическим занятиям необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях. При этом учесть рекомендации преподавателя. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем. Целесообразно составить план-конспект своего выступления по вопросам практического занятия.

Виды плана по форме выражения:

1. Номинативный. Это самый краткий способ выражения плана: утвердительные односоставные предложения, главный член которых – в форме подлежащего, например: конформеры.

2. **Вопросительный, или вопросный** (каждый пункт плана представляет собой вопросительное предложение).

3. **Цитатный** (пункты плана – цитаты из исходного текста, которые отражают содержание будущего ответа).

4. **Тезисный** (пункты плана передают основные моменты содержания ответа, который потом легко воспроизвести).

Требования к содержанию плана:

1. план должен соответствовать теме, адекватно и достаточно полно отражать содержание ответа;

2. пункты плана должны быть связаны внутренней логикой (второй пункт вытекает из первого, третий из второго и т.д.);

3. части плана должны быть соразмерены.

Технология составления плана:

1. Прочитайте рекомендованную преподавателем литературу, определяя микротемы, которые раскрывают вопрос.

2. Разделите прочитанное на части.

3. Определите, с какой целью составляется план, и на основе этого решите, какой будет вид плана по форме выражения.

4. Дайте краткое наименование каждой части.

5. Проверьте получившийся план, скорректируйте его, учитывая требования.

6. Определите, достаточно ли адекватно передает структуру и содержание ответа составленный план.

7. В случае необходимости дополните или сократите план.

Требования к оформлению плана:

Пункты плана ответа должны быть единообразно оформлены, иметь единое основание деления.

Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию:

1. Проработать конспект лекций;

2. Прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемому разделу;

3. Ответить на вопросы плана практического занятия;

4. Составить план-конспект своего выступления по вопросам практического занятия;

5. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

### **Подготовка к коллоквиуму**

При подготовке к сдаче коллоквиума рекомендуется пользоваться материалами лекций и рекомендованной литературой. Коллоквиум является

одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями. Целью коллоквиума является определение качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании коллоквиума:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Коллоквиум проводится под наблюдением преподавателя. Тема коллоквиума известна и проводится она по сравнительно недавно изученному материалу, в соответствии с перечнем тем и вопросов для подготовки.

Преподаватель готовит задания либо по вариантам, либо индивидуально для каждого студента. По содержанию работа может включать теоретический материал, задачи, тесты, расчеты и т.п. выполнению работы предшествует инструктаж преподавателя.

Ключевым требованием при подготовке к коллоквиуму выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, четко и логично излагать свои мысли. Подготовку к коллоквиуму следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

### **Подготовка к сдаче экзамена**

В процессе подготовки к экзамену, следует ликвидировать имеющиеся пробелы в знаниях, углубить, систематизировать и упорядочить знания. Особое внимание следует уделить организации подготовки к экзамену. Наличие полных собственных конспектов лекций является необходимым условием успешной сдачи экзамена. Если пропущена какая-либо лекция, необходимо ее восстановить, обдумать, устранить возникшие вопросы, чтобы запоминание материала было осознанным. Следует помнить, что при подготовке к экзамену вначале надо просмотреть материал по всем вопросам сдаваемой дисциплины, далее отметить для себя наиболее трудные вопросы и обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

### **Задания по подготовке к практическим занятиям**

#### **Модуль 1**

#### **1. Подготовка к практическим занятиям.**

### **Задание на дом к занятию №1**

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теме «Алгебра операторов».

### **Задание на дом к занятию №2**

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теме «Операторы физических величин».

### **Задание на дом к занятию №3**

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теме «Коммутационные соотношения».

### **Задание на дом к занятию №№4-5**

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач на собственные значения и собственные функции операторов.

### **Задание на дом к занятию №6**

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач на нахождение среднего значения физической величины.

### **Задание на дом к занятию №№7-9**

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к анализу условия и постановке задачи, а также к нахождению волновой функции частицы в потенциальной яме. Определить граничные условия для потенциальных ям различной формы.

### **Задание на дом к занятию №10**

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению общей задачи нахождения энергии гармонических колебаний частицы.

### **Задание на дом к занятию №11**

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теории момента импульса.

### **Задание на дом к занятию №№12-13**

Просмотреть материал лекций, учебники по теории строения многоэлектронного атома и подготовиться к решению задач по нахождению термина основного состояния атома.

### **Задание на дом к занятию №№14-18**

Просмотреть материал лекций, учебники по теории МО ЛКАО и методу Хартри-Фока-Рутаана. Подготовиться к решению задач по нахождению волновых функций простейших молекулярных систем, построению определителя Слэтера, решению уравнений Рутаана.

## **Модуль 2**

### **1. Подготовка к сдаче коллоквиумов.**



При подготовке к сдаче коллоквиумов воспользуйтесь материалами лекций и рекомендованной литературой.

## **2. Подготовка к практическим занятиям.**

### **Задание на дом к занятию № 1**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие к практическим занятиям и подготовиться к решению задач по определению пространственного строения молекул по методу Гиллеспи, контрольной работе №1.

### **Задание на дом к занятиям №№ 2-3**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к написанию волновых функций молекулярных орбиталей двухатомных гомонуклеарных и гетеронуклеарных молекул, построению энергетических диаграмм молекул.

### **Задание на дом к занятию № 4**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению многоатомных молекул по методу МО с использованием понятия об их симметрии, контрольной работе №2.

### **Задание на дом к занятию № 5**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению принципа сохранения орбитальной симметрии при химических реакциях.

### **Задание на дом к занятиям № 6**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к построению и анализу диаграмм Уолша.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению строения молекул ненасыщенных органических соединений по методу Хюккеля, контрольной работе №3.

### **Задание на дом к занятиям № 7**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению магнитных свойств и их использованию для объяснения строения молекул.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению электрических свойств (дипольного момента, поляризуемости) и их использованию для объяснения строения молекул, контрольной работе №4.

### **Задание на дом к занятиям № 8**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению вращательного движения и вращательных спектров и их использованию для объяснения строения молекул.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению колебательного движения и колебательных спектров и их использованию для объяснения строения молекул, контрольной работе №5.

#### **Задание на дом к занятию № 5**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению строения комплексных соединений.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению межмолекулярного взаимодействия, агрегатного состояния вещества.

#### **Методические рекомендации по решению задач**

При решении задач, заданных на дом и при решении задач, включенных в контрольную работу, целесообразно придерживаться следующего алгоритма:

1. Грамотно провести анализ условия задачи и выявить к какой теме относится задача, решается ли она:

- по химической формуле вещества;
- по математической формуле.

2. Обратить внимание на вопрос задачи, установить, в каких единицах должен быть получен ответ.

3. Записать кратко данные (условие) задачи.

4. Продумать логическую последовательность решения.

5. Выполнить решение, применяя необходимые формулы.

6. Осуществить вычисления.

7. Проверить решение.

#### **Домашние задания для подготовки к контрольным работам**

##### **1. Контрольная работа по теории ОЭПВО**

1. Объясните и помощью основных положений теории ОЭПВО правило полярности, согласно которому в структурах молекул  $AX_5$ ,  $AX_4E$ ,  $AX_3E_2$ , производных от тригональной бипирамиды, более электроотрицательные лиганды всегда занимают аксиальные положения, и аксиальные связи удлинены по сравнению с экваториальными?

2. Определите геометрическое строение молекул: а)  $PCl_3$ ,  $SnCl_2$ ,  $IF_5$ ,  $ClF_3$ ,  $[ICl_2]^-$ ,  $[ICl_4]^-$ ,  $SCl_4$  ..... ; б)  $BeCl_2$ ,  $BCl_3$ ,  $CH_4$ ,  $PCl_5$ ,  $SCl_6$ ,  $XeF_6$  ..... ; в)  $COCl_2$ ,  $SOF_4$ ,  $TeO_2$ ,  $HNO_2$ ,  $H_2SO_4$ ,  $SO_2F_2$ ,  $IOF_5$  ..... ; г)  $SF_3N$ ,  $CH \equiv CH$  .....

3. Сравните углы  $XAX$  в молекулах  $PF_5$  и  $ClF_3$ . В какой из этих молекул он больше и почему?

4. Даны молекулы  $PI_3$ ,  $PBr_3$ ,  $PCl_3$ ,  $PF_3$ . Определите, какое из указанных ниже значений валентного угла относится к каждой из этих молекул:  $102^\circ$ ;  $101,5^\circ$ ;  $97,8^\circ$ ;  $100,3^\circ$ ?

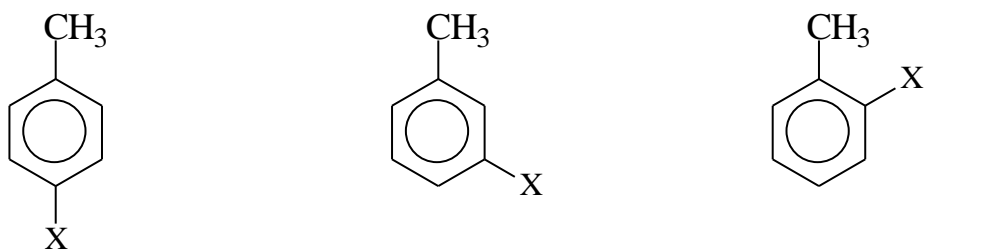
5. Сопоставьте значения валентных углов  $\text{CPC}$ ,  $\text{CPF}$  (экваториальная плоскость),  $\text{FPF}$  в молекуле  $(\text{CH}_3)_2\text{PF}_3$ .
6. Сравните углы  $\text{XAX}$  в молекулах  $\text{PCl}_3$  и  $\text{CCl}_4$ . В какой молекуле он больше?
7. Угол  $\text{HCH}$  в молекуле  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$  равен  $116.8^\circ$ , а угол  $\text{HCC}$  -  $122^\circ$ . Объясните данный факт.
8. Валентные углы в молекуле  $\text{Cl}_2\text{CO}$  имеют значение  $111.3^\circ$  и  $124.3^\circ$ . Определите, какое из этих значений относится к углу  $\text{ClCCl}$  и какое к углу  $\text{OCCl}$ .
9. Расположите в порядке возрастания валентного угла  $\text{XPX}$  молекулы  $\text{POF}_3$ ,  $\text{POCl}_3$ ,  $\text{POBr}_3$ .
10. Угол  $\text{ONO}$  в ионах  $[\text{NO}_2]^+$  и  $[\text{NO}_2]^-$  соответственно  $180^\circ$  и  $115^\circ$ . Объясните данный факт.
11. В какой молекуле валентный угол больше: в  $\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{OF}_2$ ?

### **2. Контрольная работа по теме: «Метод МО»**

1. Записать волновые функции МО и построить энергетические диаграммы следующих молекул:  $\text{CO}$ ,  $\text{CN}^-$
2. Сравнить устойчивость и длину связей в молекулах  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2^+$  и  $\text{N}_2^-$ , используя метод МО.
3. Записать волновые функции МО и построить энергетические диаграммы следующих молекул:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ .

### **3. Контрольная работа по теме: «Электрические и магнитные свойства»**

1. Дипольный момент связи  $\text{O}-\text{H}$  в воде равен  $1.58\text{Д}$ . Определить величину валентного угла в молекуле  $\text{H}_2\text{O}$ , если ее дипольный момент равен  $1.84$ .
2. Рассчитать дипольный момент молекулы  $\text{H}_2\text{S}$ , если дипольный момент связи  $\text{S}-\text{H}$  равен  $0.68\text{Д}$ , а валентный угол равен  $82^\circ$ .
3. Дипольный момент молекулы  $\text{Cl}_2\text{O}$  равен  $0.78\text{Д}$ . Рассчитать дипольный момент связи, если валентный угол в молекуле  $\text{Cl}_2\text{O}$  равен  $115^\circ$ .
4. Дипольные моменты бромбензола  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$  и толуола  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$  соответственно равны  $1.52\text{Д}$  и  $0.4\text{Д}$ . При измерении дипольных моментов изомеров бромтолуола получены значения  $\mu = 1.44\text{Д}$  и  $\mu = 1.75\text{Д}$ . Какие изомеры были исследованы?
5. Рассчитать дипольные моменты двузамещенных производных бензола типа:



где  $x = \text{Br}, \text{CN}, \text{NO}_2, \text{NH}_2, \text{OH}$ , если дипольный момент  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$  равен 0.4, а дипольные моменты замещающих групп соответственно равны:

	Br	$\text{NO}_2$	CN	$\text{NH}_2$	
ОН					
$\mu(\text{Д})$	-1.52	-3.96	-3.92	+1.53	-

1.56.

6. Используя представление о симметрии, определите, какие из перечисленных ниже молекул являются полярными, а какие неполярными:  $\text{HCN}, \text{NOCl}, \text{NH}_3, \text{AlF}_3, \text{H}_2\text{S}, \text{COCl}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{SiH}_4, \text{CF}_4, \text{CO}_2$ .

7. Объясните, почему транс-изомер дихлорэтилена неполярен, а цис-изомер – полярен.

8. Рассчитайте поляризуемость следующих молекул: 2,2-диметилбутан; 2,3-диметилпентан; 2,2,3-триметилпентан.

9. Расположите в ряд в порядке возрастания поляризуемости следующие ионы:  $\text{Na}^+, \text{Al}^{3+}, \text{Mg}^{2+}, \text{O}^{2-}, \text{F}^-$ .

10. Расположите в порядке уменьшения поляризуемости молекулы  $\text{HI}, \text{HF}, \text{HBr}, \text{HCl}$ .

11. Используя поляризационную теорию, объясните причину термической нестойкости молекул  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{CuCO}_3$ . Какая из них термически более стойкая? Почему?

12. Объясните причину немонотонного изменения термической устойчивости карбонатов щелочных металлов: от  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  до  $\text{K}_2\text{CO}_3$  она возрастает, а от  $\text{K}_2\text{CO}_3$  до  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  – падает. Почему?

13. Используя поляризационную теорию, объясните, почему от мышьяка к висмуту увеличивается устойчивость соединений со степенью окисления "+3" и падает устойчивость соединений атомов этих элементов со степенью окисления "+5".

14. Рассмотрите закономерности изменения устойчивости соединений элементов подгруппы ванадия ( $\text{V}, \text{Nb}, \text{Ta}$ ) со степенями окисления "+3" и "+5".

**4.Контрольная работа по теме: «Вращательное и колебательное движения»**

1. Изучение ИК-вращательного спектра газообразного HF дает для вращательной постоянной значение  $B = 41.14 \text{ см}^{-1}$ . Рассчитать значение энергии вращения для состояний, отвечающих вращательным квантовым числам 1, 2, 3, 4, 5. Вычислить величину кванта энергии, возбуждающего переход молекулы с данного уровня на соседний.

Решить аналогичную задачу для HCl, если  $B = 20.83 \text{ см}^{-1}$ .

Решить аналогичную задачу для HBr, если  $B = 16.70 \text{ см}^{-1}$ .

Решить аналогичную задачу для HI, если  $B = 12.84 \text{ см}^{-1}$ .

2. Воспользовавшись условием задачи 1, рассчитать момент инерции и межъядерные расстояния в молекуле HF. Приняв, что атомы в молекуле находятся в тесном контакте, сравнить значение диаметра, полученное из спектральных данных, со значением "газокинетического" диаметра  $d = 2.34 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ .

Решить аналогичную задачу для HCl, если  $d = 2.56 \text{ \AA}$ .

Решить аналогичную задачу для HBr, если  $d = 2.84 \text{ \AA}$ .

Решить аналогичную задачу для HI, если  $d = 3.24 \text{ \AA}$ .

3. Первая полоса в колебательном спектре поглощения газообразного лежит при  $3.46 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , вторая - при  $1.76 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , третья - при  $1.15 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ . Найти значение фактора ангармоничности  $\chi$  и  $\omega_0$  - основную частоту колебаний молекулы.

Решить аналогичную задачу для молекулы CO. Первая полоса - при  $4.67 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , вторая - при  $2.35 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , третья - при  $1.57 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ .

4. Воспользовавшись решением задачи 3, рассчитать энергию диссоциации молекулы HCl и энергию, отвечающую переходу молекулы HCl из основного состояния с  $v = 0$  в состояние с  $v = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ .

Решить аналогичную задачу для молекулы CO.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Студенты опрашиваются устно на консультациях согласно графику, оцениваются по пятибалльной системе.

Оценка «Отлично»

А) Задание выполнено полностью.

Б) Отчет/ответ составлен грамотно.

В) Ответы на вопросы полные и грамотные.

Г) Материал понят, осознан и усвоен.

Оценка «Хорошо»

А), Б) - те же, что и при оценке «Отлично».

В) Неточности в ответах на вопросы, которые исправляются после уточняющих вопросов.

Г) Материал понят, осознан и усвоен.

Оценка «Удовлетворительно»

А), Б - те же, что и при оценке «Отлично».

В) Неточности в ответах на вопросы, которые не всегда исправляются после уточняющих вопросов.

Г) Материал понят, осознан, но усвоен не достаточно полно.

Оценка «Неудовлетворительно»

А) Программа не выполнена полностью.

Б) Устный отчет и ответы на вопросы не полные и не грамотные.

В) Материал не понят, не осознан и не усвоен.

**Критерии оценивания решения задач.**

В решении и объяснении нет ошибок. Ход решения рациональный.

Если необходимо, решение произведено несколькими способами.

**VI. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые модули/разделы / темы дисциплины	Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства – наименование	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
Модуль 1. Основы квантовой химии и квантовой механики					
1	Раздел 1. Основные постулаты квантовой механики. Математический аппарат квантовой механики.	ОПК- 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	Знает: теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1	Экзаменационные вопросы №№ 1-12. вопросы к экзамену
			Умеет: выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1	
			Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1	
		ОПК-3.2 Использует стандартное программное обеспечение,	Знает: стандартное программное обеспечение, вычислительную технику, необходимую для	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1	

	вычислительную технику при решении задач химической направленности;	решения задач, связанных со строением атомов и молекул	
		Умеет: выбирать стандартное программное обеспечение, вычислительную технику, необходимую для решения задач, связанных со строением атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1
		Владеет навыками использования стандартного программного обеспечения, вычислительной техники при решении задач, связанных со строением атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1
	ОПК-4.1 Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности	Знает базовые законы и понятия математики и физики, необходимые при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2
		Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2
	ОПК-4.2 Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик	Знает стандартные способы аппроксимации	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2
		Умеет применять стандартные способы аппроксимации при обработке данных	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками обработки данных по расчету строения атомов и молекул с	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача

			использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик	коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2	
			Умеет интерпретировать результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2	
2	Раздел 2. Многоэлектронный атом; приближенные методы решения квантово-механических задач	ОПК- 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	Знает: теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2; ПР-1, ПР-2	Экзаменационные вопросы №№ 13-17
			Умеет: выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-3.2 Использует стандартное программное обеспечение, вычислительную технику при решении задач химической направленности;	Знает: стандартное программное обеспечение, вычислительную технику, необходимую для решения задач, связанных со строением атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Умеет: выбирать стандартное программное обеспечение,	УО-1 собеседование /устный опрос;	



		вычислительную технику, необходимую для решения задач, связанных со строением атомов и молекул	УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
	ОПК-4.1 Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности	Знает базовые законы и понятия математики и физики, необходимые при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
	ОПК-4.2 Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик	Знает стандартные способы аппроксимации	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Умеет применять стандартные способы аппроксимации при обработке данных	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками обработки данных по расчету строения атомов и молекул с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
	ОПК-4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и	Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Умеет интерпретировать	УО-1

		представлений	результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
3	Раздел 3. Квантовая химия молекул и теория химической связи	ОПК- 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	Знает: теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2; ПР-1, ПР-2	Экзаменационные вопросы №№ 18-23
			Умеет: выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-3.2 Использует стандартное программное обеспечение, вычислительную технику при решении задач химической направленности;	Знает: стандартное программное обеспечение, вычислительную технику, необходимую для решения задач, связанных со строением атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Умеет: выбирать стандартное программное обеспечение, вычислительную технику, необходимую для решения задач, связанных со строением атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-4.1 Использует базовые знания в области	Знает базовые законы и понятия математики и физики, необходимые при планировании работ по	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача	

		математики и физики при планировании работ химической направленности	изучению строения атомов и молекул	коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
			Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
			Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
		ОПК-4.2 Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик	Знает стандартные способы аппроксимации	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
			Умеет применять стандартные способы аппроксимации при обработке данных	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
			Владеет навыками обработки данных по расчету строения атомов и молекул с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
		ОПК-4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
			Умеет интерпретировать результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
			Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
4	Раздел 4. Поверхность потенциальной энергии	ОПК- 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические	Знает: теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач,	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача	Экзаменационные вопросы №№ 18-23

(ППЭ); пути и энергетика химической реакции	ие модели при решении задач химической направленности	связанных со строением и свойствами вещества	коллоквиума 2; ПР-1, ПР-2
		Умеет: выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
	ОПК-3.2 Использует стандартное программное обеспечение, вычислительную технику при решении задач химической направленности;	Знает: стандартное программное обеспечение, вычислительную технику, необходимую для решения задач, связанных со строением атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Умеет: выбирать стандартное программное обеспечение, вычислительную технику, необходимую для решения задач, связанных со строением атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Знает базовые законы и понятия математики и физики, необходимые при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
	ОПК-4.1 Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности	Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2
		Знает стандартные способы аппроксимации	УО-1 собеседование /устный опрос;
	ОПК-4.2 Обрабатывает данные с		

		использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик		УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Умеет применять стандартные способы аппроксимации при обработке данных	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками обработки данных по расчету строения атомов и молекул с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
	ОПК-4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений		Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Умеет интерпретировать результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
<b>Модуль 2. Строение вещества</b>					
5	Раздел 1. Введение. Классические и квантово-механические теории строения молекул	ОПК- 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	Знает: теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1; ПР-1, ПР-2	Экзаменационные вопросы №№ 1-8
			Умеет: выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-4.1 Использует	Знает базовые законы и понятия математики и	УО-1 собеседование	

		базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности	физики, необходимые при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	/устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, Пр-1, Пр-2	
			Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, Пр-1, Пр-2	
			Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, Пр-1, Пр-2	
		ОПК-4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, Пр-1, Пр-2	
			Умеет интерпретировать результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, Пр-1, Пр-2	
			Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 1, Пр-1, Пр-2	
6	Раздел 2. Геометрия молекул. Энергетическая характеристика молекул	ОПК- 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	Знает: теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2; Пр-1, Пр-2	Экзаменационные вопросы №№ 9-18
			Умеет: выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
			Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, Пр-1, Пр-2	
		ОПК-4.1 Использует базовые знания в	Знает базовые законы и понятия математики и физики, необходимые при	УО-1 собеседование /устный опрос;	

		области математики и физики при планировании работ химической направленности	планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-2 Сдача коллоквиума 2; ПР-1, ПР-2	
			Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2; ПР-1, ПР-2	
			Умеет интерпретировать результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 2, ПР-1, ПР-2	
7	Раздел 3. Электрические и магнитные свойства молекулярных систем и их использование для изучения строения молекул	ОПК- 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	Знает: теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 3; ПР-1, ПР-2	Экзаменационные вопросы №№ 19-27
			Умеет: выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 3, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 3, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-4.1 Использует базовые знания в области	Знает базовые законы и понятия математики и физики, необходимые при планировании работ по	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача	

		математики и физики при планировании работ химической направленности	изучению строения атомов и молекул	коллоквиума 3; ПР-1, ПР-2	
			Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 3, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 3, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 3; ПР-1, ПР-2	
			Умеет интерпретировать результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 3, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 3, ПР-1, ПР-2	
8	Раздел 4. Внутримолекулярное движение и электромагнитные спектры.	ОПК- 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	Знает: теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 4; ПР-1, ПР-2	Экзаменационные вопросы №№ 28-37
			Умеет: выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 4, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 4, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-4.1 Использует базовые знания в области математики и	Знает базовые законы и понятия математики и физики, необходимые при планировании работ по изучению строения атомов	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 4;	



		физики при планировании работ химической направленности	и молекул	ПР-1, ПР-2	
			Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 4, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 4, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 4; ПР-1, ПР-2	
			Умеет интерпретировать результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 4, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 4, ПР-1, ПР-2	
9	Раздел 5. Комплексные соединения. Межмолекулярные взаимодействия. Строение конденсированных фаз.	ОПК- 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	Знает: теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 5; ПР-1, ПР-2	Экзаменационные вопросы №№ 38-49
			Умеет: выбирать теоретические и полуэмпирические модели при решении задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 5, ПР-1, ПР-2	
			Владеет навыками применения теоретических и полуэмпирических моделей для решения задач, связанных со строением и свойствами вещества	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 5, ПР-1, ПР-2	
		ОПК-4.1 Использует базовые знания в области математики и физики при	Знает базовые законы и понятия математики и физики, необходимые при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 5; ПР-1, ПР-2	

	планировании работ химической направленности	Умеет применять базовые законы и понятия математики и физики при планировании работ по изучению строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 5, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками планирования работ по изучению строения атомов и молекул с использованием базовых законов и понятий математики и физики	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 5, ПР-1, ПР-2
	ОПК-4.3 Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	Знает физические законы и представления, необходимые для интерпретации результатов химических исследований строения атомов и молекул	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 5; ПР-1, ПР-2
		Умеет интерпретировать результаты химических наблюдений строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 5, ПР-1, ПР-2
		Владеет навыками интерпретации результатов химических исследования строения атомов и молекул с использованием физических законов и представлений	УО-1 собеседование /устный опрос; УО-2 Сдача коллоквиума 5, ПР-1, ПР-2

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также качественные критерии оценивания, которые описывают уровень сформированности компетенций, представлены в разделе VIII.

## **VII. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В. Г. Цирельсон.-3-е изд., испр. (эл.). - Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 522 с.). -М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - (Учебник для высшей школы).-Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10".  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996323623.html>

2. Калашников, Н.П. Практикум по решению задач по общему курсу физики. Основы квантовой физики. Строение вещества. Атомная и ядерная физика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.П. Калашников, Н.М. Кожевников, Т.В. Котырло [и др.]. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2014. — 238 с. [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=49468](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=49468)

3. Капустина, А.А. Строение вещества с основами квантовой химии (модуль "Строение вещества"): учебно-методическое пособие к семинарским занятиям / А. А. Капустина; Дальневосточный федеральный университет, Школа естественных наук. Владивосток : Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2017.- 75 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:830024&theme=FEFU>

4. Капустина, А.А. Строение вещества: краткий курс лекций [Электронный ресурс] / А. А. Капустина, Дальневосточный федеральный университет, Школа естественных наук. Владивосток: [Изд-во Дальневосточного федерального университета](http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:830024&theme=FEFU), 2015, 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). <http://elib.dvfu.ru/vital/access/manager/Repository/fefu:2233>

#### **Дополнительная литература (печатные и электронные издания)**

1. Третьяков, Ю. Д. Химия твердого тела / Ю. Д. Третьяков, А. В. Кнотко, И. А. Пресняков. – М. : Изд-во Академия, 2006. – 302 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:245093&theme=FEFU>

2. Минкин, В. И., Теория строения молекул. / В. И. Минкин, Б. Я. Симкин, Р. М. Минаев. - Ростов-на-Дону : Феникс, 1997. – 560 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:246127&theme=FEFU>

3. Борщевский, А.Я. Строение атомных частиц. Многоэлектронные атомы/А.Я. Борщевский. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. - 80с.

<http://www.chem.msu.ru/rus/weldept.html>:

#### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. <http://e.lanbook.com/>
2. <http://www.studentlibrary.ru/>
3. <http://znanium.com/>
4. <http://www.nelbook.ru/>

**Перечень информационных технологий и программного обеспечения**  
Платформа электронного обучения Blackboard ДВФУ.  
[bb.dvfu.ru/webapps/blackboard/execute/staffinfo/manageStaffInfo?course\\_id=\\_4650\\_1&mode=view&mode=cpview](http://bb.dvfu.ru/webapps/blackboard/execute/staffinfo/manageStaffInfo?course_id=_4650_1&mode=view&mode=cpview)

## **Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. База данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. База данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>

## **VIII. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Рекомендации по планированию и организации времени, отведенного на изучение дисциплины**

Время, отведённое на самостоятельную работу, должно быть использовано обучающимся планомерно в течение семестра.

Планирование – важнейшая черта человеческой деятельности. Для организации учебной деятельности эффективным вариантом является использование средств, напоминающих о стоящих перед вами задачах, и их последовательности выполнения. В роли таких средств могут быть IT-технологии (смартфоны, планшеты, компьютеры и т.п.), имеющие приложения/программы по организации распорядка дня/месяца/года и сигнализирующих о важных событиях, например, о выполнении заданий по дисциплине «Строение вещества с основами квантовой химии и квантовой механики».

Регулярность – первое условие поисков более эффективных способов работы. Рекомендуется выбрать день/дни недели для регулярной подготовки по дисциплине «Строение вещества с основами квантовой химии и квантовой механики», это позволит морально настроиться на выполнение поставленных задач, подготовиться к ним и выработать правила выполнения для них, например, сначала проработка материала лекций, чтение первоисточников, затем выделение и фиксирование основных идей. Рекомендуемое среднее время два часа на одно занятие.

### **Описание последовательности действий, обучающихся при изучении дисциплины**

В соответствии с целями и задачами дисциплины студент изучает на занятиях и дома разделы лекционного курса, готовится к практическим занятиям, проходит контрольные точки текущей аттестации, включающие разные формы проверки усвоения материала (собеседование, тестирование и др.).

Освоение дисциплины включает несколько составных элементов учебной деятельности:

1. Внимательное чтение рабочей программы учебной дисциплины (помогает целостно увидеть структуру изучаемых вопросов). В ней содержится перечень контрольных испытаний для всех разделов и тем, включая экзамен;

указаны сроки сдачи заданий, предусмотренных учебной программой курса дисциплины «Строение вещества с основами квантовой химии и квантовой механики».

2. Неотъемлемой составной частью освоения курса является посещение лекций и их конспектирование. Глубокому освоению лекционного материала способствует предварительная подготовка, включающая чтение предыдущей лекции, работу с учебниками.

3. Регулярная подготовка к практическим занятиям и активная работа на них, включающая:

- повторение материала лекции по теме;
- знакомство с планом занятия и списком основной и дополнительной литературы, с рекомендациями по подготовке к занятию;
- изучение научных сведений по данной теме в разных учебных пособиях;
- чтение первоисточников и предлагаемой дополнительной литературы;
- посещение консультаций с целью выяснения возникших сложных вопросов при подготовке к практическим занятиям.

4. Подготовка к экзамену (в течение семестра), повторение материала всего курса дисциплины.

### **Рекомендации по работе с литературой**

Изучение дисциплины следует начинать с проработки тематического плана лекций, уделяя особое внимание структуре и содержанию темы и основных понятий. Изучение «сложных» тем следует начинать с составления логической схемы основных понятий, категорий, связей между ними. Целесообразно прибегнуть к классификации материала, в частности при изучении тем, в которых присутствует большое количество незнакомых понятий, категорий, теорий, концепций, либо насыщенных информацией типологического характера.

При работе с литературой обязательно выписывать все выходные данные по каждому источнику. Можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц). Ищите аргументы «за» или «против» идеи автора.

Чтение научного текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации. От того на сколько осознанна читающим собственная внутренняя установка (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия.

Используйте основные установки при чтении научного текста:

1. информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);

2. усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить как сами сведения излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);

3. аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);

4. творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

Для работы с научными текстами применяйте следующие виды чтения:

1. библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;

2. просмотрное – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;

3. ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц, цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

4. изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

5. аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач. Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым или в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Основным для студента является изучающее чтение – именно оно позволяет в работе с учебной литературой накапливать знания в профессиональной области.

При работе с литературой можно использовать основные виды систематизированной записи прочитанного:

1. Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

2. Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

3. Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

4. Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

5. Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного.

### **Подготовка к практическим занятиям**

При подготовке к практическим занятиям рекомендуется пользоваться материалами лекций, рекомендованной литературой и ресурсами интернет. Вопросы, которые вызывают затруднение при подготовке, должны быть заранее сформулированы и озвучены во время занятий в аудитории для дополнительного разъяснения преподавателем. Ответы, выносимые на обсуждение, должны быть тщательно подготовлены и по ним составлена схема (план), которой студент пользуется на занятии. При ответе надо логически грамотно выражать и обосновывать свою точку зрения, свободно оперировать понятиями и категориями. При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса.

### **Подготовка к экзамену**

В процессе подготовки к экзамену, следует ликвидировать имеющиеся пробелы в знаниях, углубить, систематизировать и упорядочить знания. Особое внимание следует уделить организации подготовки к экзаменам. Для этого важны следующие моменты - соблюдение режима дня: сон не менее 8 часов в сутки; занятия заканчивать не позднее, чем за 2-3 часа до сна; прогулки на свежем воздухе, неустойчивые занятия спортом во время перерывов между занятиями. Наличие полных собственных конспектов лекций является необходимым условием успешной сдачи экзамена. Если пропущена какая-либо лекция, необходимо ее восстановить, обдумать, устранить возникшие вопросы, чтобы запоминание материала было осознанным. Следует помнить, что при подготовке к экзаменам вначале надо просмотреть материал по всем вопросам сдаваемой дисциплины, далее отметить для себя наиболее трудные вопросы и обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

## Рекомендации по подготовке к практическим занятиям

### Модуль 1

#### 1. Подготовка к практическим занятиям.

##### Задание на дом к занятиям №№1-2

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теме «Алгебра операторов».

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теме «Операторы физических величин».

##### Задание на дом к занятиям №№ 3-4

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теме «Коммутационные соотношения».

##### Задание на дом к занятиям №№ 5-6

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач на собственные значения и собственные функции операторов.

##### Задание на дом к занятиям №№ 7-8

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач на нахождение среднего значения физической величины.

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к анализу условия и постановке задачи, а также к нахождению волновой функции частицы в потенциальной яме. Определить граничные условия для потенциальных ям различной формы.

##### Задание на дом к занятиям №№ 9-10

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению общей задачи нахождения энергии гармонических колебаний частицы.

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теории момента импульса.

##### Задание на дом к занятиям №№11-12

Просмотреть материал лекций, учебники по теории строения многоэлектронного атома и подготовиться к решению задач по нахождению термина основного состояния атома.

##### Задание на дом к занятиям №№13-18

Просмотреть материал лекций, учебники по теории МО ЛКАО и методу Хартри-Фока-Рутаана. Подготовиться к решению задач по нахождению волновых функций простейших молекулярных систем, построению определителя Слэтера, решению уравнений Рутаана.

### Модуль 2

#### 1. Подготовка к сдаче коллоквиумов.



При подготовке к сдаче коллоквиумов воспользуйтесь приведенными выше рекомендациями по работе с литературой. Используйте материалы лекций и рекомендованных литературных источников.

## **2. Подготовка к практическим занятиям.**

### **Задание на дом к занятию № 1**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие к практическим занятиям и подготовиться к решению задач по определению пространственного строения молекул по методу Гиллеспи, контрольной работе №1.

### **Задание на дом к занятиям №№ 2-3**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к написанию волновых функций молекулярных орбиталей двухатомных гомонуклеарных и гетеронуклеарных молекул, построению энергетических диаграмм молекул.

### **Задание на дом к занятию № 4**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению многоатомных молекул по методу МО с использованием понятия об их симметрии, контрольной работе №2.

### **Задание на дом к занятию № 5**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению принципа сохранения орбитальной симметрии при химических реакциях.

### **Задание на дом к занятиям №№ 6-7**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к построению и анализу диаграмм Уолша.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению строения молекул ненасыщенных органических соединений по методу Хюккеля, контрольной работе №3.

### **Задание на дом к занятиям № 8-9**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению магнитных свойств и их использованию для объяснения строения молекул.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению электрических свойств (дипольного момента, поляризуемости) и их использованию для объяснения строения молекул, контрольной работе №4.

### **Задание на дом к занятиям №№ 10-11**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению вращательного движения и вращательных спектров и их использованию для объяснения строения молекул.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению колебательного движения и колебательных спектров и их использованию для объяснения строения молекул, контрольной работе №5.

### **Задание на дом к занятию № 12**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению строения комплексных соединений.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению межмолекулярного взаимодействия, агрегатного состояния вещества.

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

### **Рекомендации по подготовке к практическим занятиям**

Самостоятельная работа студентов по подготовке к практическим занятиям включает в себя проработку тематического плана лекций, уделяя особое внимание структуре и содержанию темы и основных понятий. Изучение «сложных» тем следует начинать с составления логической схемы основных понятий, категорий, связей между ними. Целесообразно прибегнуть к классификации материала, в частности при изучении тем, в которых присутствует большое количество незнакомых понятий, категорий, теорий, концепций, либо насыщенных информацией типологического характера.

В ходе подготовки к практическим занятиям необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях. При этом учесть рекомендации преподавателя. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем. Целесообразно составить план-конспект своего выступления по вопросам практического занятия.

Виды плана по форме выражения:

1. Номинативный. Это самый краткий способ выражения плана: утвердительные односоставные предложения, главный член которых – в форме подлежащего, например: конформеры.

2. Вопросительный, или вопросный (каждый пункт плана представляет собой вопросительное предложение).

3. Цитатный (пункты плана – цитаты из исходного текста, которые отражают содержание будущего ответа).

4. Тезисный (пункты плана передают основные моменты содержания ответа, который потом легко воспроизвести).

Требования к содержанию плана:

1. план должен соответствовать теме, адекватно и достаточно полно отражать содержание ответа;

2. пункты плана должны быть связаны внутренней логикой (второй пункт вытекает из первого, третий из второго и т.д.);

3. части плана должны быть соразмерены.

Технология составления плана:

1. Прочитайте рекомендованную преподавателем литературу, определяя микротемы, которые раскрывают вопрос.

2. Разделите прочитанное на части.

3. Определите, с какой целью составляется план, и на основе этого решите, какой будет вид плана по форме выражения.

4. Дайте краткое наименование каждой части.

5. Проверьте получившийся план, скорректируйте его, учитывая требования.

6. Определите, достаточно ли адекватно передает структуру и содержание ответа составленный план.

7. В случае необходимости дополните или сократите план.

Требования к оформлению плана:

Пункты плана ответа должны быть единообразно оформлены, иметь единое основание деления.

Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию:

1. Проработать конспект лекций;

2. Прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемому разделу;

3. Ответить на вопросы плана практического занятия;

4. Составить план-конспект своего выступления по вопросам практического занятия;

5. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

### **Подготовка к коллоквиуму**

При подготовке к сдаче коллоквиума рекомендуется пользоваться материалами лекций и рекомендованной литературой. Коллоквиум является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями. Целью коллоквиума является определение качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании коллоквиума:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Коллоквиум проводится под наблюдением преподавателя. Тема коллоквиума известна и проводится она по сравнительно недавно изученному материалу, в соответствии с перечнем тем и вопросов для подготовки.

Преподаватель готовит задания либо по вариантам, либо индивидуально для каждого студента. По содержанию работа может включать теоретический материал, задачи, тесты, расчеты и т.п. выполнению работы предшествует инструктаж преподавателя.

Ключевым требованием при подготовке к коллоквиуму выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, четко и логично излагать свои мысли. Подготовку к коллоквиуму следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

### **Подготовка к сдаче экзамена**

В процессе подготовки к экзамену, следует ликвидировать имеющиеся пробелы в знаниях, углубить, систематизировать и упорядочить знания. Особое внимание следует уделить организации подготовки к экзамену. Наличие полных собственных конспектов лекций является необходимым условием успешной сдачи экзамена. Если пропущена какая-либо лекция, необходимо ее восстановить, обдумать, устранить возникшие вопросы, чтобы запоминание материала было осознанным. Следует помнить, что при подготовке к экзамену вначале надо просмотреть материал по всем вопросам сдаваемой дисциплины, далее отметить для себя наиболее трудные вопросы и обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

### **Задания по подготовке к практическим занятиям**

## Модуль 1

### 1. Подготовка к практическим занятиям.

#### Задание на дом к занятию №1

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теме «Алгебра операторов».

#### Задание на дом к занятию №2

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теме «Операторы физических величин».

#### Задание на дом к занятию №3

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теме «Коммутационные соотношения».

#### Задание на дом к занятию №№4-5

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач на собственные значения и собственные функции операторов.

#### Задание на дом к занятию №6

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач на нахождение среднего значения физической величины.

#### Задание на дом к занятию №№7-9

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к анализу условия и постановке задачи, а также к нахождению волновой функции частицы в потенциальной яме. Определить граничные условия для потенциальных ям различной формы.

#### Задание на дом к занятию №10

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению общей задачи нахождения энергии гармонических колебаний частицы.

#### Задание на дом к занятию №11

Просмотреть материал лекций, учебники и подготовиться к решению задач по теории момента импульса.

#### Задание на дом к занятию №№12-13

Просмотреть материал лекций, учебники по теории строения многоэлектронного атома и подготовиться к решению задач по нахождению термина основного состояния атома.

#### Задание на дом к занятию №№14-18

Просмотреть материал лекций, учебники по теории МО ЛКАО и методу Хартри-Фока-Рутаана. Подготовиться к решению задач по нахождению волновых функций простейших молекулярных систем, построению определителя Слэтера, решению уравнений Рутаана.

## Модуль 2

## **1. Подготовка к сдаче коллоквиумов.**

При подготовке к сдаче коллоквиумов воспользуйтесь материалами лекций и рекомендованной литературой.

## **2. Подготовка к практическим занятиям.**

### **Задание на дом к занятиям №№ 2-3**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к написанию волновых функций молекулярных орбиталей двухатомных гомонуклеарных и гетеронуклеарных молекул, построению энергетических диаграмм молекул.

### **Задание на дом к занятию № 4**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению многоатомных молекул по методу МО с использованием понятия об их симметрии, контрольной работе №2.

### **Задание на дом к занятию № 5**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению принципа сохранения орбитальной симметрии при химических реакциях.

### **Задание на дом к занятиям №№ 6-7**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к построению и анализу диаграмм Уолша.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению строения молекул ненасыщенных органических соединений по методу Хюккеля, контрольной работе №3.

### **Задание на дом к занятиям № 8-9**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению магнитных свойств и их использованию для объяснения строения молекул.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению электрических свойств (дипольного момента, поляризуемости) и их использованию для объяснения строения молекул, контрольной работе №4.

### **Задание на дом к занятиям №№ 10-11**

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению вращательного движения и вращательных спектров и их использованию для объяснения строения молекул.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению колебательного движения и колебательных спектров и их использованию для объяснения строения молекул, контрольной работе №5.

## Задание на дом к занятию № 12

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению строения комплексных соединений.

Просмотреть материал лекций, учебники и методическое пособие, подготовиться к рассмотрению межмолекулярного взаимодействия, агрегатного состояния вещества.

### Методические рекомендации по решению задач

При решении задач, заданных на дом и при решении задач, включенных в контрольную работу, целесообразно придерживаться следующего алгоритма:

1. Грамотно провести анализ условия задачи и выявить к какой теме относится задача, решается ли она:
  - по химической формуле вещества;
  - по математической формуле.
2. Обратит внимание на вопрос задачи, установить, в каких единицах должен быть получен ответ.
3. Записать кратко данные (условие) задачи.
4. Продумать логическую последовательность решения.
5. Выполнить решение, применяя необходимые формулы.
6. Осуществить вычисления.
7. Проверить решение.

### Примеры решения задач

**1. Примеры использования теории ОЭПВО для определения геометрического строения и объяснения структурных характеристик молекул:**

**Пример 1.** Установите геометрическое строение молекулы  $SCl_4$ .

*Решение:*

А) Определяем сумму электронов в валентной оболочке атома серы: электронная конфигурация атома серы  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ , на внешнем уровне 6 электронов. Каждый из атомов хлора поставляет в валентную оболочку атома серы по одному электрону. Отсюда:

$$\Sigma \bar{e} = 6\bar{e} + 4\bar{e} = 10\bar{e}.$$

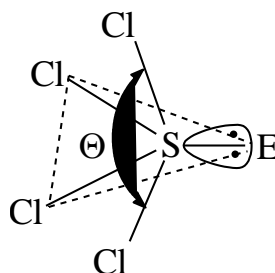
Б) Определяем сумму поделенных ( $n$ ) и неподеленных ( $m$ )  $\bar{e}$ -пар (она равна суммарному числу электронов, деленному на два):

$$n + m = \frac{10}{2} = 5.$$

В) Определяем расположение  $\bar{e}$ -пар в пространстве.

$n+m=5$  - тригональная бипирамида;  $n = 4$ ,  $m = 1$  (число  $n$  равно числу  $\sigma$ -связей в молекуле). Неподеленная  $\bar{e}$ -пара занимает в пространстве больше места, поэтому будет располагаться в том направлении, которое энергетически

более выгодно. В случае тригональной бипирамиды – это экваториальное направление. То есть молекулу  $\text{SCl}_4$  можно изобразить так:



Угол  $\Theta < 180^\circ$ , так как одно из направлений занято неподделенной  $\bar{e}$ -парой, а это приводит к искажению бипирамиды.

**Пример 2.** Установите геометрическое строение молекулы  $\text{POCl}_3$ .

*Решение:*

А) Находим сумму электронов в валентной оболочке атома фосфора. На внешнем уровне в атоме фосфора  $5\bar{e}$  ( $\text{P } 3s^2 3p^3$ ). Атом кислорода, как валентный, поставляет в валентную оболочку атома фосфора два электрона, а каждый атом хлора - по одному электрону. Отсюда:

$$\Sigma \bar{e} = 5\bar{e} + 2\bar{e} + 3\bar{e} = 10\bar{e}.$$

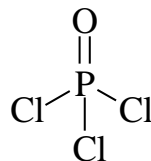
Б) Определяем сумму поделенных ( $n$ ) и неподделенных ( $m$ )  $\bar{e}$ -пар, учитывая, что кратная связь равноценна одинарной (то есть исключаем  $\pi$ -связи):

$$n + m = \frac{10}{2} - 1 = 4.$$

В рассматриваемой молекуле одна  $\pi$ -связь, поэтому вычитаем из получившегося при делении числа единицу.

В) Определяем геометрическое строение молекулы.

$n + m = 4$  - тетраэдр,  $n = 4$ ,  $m = 0$ . Таким образом, строение следующее:



Из-за большого размера  $\bar{e}$ -облака двойной связи угол  $\text{ClPCl}$  меньше угла в правильном тетраэдре.

**Пример 3.** В какой из молекул  $\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{Cl}_2\text{O}$  угол между связями  $\text{O-X}$  будет меньше? Почему?

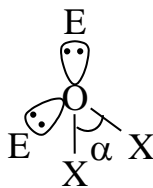
*Решение:*

Общая формула рассматриваемых молекул  $\text{OX}_2\text{E}_2$ , так как  $\Sigma \bar{e} = 6\bar{e} + 2\bar{e} = 8\bar{e}$ , где  $6\bar{e}$  от атомов  $\text{O}$ , а  $2\bar{e}$  от атомов  $\text{X}$ .

$$n + m = \frac{8}{2} = 4, \quad n = 2, \quad m = 2.$$



Электронные пары располагаются в форме тетраэдра:



Неподеленные  $\bar{e}$ -пары, занимая в пространстве больший объем, приводят к уменьшению угла  $\alpha$  по сравнению с углом в правильном тетраэдре. Угол будет тем меньше, чем больше электроотрицательность атома X. Электроотрицательность атома хлора больше электроотрицательности атома водорода.

Таким образом, угол между связями O–Cl в молекуле  $\text{Cl}_2\text{O}$  меньше, чем угол между связями O–H в молекуле  $\text{H}_2\text{O}$ .

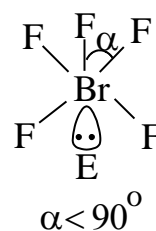
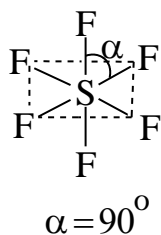
**Пример 4.** Сравните углы XAX в молекулах  $\text{SF}_6$  и  $\text{BrF}_5$ .

*Решение:*

Общее число электронов в валентных оболочках центрального атома в этих молекулах одинаковое и равно 12,  $n + m = 6$ . Однако соотношение между  $m$  и  $n$  разное:

**$\text{SF}_6$ :**  $n = 6$ ,  $m = 0$ , то есть формула  $\text{AF}_6\text{E}_0$  - неподеленных электронных пар нет, геометрическое строение - правильный октаэдр.

**$\text{BrF}_5$ :**  $n = 5$ ,  $m = 1$ , то есть формула  $\text{AF}_5\text{E}$ . Наличие неподеленной электронной пары приводит к уменьшению аксиально-экваториального угла  $\text{FBrF}$  в молекуле  $\text{BrF}_5$  по сравнению с аналогичным углом  $\text{FSF}$  в молекуле  $\text{SF}_6$ .



**Пример 5.** Расположите в порядке возрастания валентного угла XSX молекулы  $\text{SOF}_4$ ,  $\text{SOCl}_4$ .

*Решение:*

Обе молекулы имеют одинаковое строение тригональной бипирамиды, обе содержат кратную связь  $\text{S}=\text{O}$  ( в экваториальной плоскости), которая занимает большой объем и приводит к уменьшению аксиального угла XSX. Это уменьшение больше в молекуле  $\text{SOF}_4$ , так как атом F более электроотрицателен, чем атом Cl, электроотрицательность фтора 13.62, электроотрицательность хлора 8,41.

Ответ: SOF<sub>4</sub> SOCl<sub>4</sub>

увеличение аксиального валентного угла X<sub>2</sub>SX<sub>2</sub>.

## 2. Примеры решения задач по теме «Метод молекулярных орбиталей»

**Пример 1.** Рассмотрим молекулу HF. Электронная конфигурация атомов: H 1s<sup>1</sup>; F 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>2p<sup>5</sup>. 1s- и 2s-орбитали фтора значительно отличаются по энергии от 1s-орбитали водорода, поэтому, при качественном рассмотрении, можно считать, что они сохраняют несвязывающий характер:

$$1s(\text{F}) = 1\sigma^{\text{нecв.}}; \quad 2s(\text{F}) = 2\sigma^{\text{нecв.}}$$

2p-орбитали фтора близки по энергии с 1s-орбиталью водорода. Если принять межъядерную ось за ось x, то с 1s-орбиталью водорода будет комбинироваться 2p<sub>x</sub>-орбиталь фтора:

$$3\sigma^{\text{cb.}} = 1s(\text{H}) + 2p_x(\text{F}); \quad 4\sigma^* = 1s(\text{H}) - 2p_x(\text{F}).$$

2p<sub>y</sub>- и 2p<sub>z</sub>-орбитали фтора отличаются от 1s-орбитали водорода по симметрии, поэтому образуют две вырожденные несвязывающие орбитали π-типа:

$$1\pi^{\text{нecв.}} = 2p_y(\text{F}); \quad 1\pi^{\text{нecв.}} = 2p_z(\text{F}).$$

При классификации МО обычно не указывают АО, из которых они образованы, а сохраняют только тип (σ, π ...) МО и ее порядковый номер внутри данного типа.

Количественный расчет молекулы HF показывает, что в образовании орбиталей 1σ и 2σ вносят вклад и другие атомные орбитали, однако он незначителен и при качественном рассмотрении может не учитываться:

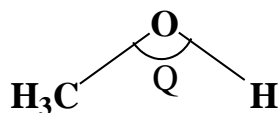
$$1\sigma = 0.997 (1s \text{ F}) + 0.013 (2s \text{ F}) + 0.002 (2p_x \text{ F}) - 0.031 (1s \text{ H})$$

$$2\sigma = 0.955 (2s \text{ F}) - 0.24 (1s \text{ F}) + 0.110 (2p_x \text{ F}) + 0.160 (1s \text{ H}).$$

## 3. Примеры решения задач по теме «Электрические и магнитные свойства»

**Пример 1:** Момент связи O–CH<sub>3</sub> равен 1.2Д. Момент связи O–H равен 1.51Д. Дипольный момент молекулы метилового спирта 1.69Д. Определить валентный угол СОН в молекуле спирта.

Решение:



Воспользуемся формулой (1):

$$1.69 = \sqrt{1.51^2 + 1.2^2 + 2 \cdot 1.51 \cdot 1.2 \cdot \cos Q};$$

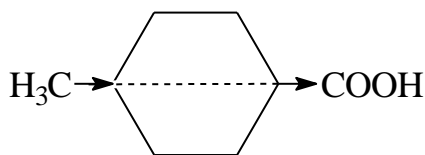
$$\cos Q = -0.238; \quad Q = 103^\circ 48'.$$

**Пример 2:** Рассчитать дипольные моменты изомеров толуоловой кислоты CH<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>COOH, если дипольный момент группы CH<sub>3</sub> в бензольном ядре

равен +0.4Д, а дипольный момент группы COOH в бензольном ядре равен -0.9Д.

*Решение:*

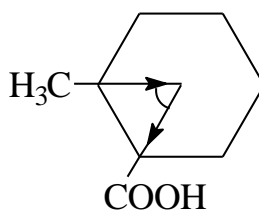
А) Пара-изомер:



Вектор CH<sub>3</sub> направлен к центру бензольного ядра, вектор COOH – от центра ядра. Направление векторов совпадает.

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 \quad \mu = 0.4 + 0.9 = 1.3\text{Д.}$$

Б) Орто-изомер:

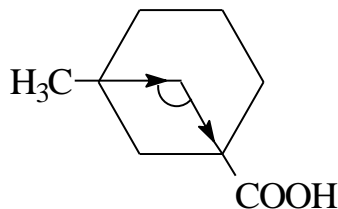


Угол между двумя моментами:

$$Q = 60^\circ \quad \cos 60^\circ = 0.5.$$

$$\mu = \sqrt{0.4^2 + 0.9^2 + 2 \cdot 0.4 \cdot (-0.9) \cdot 0.5} = 0.78\text{Д.}$$

В) Мета-изомер:



В этом случае угол:

$$Q = 120^\circ \quad \cos Q = -0.5.$$

$$\mu = \sqrt{0.4^2 + 0.9^2 + 2 \cdot 0.4 \cdot (-0.9) \cdot (-0.5)} = 1.153\text{Д.}$$

#### 4.Примеры решения задач по теме: «Вращательное и колебательное движения»

**Пример 1:** В спектре HI начало основной полосы лежит при  $4.29 \cdot 10^{-4}$  см, начало следующей полосы, отвечающей первому "обертону", при  $2.28 \cdot 10^{-4}$  см. Определите основную частоту колебаний молекулы HI, фактор ангармоничности и энергию диссоциации на атомы, если атом I получается возбужденным.

Энергия возбуждения 21.65 ккал/моль.

*Решение:*

Воспользуемся формулами (11) и (12) для частоты колебаний. Предварительно определим частоту основной полосы  $\nu_1$  и первого обертона:

$$\nu_1 = \frac{1}{4.29 \cdot 10^{-4} \text{ см}} = 2331.0 \text{ см}^{-1}; \quad \nu_2 = \frac{1}{2.28 \cdot 10^{-4} \text{ см}} = 4380.6 \text{ см}^{-1}.$$

Подставив  $\nu_1$  и  $\nu_2$  в формулы (11) и (12), получим:

$$2331.0 \text{ см}^{-1} = \omega_0 \cdot (1 - 2x); \quad 4380.6 \text{ см}^{-1} = 2\omega_0 \cdot (1 - 3x).$$

Решая эти уравнения совместно, находим:

$$x = 0.0172; \quad \omega_0 = 2309.5 \text{ см}^{-1}.$$

$\nu_1$ ,  $\nu_2$ ,  $\omega_0$  в данном случае выражены в обратных сантиметрах. Умножая величину  $\omega_0$  на скорость света, равную  $2.998 \cdot 10^8 \text{ см/с}$ , получим:

$$\omega_0 = 6.924 \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}.$$

Энергию диссоциации рассчитаем по формуле (14):

$$D = \frac{6.924 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-1}}{4 \times 1.72 \cdot 10^{-2}} = 1.006 \cdot 10^{15}.$$

Для I моль:

$$D = 6.02 \cdot 10^{23} \cdot 1.006 \cdot 10^{15} = 6.056 \cdot 10^{38}.$$

Энергия диссоциации на невозбужденные атомы:

$$D_H = D - E_{\text{возб}}.$$

**Пример2:** Во вращательном спектре HCl полоса, отвечающая вращательному квантовому числу  $J' = 6$ , находится при  $68.95 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ . Определить момент инерции молекулы и расстояние между ядрами.

**Решение:**

Определяем момент инерции, воспользовавшись формулой (5):

$$I = \frac{h}{4\pi^2 \cdot \nu} \cdot J'' = \frac{h}{4\pi^2 \cdot \nu} \cdot (J'+1)$$

Частота  $\nu = \frac{C}{\lambda}$ , где  $C$  - скорость света ( $2.998 \cdot 10^{10} \text{ см/с}$ );

$\lambda$  - длина волны (дана в условии).

$$\nu = \frac{2.998 \cdot 10^{10} \text{ см/с}}{68.95 \cdot 10^{-4} \text{ см}} = 4.348 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$$

Подставим полученное значение в выражение для момента инерции:

$$I = \frac{6.624 \cdot 10^{-27} \cdot (6+1)}{4 \cdot (3.142)^2 \cdot 4.348 \cdot 10^{12}} = 2.7 \cdot 10^{-40}.$$

Межъядерное расстояние определяем по формуле (7):

$$r = \sqrt{\frac{I \cdot (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2}},$$

$$m_H = 1.65 \cdot 10^{-24} \text{ г},$$

$$m_{Cl} = 35.46 \cdot 1.65 \cdot 10^{-24} = 58.51 \cdot 10^{-24} \text{ г},$$

$$r = \sqrt{\frac{2.7 \cdot 10^{-40} \cdot (1.65 + 35.46 \cdot 1.65) \cdot 10^{-24}}{1.65 \cdot 10^{-24} \cdot 35.46 \cdot 1.65 \cdot 10^{-24}}} = 1.3 \cdot 10^{-8} \text{ см.}$$

Принимая, что атомы тесно соприкасаются в молекуле, ее диаметр (d) равен 2r:

$$d = 2 \cdot 1.3 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 2.6 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 2.6 \text{ \AA}.$$

Это неплохо согласуется с экспериментальными данными, полученными из вязкости газа – 2.56 Å°.

### Домашние задания для подготовки к контрольным работам

#### 1. Контрольная работа по теории ОЭПВО

12. Объясните и помощью основных положений теории ОЭПВО правило полярности, согласно которому в структурах молекул AX<sub>5</sub>, AX<sub>4</sub>E, AX<sub>3</sub>E<sub>2</sub>, производных от тригональной бипирамиды, более электроотрицательные лиганды всегда занимают аксиальные положения, и аксиальные связи удлинены по сравнению с экваториальными?

13. Определите геометрическое строение молекул: а) PCl<sub>3</sub>, SnCl<sub>2</sub>, IF<sub>5</sub>, ClF<sub>3</sub>, [ICl<sub>2</sub>]<sup>-</sup>, [ICl<sub>4</sub>]<sup>-</sup>, SCl<sub>4</sub> ..... ; б) BeCl<sub>2</sub>, BCl<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, PCl<sub>5</sub>, SCl<sub>6</sub>, XeF<sub>6</sub> ..... ; в) COCl<sub>2</sub>, SOF<sub>4</sub>, TeO<sub>2</sub>, HNO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, IOF<sub>5</sub> ..... ; г) SF<sub>3</sub>N, CH≡CH .....

14. Сравните углы ХАХ в молекулах PF<sub>5</sub> и ClF<sub>3</sub>. В какой из этих молекул он больше и почему?

15. Даны молекулы PI<sub>3</sub>, PBr<sub>3</sub>, PCl<sub>3</sub>, PF<sub>3</sub>. Определите, какое из указанных ниже значений валентного угла относится к каждой из этих молекул: 102°; 101,5°; 97,8°; 100,3°?

16. Сопоставьте значения валентных углов CPC, CPF (экваториальная плоскость), FPF в молекуле (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>PF<sub>3</sub>.

17. Сравните углы ХАХ в молекулах PCl<sub>3</sub> и CCl<sub>4</sub>. В какой молекуле он больше?

18. Угол НСН в молекуле H<sub>2</sub>C=CH<sub>2</sub> равен 116.8°, а угол НСС - 122°. Объясните данный факт.

19. Валентные углы в молекуле Cl<sub>2</sub>CO имеют значение 111.3° и 124.3°. Определите, какое из этих значений относится к углу ClCCl и какое к углу OCCl.

20. Расположите в порядке возрастания валентного угла ХРХ молекулы POF<sub>3</sub>, POCl<sub>3</sub>, POBr<sub>3</sub>.

21. Угол ONO в ионах [NO<sub>2</sub>]<sup>+</sup> и [NO<sub>2</sub>]<sup>-</sup> соответственно 180° и 115°. Объясните данный факт.

22. В какой молекуле валентный угол больше: в H<sub>2</sub>O или OF<sub>2</sub>?

#### 2. Контрольная работа по теме: «Метод МО»

1. Записать волновые функции МО и построить энергетические диаграммы следующих молекул: CO, CN<sup>-</sup>

2. Сравнить устойчивость и длину связей в молекулах N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub><sup>+</sup> и N<sub>2</sub><sup>-</sup>, используя метод МО.

3. Записать волновые функции МО и построить энергетические диаграммы следующих молекул: H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>.

### 3. Контрольная работа по теме: «Электрические и магнитные свойства»

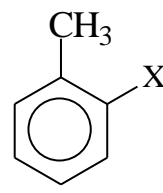
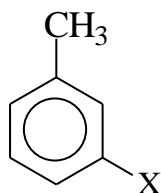
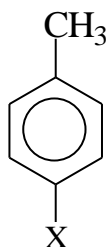
1. Дипольный момент связи O–H в воде равен 1.58Д. Определить величину валентного угла в молекуле H<sub>2</sub>O, если ее дипольный момент равен 1.84.

2. Рассчитать дипольный момент молекулы H<sub>2</sub>S, если дипольный момент связи S–H равен 0.68Д, а валентный угол равен 82°.

3. Дипольный момент молекулы Cl<sub>2</sub>O равен 0.78Д. Рассчитать дипольный момент связи, если валентный угол в молекуле Cl<sub>2</sub>O равен 115°.

4. Дипольные моменты бромбензола C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Br и толуола C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub> соответственно равны 1.52Д и 0.4Д. При измерении дипольных моментов изомеров бромтолуола получены значения  $\mu = 1.44Д$  и  $\mu = 1.75Д$ . Какие изомеры были исследованы?

5. Рассчитать дипольные моменты двузамещенных производных бензола типа:



где x = Br, CN, NO<sub>2</sub>, NH<sub>2</sub>, OH, если дипольный момент C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub> равен 0.4, а дипольные моменты замещающих групп соответственно равны:

	Br	NO <sub>2</sub>	CN	NH <sub>2</sub>	
ОН					
$\mu(Д)$	-1.52	-3.96	-3.92	+1.53	-

1.56.

6. Используя представление о симметрии, определите, какие из перечисленных ниже молекул являются полярными, а какие неполярными: HCN, NOCl, NH<sub>3</sub>, AlF<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, COCl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SiH<sub>4</sub>, CF<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>.

7. Объясните, почему транс-изомер дихлорэтилена неполярен, а цис-изомер – полярен.

8. Рассчитайте поляризуемость следующих молекул: 2,2-диметилбутан; 2,3-диметилпентан; 2,2,3-триметилпентан.

9. Расположите в ряд в порядке возрастания поляризуемости следующие ионы:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ .

10. Расположите в порядке уменьшения поляризуемости молекулы  $\text{HI}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HCl}$ .

11. Используя поляризационную теорию, объясните причину термической нестойкости молекул  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{CuCO}_3$ . Какая из них термически более стойкая? Почему?

12. Объясните причину немонотонного изменения термической устойчивости карбонатов щелочных металлов: от  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  до  $\text{K}_2\text{CO}_3$  она возрастает, а от  $\text{K}_2\text{CO}_3$  до  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  – падает. Почему?

13. Используя поляризационную теорию, объясните, почему от мышьяка к висмуту увеличивается устойчивость соединений со степенью окисления "+3" и падает устойчивость соединений атомов этих элементов со степенью окисления "+5".

14. Рассмотрите закономерности изменения устойчивости соединений элементов подгруппы ванадия ( $\text{V}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ta}$ ) со степенями окисления "+3" и "+5".

#### **4.Контрольная работа по теме: «Вращательное и колебательное движения»**

1. Изучение ИК-вращательного спектра газообразного  $\text{HF}$  дает для вращательной постоянной значение  $B = 41.14 \text{ см}^{-1}$ . Рассчитать значение энергии вращения для состояний, отвечающих вращательным квантовым числам 1, 2, 3, 4, 5. Вычислить величину кванта энергии, возбуждающего переход молекулы с данного уровня на соседний.

Решить аналогичную задачу для  $\text{HCl}$ , если  $B = 20.83 \text{ см}^{-1}$ .

Решить аналогичную задачу для  $\text{HBr}$ , если  $B = 16.70 \text{ см}^{-1}$ .

Решить аналогичную задачу для  $\text{HI}$ , если  $B = 12.84 \text{ см}^{-1}$ .

2. Воспользовавшись условием задачи 1, рассчитать момент инерции и межъядерные расстояния в молекуле  $\text{HF}$ . Приняв, что атомы в молекуле находятся в тесном контакте, сравнить значение диаметра, полученное из спектральных данных, со значением "газокинетического" диаметра  $d = 2.34 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ .

Решить аналогичную задачу для  $\text{HCl}$ , если  $d = 2.56 \text{ \AA}$ .

Решить аналогичную задачу для  $\text{HBr}$ , если  $d = 2.84 \text{ \AA}$ .

Решить аналогичную задачу для  $\text{HI}$ , если  $d = 3.24 \text{ \AA}$ .

3. Первая полоса в колебательном спектре поглощения газообразного лежит при  $3.46 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , вторая - при  $1.76 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , третья - при  $1.15 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ .

Найти значение фактора ангармоничности  $\chi$  и  $\omega_0$  - основную частоту колебаний молекулы.

Решить аналогичную задачу для молекулы CO. Первая полоса - при  $4.67 \cdot 10^{-4}$  см, вторая - при  $2.35 \cdot 10^{-4}$  см, третья - при  $1.57 \cdot 10^{-4}$  см.

4. Воспользовавшись решением задачи 3, рассчитать энергию диссоциации молекулы HCl и энергию, отвечающую переходу молекулы HCl из основного состояния с  $\nu = 0$  в состояние с  $\nu = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ .

Решить аналогичную задачу для молекулы CO.

### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

Студенты опрашиваются устно на консультациях согласно графику, оцениваются по пятибалльной системе.

Оценка «Отлично»

А) Задание выполнено полностью.

Б) Отчет/ответ составлен грамотно.

В) Ответы на вопросы полные и грамотные.

Г) Материал понят, осознан и усвоен.

Оценка «Хорошо»

А), Б) - те же, что и при оценке «Отлично».

В) Неточности в ответах на вопросы, которые исправляются после уточняющих вопросов.

Г) Материал понят, осознан и усвоен.

Оценка «Удовлетворительно»

А), Б) - те же, что и при оценке «Отлично».

В) Неточности в ответах на вопросы, которые не всегда исправляются после уточняющих вопросов.

Г) Материал понят, осознан, но усвоен не достаточно полно.

Оценка «Неудовлетворительно»

А) Программа не выполнена полностью.

Б) Устный отчет и ответы на вопросы не полные и не грамотные.

В) Материал не понят, не осознан и не усвоен.

**Критерии оценивания решения задач.**

В решении и объяснении нет ошибок. Ход решения рациональный.

Если необходимо, решение произведено несколькими способами.

## **IX. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.



## Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 634. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 30) Оборудование: ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716 CCBA – 1 шт. Доска аудиторная.	Windows Edu Per Device 10 Education, O365 EDU A1, Microsoft 365 Apps for enterprise EDU
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корп. А (Лит. П), Этаж 10, каб. А1017. Аудитория для самостоятельной работы	Оборудование: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 15 шт. Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox - 1 шт. Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C – 1 шт.)	Windows Edu Per Device 10 Education, O365 EDU A1, Microsoft 365 Apps for enterprise EDU

Для освоения дисциплины требуется наличие периодических таблиц химических элементов.

Для проведения учебных занятий по дисциплине, а также для организации самостоятельной работы студентам доступны кабинеты, соответствующие действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.

## Х. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Для дисциплины «Строение вещества с основами квантовой химии» используются следующие оценочные средства:

Устный опрос:

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, умение

логически построить ответ, владение монологической речью и иные коммуникативные навыки.

Обучающая функция состоит в выявлении деталей, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий и при подготовке к зачёту.

1. Собеседование (УО-1) – средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п.

2. Коллоквиумы (УО-2) (Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимся.)- Вопросы по темам/разделам дисциплины ( в соответствии с рейтинговой системой оценки знаний).

### **Планы коллоквиумов**

#### **Модуль 2. Строение вещества.**

**Раздел 1. Введение. Классические и квантово-механические теории строения молекул.**

#### **Коллоквиум № 1**

1. Классические теории строения молекул.
2. Основные идеи метода молекулярных орбиталей. Вариационный метод решения уравнения Шредингера.
3. Молекула  $H_2^+$  в методе МОЛКАО. Нахождение энергии. Энергетическая диаграмма.
4. Молекула  $H_2^+$  в методе МОЛКАО. Построение волновых функций, их анализ.
5. Интерпретация понятий кулоновского, резонансного интегралов и интеграла перекрывания.
6. Расчет устойчивости различных конфигураций  $H_3^+$ .
7. Теория отталкивания электронных пар валентной оболочки.
8. Гетеронуклеарные двухатомные молекулы в методе МОЛКАО.
9. Использование симметрии молекул для построения МО многоатомных молекул.
10. Молекула  $H_2O$ . Делокализованные молекулярные орбитали.
11. Молекула  $H_2O$ . Локализованные МО.
12. Молекула  $NH_3$ . Волновые функции. Энергетическая диаграмма.
13. Молекула  $CH_4$ . Делокализованные МО. Энергетическая диаграмма.
14. Молекула  $CH_4$ . Локализованные МО.

#### **Модуль 2. Строение вещества.**

## **Раздел 2. Геометрия молекул. Энергетическая характеристика молекул.**

### **Коллоквиум № 2**

1. Диаграммы Уолша.
2. Основные положения метода Хюккеля.
3. Этилен. Строение. Волновые функции. Энергия МО.
4. Понятия электронной плотности и заряда на атоме в методе Хюккеля.
5. Порядок связи в МО Хюккеля. Индекс свободной валентности.
6. Молекула аллила в методе Хюккеля.
7. Молекула бензола в методе Хюккеля.
8. Особенности строения и свойств ароматических соединений.
9. Циклобутadiен в методе Хюккеля.
10. Сохранение орбитальной симметрии в химических реакциях.

### **Модуль 2. Строение вещества.**

## **Раздел 3. Электрические и магнитные свойства молекулярных систем и их использование для изучения строения молекул.**

### **Коллоквиум № 3**

1. Происхождение магнитных моментов. Парамагнетизм и диамагнетизм.
2. Магнитная восприимчивость и магнитные моменты.
3. Использование магнитных свойств для изучения строения молекул.
4. Энергия молекулы в магнитном поле. Расщепление вырожденных уровней энергии.
5. Электрический дипольный момент. Его экспериментальное определение. Уравнение Ланжевена-Дебая.
6. Векторная аддитивная схема расчета дипольных моментов. Примеры.
7. Поляризуемость молекул. Тензор поляризуемости. Изменение поляризуемости в зависимости от строения атома и молекулы. Расчет по аддитивной схеме.
8. Поляризационная теория Фаянса.
9. Полярные и неполярные молекулы. Дипольный момент и симметрия молекул.

### **Модуль 2. Строение вещества.**

## **Раздел 4. Внутримолекулярное движение и электромагнитные спектры.**

## **Раздел 5. Комплексные соединения. Межмолекулярные взаимодействия. Строение конденсированных фаз.**

#### Коллоквиум № 4

1. Внутримолекулярное движение. Вращательные уровни энергии (приближение жесткого ротатора).
2. Вращательный спектр поглощения двухатомной молекулы. Определение молекулярных параметров.
3. Колебательное движение молекул. Нормальные колебания. Их число, тип, симметрия.
4. Колебательное движение двухатомной молекулы. Приближение гармонического осциллятора. Система уровней гармонического осциллятора.
5. Правила отбора и спектр гармонического осциллятора. Недостатки этой модели.
6. Молекула - ангармонический осциллятор. Правила отбора и спектр поглощения ангармонического осциллятора.
7. Определение молекулярных параметров двухатомных молекул из колебательных ИК-спектров.
8. Колебательный спектр комбинационного рассеяния.
9. Правила отбора и спектр многоатомной молекулы.
10. Энергия диссоциации. Вычисление энергии диссоциации из спектров.
11. Карбонилы металлов. Состав. Строение по методу валентных связей.
12. Строение комплексных соединений по методу МО. Молекулярные орбитали  $\sigma$ -типа.
13. Строение карбониллов металлов по методу МО. Молекулярные орбитали  $\pi$ -типа.
14. Общая характеристика межмолекулярного взаимодействия. Ориентационное взаимодействие.
15. Индукционное межмолекулярное взаимодействие.
16. Дисперсионное межмолекулярное взаимодействие.
17. Взаимосвязь сил Ван-дер-Ваальса. Ван-дер-Ваальсовы молекулы. Ион-молекулярное взаимодействие.
18. Водородная связь.
19. Кристаллическое состояние вещества:  
Элементарные кристаллы;  
Кристаллы с ковалентной связью;  
Ионные кристаллы.
20. Аморфное, жидкое и газообразное состояние вещества.
21. Интерметаллиды.
22. Стекла.

## Вопросы собеседований

### Модуль 1. Основы квантовой химии и квантовой механики.

#### Раздел 1. Основные постулаты квантовой механики. Математический аппарат квантовой механики.

##### Тема 1. Постулаты квантовой механики. Функция состояния.

1. Сформулируйте постулат о состоянии квантовой системы. Что такое волновая функция? От чего она зависит?

2. Квантовое состояние системы описывается волновой функцией  $\psi(q, t)$ . Напишите условие нормировки этой волновой функции на единицу.

3. Почему волновые свойства частиц обнаружены в явлениях атомного масштаба? Можно ли в рамках квантовой теории описывать движения макротел?

4. Приведите пример эксперимента, показывающего невозможность классического описания движения микрочастицы.

5. Каким условиям должна удовлетворять волновая функция частицы?

##### Тема 2. Формализм квантовой механики. Операторы.

1. Какой физический смысл имеют стандартные условия: непрерывности, однозначности, ортогональности, нормированности  $\psi$ ?

2. Напишите условие ортонормированности функций.

3. Чем отличается плотность вероятности от вероятности? Какова вероятность найти частицу в точке  $x_0, y_0, z_0$ ?

4. Пусть частица находится в состоянии  $\psi$ . Какова должна быть эта функция, чтобы некоторая физическая величина в результате измерения не давала разброса значений?

##### Тема 3. Уравнение Шредингера.

1. Какой физический смысл имеет величина  $E$  в уравнении Шредингера для стационарных состояний?

2. Для каких систем допустимо использование стационарного уравнения Шредингера? Приведите примеры.

3. Каковы границы применимости уравнения Шредингера.

##### Тема 4. Приближенные методы решения квантово-механических задач.

1. Точное решение уравнения Шредингера может быть получено лишь для весьма ограниченного круга задач. Как можно использовать существующие математические методы приближенного решения уравнений для задач квантовой химии?

2. Докажите вариационную теорему.

3. Вывод секулярного уравнения в вариационном методе Ритца.

##### Тема 5. Простейшие задачи квантовой механики.

1. Получить решение уравнения Шредингера для частицы в потенциальной яме.
2. Найти собственные значения энергии и собственные функции для частицы в трехмерном «потенциальном ящике».
3. Прохождение частицы сквозь потенциальный барьер.
4. Чем характеризуется величина туннельного эффекта?
5. Почему задачу о движении электрона в атоме водорода удастся решить точно, а для атома гелия это невозможно?
6. Рассчитайте первые три энергетических уровня  $\square$ -системы сопряженных полиенов в модели одноэлектронного приближения.

### **Тема 6. Волновая функция атома водорода.**

1. Запишите наиболее общий вид волновой функции, описывающий электрон в поле протона. Почему угловая часть этой функции зависит от квантовых чисел  $l$  и  $m$ ? Почему радиальная часть данной функции зависит от  $n$  и  $l$ ?
2. Нарисуйте радиальные функции атома водорода  $1s, 2s, 2p, 3s$ .
3. Нарисуйте радиальные функции распределения атома водорода  $1s, 2s, 2p$ .
4. Объясните возникновение спектральных серий Лаймана, Бальмера, Пашена.
5. В атоме водорода уровни энергии электрона при  $n > 1$  вырождены по орбитальному квантовому числу  $l$ , а в многоэлектронных атомах это вырождение снимается. Почему?
6. Зная вид волновой функции атома водорода, получите следующие важные характеристики: среднее расстояние между ядром и электроном, наиболее вероятное расстояние, зависимость вероятности нахождения электрона от расстояния до ядра (радиальная функция распределения).

### **Модуль 1. Основы квантовой химии и квантовой механики.**

#### **Раздел 2. Многоэлектронный атом; приближенные методы решения квантово-механических задач.**

##### **Тема 1. Многоэлектронный атом.**

1. Что такое одноэлектронное приближение?
2. Что такое электронная конфигурация? Однократно- или двукратно-возбужденная электронная конфигурация?
3. В чем сущность метода Хартри? Запишите оператор потенциальной энергии  $i$ -го электрона в методе Хартри.
4. В чем смысл метода самосогласованного поля? Что понимается под самосогласованным полем?

5. Будет ли полная электронная энергия в методе Хартри равна сумме энергий, занятых орбиталей? Почему?

6. Гамильтониан многоэлектронного атома имеет более сложный вид за счет появления оператора межэлектронного взаимодействия. Какие проблемы возникают в связи с этим, и какие решения предложены в современных методах квантовой химии?

### **Тема 2. Метод Хартри-Фока.**

1. Волновая функция в методе Хартри противоречит принципу Паули. Каким образом можно построить волновую функцию, удовлетворяющую принципу антисимметричности волновой функции фермионов?

2. Какой вид приобретают уравнения электронной энергии, если волновая функция представлена в виде определителя Слейтера?

3. Какое основное отличие заложено в метод Хартри-Фока по сравнению с методом Хартри?

4. Что такое остоновая энергия молекулы в методе Хартри-Фока?

5. Какие экспериментальные возможности существуют для проверки теоремы Купманса?

### **Тема 3. Электронная корреляция.**

1. Что понимают под электронной корреляцией? Что такое дырка Ферми? Учитывает ли корреляцию метод Хартри-Фока? Какую?

2. Почему методы учета корреляционной энергии иногда называют пост-хартри-фовскими?

3. Расшифруйте и объясните аббревиатуры MP4, CISD, CCSDT.

4. В методе Хартри-Фока не учитывается скоррелированность движения электронов в каждый момент времени. Каким образом в современных методах квантовой химии компенсируется корреляционная энергия?

### **Тема 4. Теория функционала плотности.**

1. Нахождение многоэлектронной волновой функции связано с серьезными вычислительными сложностями. Можно ли рассчитать параметры молекулярной системы, не зная явный вид волновой функции, а используя, например, электронную плотность?

2. Назовите обменный и корреляционный функционалы в составе B3LYP.

3. SVWN, PBE, BLYP, B3LYP. Какие из перечисленных функционалов относятся к градиент-корректированным, какие из них являются гибридными?

4. Что означает термин *ab initio*? Какие квантово-химические методы подходят под это определение?

### **Модуль 1. Основы квантовой химии и квантовой механики.**

#### **Раздел 3. Квантовая химия молекул и теория химической связи.**

##### **Тема 1. Гамильтониан молекулы.**

1. Можно ли полную волновую функцию молекулы выразить в виде произведения электронной и ядерной функций?

2. Что называют орбиталью, спин-орбиталью, атомной орбиталью, молекулярной орбиталью?

3. Из чего складывается полная энергия молекулы в приближении Борна-Оппенгеймера? Запишите гамильтонианы электронного и ядерного взаимодействия.

### **Тема 2. Метод молекулярных орбиталей.**

1. Пусть число базисных орбиталей -  $n$ . Оцените число интегралов, которые нужно вычислить для задания матриц уравнения Рутаана.

2. Объясните физический смысл величины интегралов перекрывания.

3. Получите уравнения Рутаана используя вариационный метод.

4. Какие преимущества и недостатки заключаются в способе представления МО как линейной комбинации АО?

### **Модуль 1. Основы квантовой химии и квантовой механики.**

**Раздел 4. Поверхность потенциальной энергии (ППЭ); пути и энергетика химической реакции.**

#### **Тема 1. Поверхность потенциальной энергии.**

1. Какие подходы используются в квантовой химии для описания динамических процессов в квантовой системе, например, для описания химической реакции?

2. Нарисуйте кривые аттрактивного и репульсивного взаимодействия двухатомной молекулы.

3. Какие типы критических точек выделяют на ППЭ?

4. Какие значения имеют диагональные элементы гессиана для каждого типа критических точек?

#### **Тема 2. Колебания молекул.**

1. Каким образом, используя методы квантовой механики и квантовой химии, можно рассчитать свойства молекул, связанные с их колебательной энергией.

2. Объясните понятия полной энергии молекулы, электронной энергии, энергии нулевых колебаний.

3. Как осуществляется переход к нормальным колебаниям?

### **Модуль 2. Строение вещества.**

**Раздел 1. Введение. Классические и квантово-механические теории строения молекул.**

#### **Тема 1. Теоретические основы учения о строении химических частиц.**

#### **Тема 2. Основы современной теории химического строения.**

1. Значение работ Франкланда.



2. Взаимосвязь работ Кекуле, Купера и А.М. Бутлерова.
3. Что включает в себя в понятие «Молекулярные параметры»?
4. Энергия диссоциации и способы ее определения.
5. Объясните ход потенциальной кривой.
6. Методы определения межъядерного расстояния?
7. Сформулируйте основные постулаты квантовой механики.
8. В чем суть принципа неопределенности Гейзенберга.
9. Каким требованиям должна удовлетворять волновая функция.
10. Уравнение Шредингера для стационарного состояния.

### **Тема 3. Теория отталкивания электронных пар валентной оболочки.**

1. Чем обуславливается конфигурация связей многовалентного атома (или иона)?
2. Назовите ориентации облаков  $\bar{e}$ -пар валентных орбиталей в пространстве в зависимости от их числа.
3. Как изменяется сила отталкивания  $\bar{e}$ -пар (E - неподеленная, X - поделенная) в валентной оболочке в ряду E-E → E-X → X-X? Вместо "→" поставьте знак ">" или "<".
4. Почему с увеличением числа неподеленных  $\bar{e}$ -пар уменьшается валентный угол а одготипных молекулах?
5. Почему неподеленная электронная пара занимает а пространстве больший объем?
6. Объясните и помощью основных положений теории ОЭПВО правило полярности, согласно которому в структурах молекул AX<sub>5</sub>, AX<sub>4</sub>E, AX<sub>3</sub>E<sub>2</sub>, производных от тригональной бипирамиды, более электроотрицательные лиганды всегда занимают аксиальные положения, и аксиальные связи удлинены по сравнению с экваториальными?

### **Тема 4. Приближенные методы решения волнового уравнения.**

1. По каким признакам классифицируют молекулярные орбитали?
2. Каков порядок расположения молекулярных орбиталей на энергетической шкале?
3. Записать волновые функции МО и построить энергетические диаграммы следующих молекул: HF, CO, CN<sup>•</sup>.
4. Точечные группы симметрии молекул. Операции симметрии.
5. Правило группового умножения.
6. Представления и характеры представлений точечных групп. Приводимые (ПП) и неприводимые представления(НП).
7. Составление таблицы НП для группы симметрии C<sub>2v</sub>
8. Классификация молекулярных орбиталей многоатомных молекул.
9. Построение волновых функций МО и энергетических диаграмм для

многоатомных молекул ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ).

10. Представление о делокализованных и локализованных МО, их использовании для описания одноэлектронных и коллективных свойств.

11. Что понимается под термином «делокализованная молекулярная орбиталь»?

12. Разберите строение молекулы  $\text{CaH}_2$  по методу ММО.

## **Модуль 2. Строение вещества.**

### **Раздел 2. Геометрия молекул. Энергетическая характеристика молекул.**

#### **Тема 1. Сохранение орбитальной симметрии в химических реакциях.**

1. Сформулируйте принцип сохранения орбитальной симметрии.

2. Дайте определение согласованным, перициклическим реакциям.

Приведите примеры.

3. Что такое супраповерхностное и антароповерхностное присоединение? Примеры.

4. В чем заключается метод корреляционных диаграмм?

5. Рассмотрите с помощью корреляционных диаграмм реакцию димеризации этилена по типу  $\pi_s^2 + \pi_s^2$  и по типу  $\pi_s^2 + \pi_a^2$ . Какая из них разрешена, а какая запрещена по симметрии?

6. Рассмотрите с помощью корреляционных диаграмм реакцию диенового синтеза (реакция Дильса-Альдера) – присоединение олефинов к диенам. Докажите, что она разрешена по симметрии.

#### **Тема 2. Метод МО Хюккеля (МОХ).**

1. Перечислите основные положения метода МОХ.

2. Рассчитайте энергию  $\pi$ -МО, используя метод МОХ, для молекул аллила, бензола, циклобутадиена и др.

3. Запишите волновые функции  $\pi$ -МО выше перечисленных молекул.

4. Объясните особенности ароматических соединений, используя метод МОХ. Правило Хюккеля.

5. Рассчитайте электронную плотность, заряд на атомах, порядок связи в молекулах аллила, бензола, циклобутадиена.

6. Рассчитанные по методу МОХ,  $\pi$ -МО бутадиена имеют вид:

$$\Psi_1 = 0.372 x_1 + 0.602 x_2 + 0.602 x_3 + 0.372 x_4$$

$$\Psi_2 = 0.602 x_1 + 0.372 x_2 - 0.372 x_3 - 0.602 x_4$$

$$\Psi_3 = 0.602 x_1 - 0.372 x_2 - 0.372 x_3 + 0.602 x_4$$

$$\Psi_4 = 0.372 x_1 - 0.602 x_2 + 0.602 x_3 - 0.372 x_4 .$$

Учитывая, что электронами заняты только первые две  $\pi$ -МО, рассчитайте электронные плотности на 3-ем и 4-ом атомах углерода и порядок связи между

ними.

7. Циклобутadiен в методе ММО Хюккеля. Объяснение устойчивости и реакционной способности молекулы.

### **Тема 3. Диаграммы Уолша.**

1. В чем заключается подход Уолша к описанию и предсказанию геометрической структуры молекул?

2. Постройте диаграмму Уолша для молекул состава  $\text{AH}_2$ . Определите с помощью данной диаграммы, какие из перечисленных молекул будут угловыми, а какие линейными:  $\text{BH}_2$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_2^+$ .

3. Постройте диаграмму Уолша для молекул состава  $\text{AH}_3$ . Определите с помощью данной диаграммы, какие из перечисленных ниже молекул будут плоскими, а какие пирамидальными:  $\text{BF}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{SF}_3^+$ ,  $\text{SnCl}_3$

### **Модуль 2. Строение вещества.**

**Раздел 3. Электрические и магнитные свойства молекулярных систем и их использование для изучения строения молекул.**

#### **Тема 1. Магнитный момент. Магнитная восприимчивость.**

**Тема 2. Использование магнитных свойств при изучении строения молекул.**

1. Чем обусловлены магнитные свойства вещества?

2. Какие вещества являются парамагнитными? В чем особенность парамагнетизма?

3. Диамагнетизм. Его особенности.

4. Магнитная восприимчивость и магнитные моменты.

5. Энергия молекулы в магнитном поле. Расщепление вырожденных уровней энергии.

6. Использование магнитных свойств при изучении строения молекул.

7. Спектральные методы, основанные на магнитных свойствах веществ. Понятие об ЭПР- и ЯМР-методах.

#### **Тема 3. Дипольный момент.**

#### **Тема 4. Поляризуемость молекул.**

1. Дипольный момент. Физический смысл, методы определения.

2. Вычисление дипольного момента по аддитивной схеме.

3. Дипольный момент и симметрия молекул, полярные и неполярные молекулы.

4. Поляризуемость и ее зависимость от строения молекул; Эллипсоид поляризуемости;

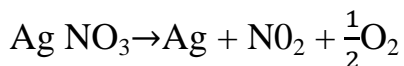
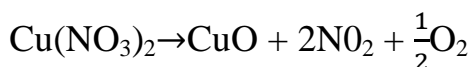
5. Вычисление поляризуемости по аддитивной схеме;

6. Поляризационная теория;

7. Применение поляризационной теории для объяснения реакционной

способности молекул.

8. Объяснить с точки зрения поляризационной теории почему получается различные продукты при термическом разложении нитратов:



## **Модуль 2. Строение вещества.**

### **Раздел 4. Внутримолекулярное движение и электромагнитные спектры.**

#### **Тема 1. Вращательное движение.**

#### **Тема 2. Вращательные спектры.**

1. В какой области электромагнитного спектра проявляется вращательное движение?

2. Назовите правила отбора.

3. Решите следующие задачи:

4. . Изучение ИК-вращательного спектра газообразного HF дает для вращательной постоянной значение  $B = 41.14 \text{ см}^{-1}$ . Рассчитать значение энергии вращения для состояний, отвечающих вращательным квантовым числам 1, 2, 3, 4, 5. Вычислить величину кванта энергии, возбуждающего переход молекулы с данного уровня на соседний.

5. Решить аналогичную задачу для HCl, если  $B = 20.83 \text{ см}^{-1}$ .

6. Решить аналогичную задачу для HBr, если  $B = 16.70 \text{ см}^{-1}$ .

7. Решить аналогичную задачу для HI, если  $B = 12.84 \text{ см}^{-1}$ .

#### **Тема 3. Колебательное движение и колебательный спектр.**

1. Нормальные колебания: число, тип, симметрия, энергия.

2. Колебательное движение (приближение гармонического осциллятора). Силовая постоянная. Колебательное квантовое число. Уровни энергии гармонического осциллятора.

2. Колебательный спектр поглощения и испускания. Правила отбора.

3. Достоинства и недостатки модели гармонического осциллятора.

#### **Тема 4. Молекула - ангармонический осциллятор.**

#### **Тема 5. Колебательные спектры комбинационного рассеяния.**

#### **Колебательные спектры многоатомных молекул.**

1. Потенциал Морзе. Уровни энергии ангармонического осциллятора.

2. Правила отбора и спектр ангармонического осциллятора.

3. Определения молекулярных параметров из колебательно-вращательных спектров.

4. Что такое комбинационное рассеяние?
5. Условия, при которых нормальные колебания активны в ИК и КР спектрах. Приведите примеры.
6. В чем особенности колебательных спектров многоатомных молекул?

## **Модуль 2. Строение вещества.**

### **Раздел 5. Комплексные соединения. Межмолекулярные взаимодействия. Строение конденсированных фаз.**

#### **Тема 1. Комплексные соединения.**

1. Какие комплексы называются комплексами  $\pi$ -акцепторного типа? Их классификация.
2. Правило 18 электронов (правило Сиджвига). Примеры.
3. Рассмотрите образование связи в комплексе  $[\text{Fe}(\text{CO})_9]$ , используя метод валентных связей.
4. Запишите волновые функции МО  $\sigma$ -типа для комплекса  $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$ . Постройте энергетическую диаграмму.
5. Покажите образование  $\pi$ -МО того же комплекса.
6. Сущность теории кристаллического поля. Ее достоинства и недостатки.

#### **Тема 2. Межмолекулярные взаимодействия.**

1. Какие виды межмолекулярного взаимодействия существуют?
2. Какие виды межмолекулярного взаимодействия зависят от температуры?
3. Чем кривая межмолекулярного взаимодействия отличается от потенциальной кривой молекулы?
4. Что такое Ван - дер - ваальсовы молекулы? Условия их существования.
5. В чем сущность ион - молекулярного взаимодействия?

#### **Тема 3. Агрегатное состояние вещества.**

1. Дать характеристику кристаллического состояния вещества:
  - Элементарные кристаллы;
  - Кристаллы с ковалентной связью;
  - Ионные кристаллы.
2. Природа водородной связи.
3. Аморфное, жидкое и газообразное состояние вещества.
4. Интерметаллиды. Состав. Строение.
5. Стекла. Состав. Строение.

## **Письменные работы**

Письменный ответ приучает к точности, лаконичности, связности изложения мысли. Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе.

1. Тестовый контроль (ПР-1) (Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося) - Фонд тестовых заданий.

2. Контрольная работа (ПР-2) (Средство проверки умений применять полученные знания для решения задач определенного типа по теме или разделу) - Комплект контрольных заданий по вариантам.

### **Тестовые задания для текущей проверки**

#### **Модуль 2. Строение вещества.**

**Раздел 1. Введение. Классические и квантово-механические теории строения молекул.**

**Тема 3. Теория отталкивания электронных пар валентной оболочки.**

**Правильны ли ниже приведенные утверждения. Выберите ответ «да» или «нет».**

1. Валентный угол в молекуле воды больше, чем в молекуле  $\text{OF}_2$ .
2. Молекула  $\text{BF}_3$  имеет пирамидальное строение.
3. Не поделённая электронная пара занимает в пространстве больший объём, чем поделённая.
4. Молекула  $\text{CO}_2$  имеет угловое строение.
5. Валентные углы в молекулах  $\text{NH}_3$  и  $\text{NCl}_3$  одинаковые
6. Молекула  $\text{COCl}_2$  имеет треугольное строение
7. Валентные углы  $\text{OCCl}$  и  $\text{ClCCl}$  в молекуле  $\text{COCl}_2$  одинаковые.
8. Кратная связь занимает в пространстве больший объём, чем одинарная.
9. Валентные углы в молекуле  $\text{PCl}_3$  больше, чем в молекуле  $\text{CCl}_4$ .
10. Молекулы  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$  имеют разное строение.

#### **Модуль 2. Строение вещества.**

**Раздел 1. Введение. Классические и квантово-механические теории строения молекул.**

**Тема 4. Приближенные методы решения волнового уравнения.**

**Правильны ли ниже приведенные утверждения. Выберите ответ «да» или «нет».**

1. Атомные орбитали, входящие в состав молекулярной орбитали должны быть одинаковой симметрии.
2. Атомные орбитали, входящие в состав молекулярной орбитали, должны быть разными по энергии.
3. Число молекулярных орбиталей не равно числу атомных, из которых они образовались.
4. На разрыхляющих орбиталях в молекуле кислорода есть неспаренные электроны, поэтому она парамагнитна.
5. Энергия разрыхляющей орбитали ниже, чем атомной.
6. Несвязывающая молекулярная орбиталь по энергии выше связывающей орбитали.
7. Делокализованные молекулярные орбитали молекулы воды являются трехцентровыми.
8. Атомные орбитали и образованные из них молекулярные орбитали относятся к разным неприводимым представлениям.
9. Из двух молекул с одинаковым порядком связи меньшую энергию диссоциации имеет та, у которой нет электронов на разрыхляющих орбиталях.
10. Делокализованные орбитали можно математически преобразовать в локализованные.

### **Контрольная работы (примеры)**

#### **Модуль 1. Квантовая химия и квантовая механика**

##### **Контрольная работа №1.**

##### **Вариант №1**

1. Проверить линейность операторов  $\hat{Q}$  (возведение в квадрат),  $\hat{D} = \frac{d}{dx}$ ,  $\hat{L}_y$
2. Найти явный вид оператора  $\left(\frac{d}{dx} + x\right)^3$
3. Вычислить коммутатор  $[\hat{L}_x, \hat{p}_z]$

##### **Вариант №2**

1. Проверить линейность операторов  $\hat{Q}$  (возведение в квадрат),  $\hat{D} = \frac{d}{dy}$ ,  $\hat{p}_x$
2. Найти явный вид оператора

$$\left(\frac{d}{dx} + \frac{1}{x}\right)^3$$

3. Вычислить коммутатор  $[\hat{L}_x, \hat{z}]$

### **Контрольная работа №2.**

#### **Вариант №1**

1. Доказать, что собственные значения эрмитова оператора являются вещественными числами.

2. Найти среднее значение импульса частицы в потенциальной яме шириной  $a$  с бесконечно высокими стенками.

3. Вычислить коммутатор  $[\hat{p}_z, \hat{y}]$

#### **Вариант №2**

1. Доказать, что собственные функции, принадлежащие различным собственным значениям эрмитова оператора, взаимно ортогональны.

2. Найти среднее значение координаты частицы в потенциальной яме шириной  $a$  с бесконечно высокими стенками.

3. Вычислить коммутатор  $[\hat{p}_y, \hat{y}]$

### **Контрольная работа №3**

#### **Вариант №1**

1. Определить терм основного состояния атома Al (атомный номер 13)

2. Определить терм основного состояния атома Mn (атомный номер 25)

3. Определить, для какого атома терм основного состояния  ${}^3F_4$

#### **Вариант №2**

1. Определить терм основного состояния атома F (атомный номер 9)

2. Определить терм основного состояния атома Sc (атомный номер 21)

3. Определить, для какого атома терм основного состояния  ${}^4F_{9/2}$

#### **Вариант №3**

1. Определить терм основного состояния атома B (атомный номер 5)

2. Определить терм основного состояния атома Cu (атомный номер 29)

3. Определить, для какого атома терм основного состояния  ${}^5D_4$

#### **Вариант №4**

1. Определить терм основного состояния атома Si (атомный номер 14)

2. Определить терм основного состояния атома S (атомный номер 16)

3. Определить, для какого атома терм основного состояния  ${}^4F_{3/2}$



## Модуль 2. Строение вещества.

### Контрольная работа №1 (Теория Гиллеспи)

#### Вариант №1

1. Геометрическое строение  $\text{SOCl}_2$ ,  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{SnCl}_2$ .
2. Валентные углы в молекуле  $\text{COCl}_2$  имеют значения  $111,3^\circ$  и  $124,3^\circ$ .

Какое из этих значений относится к углу  $\text{ClCCl}$ , а какое к углу  $\text{OCCl}$  ?

#### Вариант №2

1. Геометрическое строение  $\text{IF}_5$ ,  $\text{IO}(\text{OH})_3$ ,  $\text{SOF}_4$ .
2. Сравнить углы  $\text{XAX}$  в молекулах  $\text{PF}_5$  и  $\text{ClF}_3$ .

#### Вариант №3

1. Геометрическое строение  $\text{SF}_4$ ,  $\text{TeO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ .
2. Сравнить углы  $\text{XAX}$  в молекулах  $\text{PCl}_3$  и  $\text{CCl}_4$ .

#### Вариант №4

1. Геометрическое строение  $\text{NOCl}$ ,  $\text{XeF}_6$ ,  $\text{POCl}_3$ .
2. Даны молекулы  $\text{PI}_3$ ,  $\text{PBr}_3$ ,  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{PF}_5$ . Определить какое из указанных значений валентного угла относится к каждой из них:  $102^\circ$ ;  $101,5^\circ$ ;  $97,8^\circ$ ;  $100,3^\circ$ ?

#### Вариант №5

1. Геометрическое строение  $\text{COCl}_2$ ,  $\text{PCl}_5$ ,  $\text{SnCl}_2$ .
2. Объясните почему угол  $\text{HCH}$  в молекуле  $\text{C}_2\text{H}_4$  равен  $116,8^\circ$ , а угол  $\text{HCC} - 120^\circ$  ?

#### Вариант №6

1. Геометрическое строение  $\text{IF}_5$ ,  $\text{IO}(\text{OH})_3$ ,  $\text{SOF}_4$ .
2. Расположите в порядке возрастания валентного угла  $\text{XPX}$  молекулы  $\text{POF}_3$ ,  $\text{POBr}_3$ ,  $\text{POCl}_3$ .

#### Вариант №7

1. Геометрическое строение  $\text{SOF}_4$ ,  $(\text{ICl}_2)^-$ ,  $\text{COCl}_2$ .
2. В какой молекуле валентный угол больше, в  $\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{OF}_2$  ?

Почему?

#### Вариант №8

1. Геометрическое строение  $\text{SF}_6$ ,  $(\text{ICl}_4)^-$ ,  $\text{POCl}_3$ .
2. Сравните углы  $\text{XSX}$  в молекулах  $\text{SCl}_4$ ,  $\text{SF}_4$ .

#### Вариант №9

1. Геометрическое строение  $\text{COCl}_2$ ,  $\text{SF}_4$ ,  $(\text{BF}_4)^-$ .
2. Сравнить углы  $\text{XAX}$  в молекулах  $\text{SCl}_6$ ,  $\text{BrCl}_5$ .

### Контрольная работа №2 (Метод молекулярных орбиталей)

#### Вариант №1

1. Записать волновые функции МО и построить энергетическую диаграмму для молекул N<sub>2</sub>, CO (гетеронуклеарная схема), NH<sub>3</sub>.

### **Вариант №2**

1. Записать волновые функции МО и построить энергетическую диаграмму для молекул O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, HCl.

### **Вариант №3**

1. Записать волновые функции МО и построить энергетическую диаграмму для молекул Cl<sub>2</sub>, CO (гомонуклеарная схема), PH<sub>3</sub>.

### **Вариант №4**

1. Записать волновые функции МО и построить энергетическую диаграмму для молекул C<sub>2</sub>, SiO, H<sub>2</sub>S.

### **Вариант №5**

1. Записать волновые функции МО и построить энергетическую диаграмму для молекул NO, O<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>.

### **Вариант №6**

1. Записать волновые функции МО и построить энергетическую диаграмму для молекул B<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, BeH<sub>2</sub>.

### **Вариант №7**

1. Записать волновые функции МО и построить энергетическую диаграмму для молекул F<sub>2</sub>, HF (гетеронуклеарная схема), PH<sub>3</sub>.

## **Контрольная работа №3 (Метод Хюккеля)**

### **Вариант №1**

Молекулярные орбитали непредельного органического соединения:

$$\Psi_1 = \frac{1}{2} (P_{z1} + P_{z2} + P_{z3} + P_{z4}) \quad \downarrow \uparrow$$

$$\Psi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (P_{z1} - P_{z3}) \quad \uparrow$$

$$\Psi_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (P_{z2} - P_{z4}) \quad \uparrow$$

$$\Psi_4 = \frac{1}{2} (P_{z1} - P_{z2} + P_{z3} - P_{z4})$$

Определить:  $P_{1,2}$ ;  $P_{1,3}$ ;  $q_1$ ;  $q_2$ ;  $F_1$ ;  $F_2$

### Вариант №2

Молекулярные орбитали непредельного органического соединения:

$$\Psi_1 = \frac{1}{2} (P_{z1} + P_{z2} + P_{z3} + P_{z4}) \quad \downarrow\uparrow$$

$$\Psi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (P_{z1} - P_{z3}) \quad \uparrow$$

$$\Psi_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (P_{z2} - P_{z4}) \quad \uparrow$$

$$\Psi_4 = \frac{1}{2} (P_{z1} - P_{z2} + P_{z3} - P_{z4})$$

Определить:  $P_{2,3}$ ;  $P_{2,4}$ ;  $q_3$ ;  $q_4$ ;  $F_3$ ;  $F_4$

### Вариант №3

Молекулярные орбитали непредельного органического соединения:

$$\Psi_1 = \frac{1}{2} (P_{z1} + P_{z2} + P_{z3} + P_{z4}) \quad \downarrow\uparrow$$

$$\Psi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (P_{z1} - P_{z3}) \quad \uparrow$$

$$\Psi_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (P_{z2} - P_{z4}) \quad \uparrow$$

$$\Psi_4 = \frac{1}{2} (P_{z1} - P_{z2} + P_{z3} - P_{z4})$$

Определить:  $P_{1,2}$ ;  $P_{1,3}$ ;  $q_1$ ;  $q_2$ ;  $F_1$ ;  $F_2$

### Вариант №4

Молекулярные орбитали непредельного органического соединения:

$$\Psi_1 = \frac{1}{2} (P_{z1} + P_{z2} + P_{z3} + P_{z4}) \quad \downarrow\uparrow$$

$$\Psi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} (P_{z1} - P_{z3}) \quad \uparrow$$

$$\Psi_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (P_{z2} - P_{z4}) \quad \uparrow$$

$$\Psi_4 = \frac{1}{2} (P_{z1} - P_{z2} + P_{z3} - P_{z4})$$

Определить:  $P_{2,3}$ ;  $P_{2,4}$ ;  $q_3$ ;  $q_4$ ;  $F_3$ ;  $F_4$

### Контрольная работа №4 (Электрические и магнитные свойства)

#### Вариант №1

1. Рассчитать дипольный момент 1,2- дихлорбензола, если  $\mu(\text{C-Cl})=1,59\text{Д}$  ( $\cos 60^\circ=0,5$ )

2. Какие из указанных молекул полярны, а какие нет:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ?

Ответ поясните.

3. Рассчитать среднюю поляризуемость молекулы  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ .

#### Вариант №2

1. Рассчитать дипольный момент 1,3- дибромбензола, если  $\mu(\text{C-Br})=1,57\text{Д}$  ( $\cos 120^\circ=-0,5$ ).

2. Какие из указанных молекул полярны, а какие нет:  $\text{BF}_3$ ,  $\text{Cl}_2\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ?

Ответ поясните.

3. Рассчитать среднюю поляризуемость молекулы



#### Вариант №3

1. Рассчитать дипольный момент 1-хлор,2-бромбензола,  $\mu(\text{C-Cl})=1,59\text{Д}$ ,  $\mu(\text{C-Br})=1,57\text{Д}$ , ( $\cos 60^\circ=0,5$ )

2. Какие из указанных молекул полярны, а какие нет:  $\text{NOCl}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CCl}_4$ ?

Ответ поясните.

3. Рассчитать среднюю поляризуемость молекулы  $\text{CH}_3-\text{CH}_3$ .

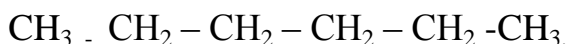
#### Вариант №4

1. Рассчитать дипольный момент 1-трифторметил-3- хлорбензола, если  $\mu(\text{C-Cl})=1,59\text{Д}$ ,  $\mu(\text{C-F})= 2,54\text{Д}$  ( $\cos 120^\circ=-0,5$ )

2. Какие из указанных молекул полярны, а какие нет:  $\text{HCN}$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ?

Ответ поясните.

3. Рассчитать среднюю поляризуемость молекулы



### Контрольная работа №5 (Внутримолекулярное движение и электромагнитный спектр)

#### Вариант №1

1. Вращательная постоянная молекулы HF  $B=41,14 \text{ см}^{-1}$ .

Рассчитать энергию вращения для основного состояния и межъядерное расстояние.

2. Основная полоса в колебательном спектре поглощения HCl лежит при  $3,46 \cdot 10^{-4}$ . Найти значение фактора ангармоничности и основную частоту колебаний молекулы.

#### Вариант №2

1. Вращательная постоянная молекулы HCl  $B=20,83 \text{ см}^{-1}$ .

Рассчитать энергию вращения для основного состояния и межъядерное расстояние.

2. Основная полоса в колебательном спектре поглощения CO лежит при  $4,67 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ , вторая при  $2,35 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ . Найти значение фактора ангармоничности и основную частоту колебаний молекулы.

#### Вариант №3

1. Вращательная постоянная молекулы HBr равна  $16,7 \text{ см}^{-1}$ .

Рассчитать энергию вращения для состояния, отвечающего квантовому числу  $J=1$  и межъядерное расстояние.

2. Граница между сгущением колебательных полос и областью непрерывного спектра поглощения лежит для хлора при  $4785 \text{ Å}^0$ . Рассчитать энергию диссоциации  $\text{Cl}_2$ .

#### Вариант №4

1. Вращательная постоянная молекулы HI равна  $12,84 \text{ см}^{-1}$ .

Рассчитать энергию вращения для состояния, отвечающего квантовому числу  $J=2$  и межъядерное расстояние.

2. Граница между сгущением колебательных полос и областью непрерывного спектра поглощения лежит для брома при  $\lambda=5107 \text{ Å}^0$ . Рассчитать энергию диссоциации этой молекулы.

#### Вариант №5

1. Во вращательном спектре молекулы HCl полоса, отвечающая квантовому числу  $J=6$  находится при  $68,95 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ .

Определить межъядерное расстояние молекулы.

2. Граница полосатого и непрерывного спектров молекулы  $I_2$  лежит при  $4995 \text{ \AA}^0$ . Определить энергию диссоциации этой молекулы.

**Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Оценки устных ответов при сдаче коллоквиумов**

Оценка	Требования
«отлично»	1. Дан полный и правильный ответ на основе изученных теорий. 2. Материал понят и изучен. 3. Материал изложен в определенной логической последовательности, литературным языком. 4. Ответ самостоятельный.
«хорошо»	1, 2, 3, 4 – аналогично отметке "Отлично". 5. Допущены 2-3 незначительные ошибки, исправленные по требованию учителя, наблюдалась "шероховатость" в изложении материала.
«удовлетворительно»	1. Учебный материал, в основном, изложен полно, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки (например, неумение применять законы и теории к объяснению новых фактов). 2. Ответ неполный, хотя и соответствует требуемой глубине, построен несвязно.
«неудовлетворительно»	1. Незнание или непонимание большей или наиболее существенной части учебного материала. 2. Допущены существенные ошибки, которые не исправляются после уточняющих вопросов, материал изложен несвязно.

**Оценка умения решать задачи (письменные контрольные работы)**

Оценка	Требования
«отлично»	1. В решении и объяснении нет ошибок. 2. Ход решения рациональный. 3. Если необходимо, решение произведено несколькими способами. 4. Допущены ошибки по невнимательности (оговорки, описки).

«хорошо»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Существенных ошибок нет.</li> <li>2. Допущены 1-2 несущественные ошибки или неполное объяснение, или использование 1 способа при заданных нескольких.</li> </ol>
«удовлетворительно»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Допущено не более одной существенной ошибки, записи неполны, неточности.</li> <li>2. Решение выполнено с ошибками в математических расчетах.</li> </ol>
«неудовлетворительно»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Решение осуществлено только с помощью учителя.</li> <li>2. Допущены существенные ошибки.</li> <li>3. Решение и объяснение построены не верно.</li> </ol>

### Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Строение вещества с основами квантовой химии» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной. Форма отчётности по дисциплине – экзамен (4 –й весенний и 5-осенний семестры). Экзамен проставляется по результатам рейтинга, учитывающего теоретические знания студентов и их практические навыки.

#### Рейтинг-план по дисциплине

№	Примерная дата внесения данных	Примерная дата проведения	Наименование контрольного мероприятия	Форма контроля	Весовой коэффициент (%)	Максимальный балл	Минимальное требование для допуска к семестровой аттестации
1	17.01.23	25.10.22 - 17.01.23	Посещение практических занятий	Посещение семинара	7	54	48
	08.11.23	22.10.22 - 12.11.23	Выполнение контрольных работ № 1-2	Выполнение контрольной работы	12	10	6
	20.12.23	19.11.23 - 10.12.23	Выполнение контрольных работ № 3-4	Выполнение контрольной работы	12	10	6
	17.01.23	Дек 2022-январь 2023	Выполнение контрольной работы № 5	Выполнение контрольной работы	6	5	3

2	17.01.23	19.09.22 - 17.01.23	Посещение лекционных занятий	Посещение лекций	3	18	1
	14.11.23	12.10- 16.11.22	Сдача коллоквиума №1	Сдача коллоквиума	12	10	6
	12.12.23	19.11.22 - 12.12.23	Сдача коллоквиумов № 2-3	Сдача коллоквиума	24	20	12
	17.01.23	17.12.22 - 17.01.23	Сдача коллоквиумов № 4-5	Сдача коллоквиума	24	20	12
3			Экзамен по дисциплине	Экзамен	0		
Итого					100		

Шкала соответствия рейтинга по дисциплине и оценок, действующая на основании  
единой шкалы по школе

Менее 51%	не зачтено	неудовлетворительно
От 51% до 75%	зачтено	удовлетворительно
От 76 % до 85%	зачтено	хорошо
От 86% до 100%	зачтено	отлично

### Методические указания по сдаче экзамена

В зачетную книжку студента вносится только запись только положительных оценок, запись «неудовлетворительно» вносится только в экзаменационную ведомость. При неявке студента на зачет в ведомости делается запись «не явился».

При получении неудовлетворительной оценки по рейтингу экзамен сдается комиссии. В билет включаются два вопроса и задача.

### Вопросы к экзамену (при ликвидации задолженности)

#### Модуль 1. Квантовая химия и квантовая механика

1. Волновая функция. Вероятность нахождения квантовой системы в элементе конфигурационного пространства. Плотность вероятности нахождения квантовых частиц в пространстве. Условие нормировки волновой функции. Свойства волновой функции.

2. Операторы физических величин (постулат). Свойства операторов физических величин. Операторы основных физических величин.

3. Собственные значения и собственные функции операторов. Спектр оператора, вырожденные состояния, кратность вырождения.



4. Алгебра операторов.
5. Среднее значение физической величины.
6. Принцип суперпозиции состояний.
7. Принцип неопределенности Гейзенберга. Соотношения неопределенностей для координаты и импульса.
8. Уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарного состояния.
9. Решение уравнения Шредингера для частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками (энергетические уровни, волновая функция частицы).
10. Радиальные функции атома водорода. Узловые точки.
11. Сферические гармоники.
12. Вариационная теорема, вариационный метод Ритца.
13. Метод Хартри (эффективный потенциал, волновая функция Хартри, энергия в методе Хартри, остоновый и кулоновский интегралы, уравнения Хартри, метод самосогласованного поля).
14. Определитель Слэтера. Принцип Паули. Обменная энергия.
15. Метод Хартри-Фока (полная энергия, уравнения Хартри-Фока). Теорема Купманса.
16. Спин-орбитальное взаимодействие. Квантовые числа многоэлектронного атома.
17. Атомные термы в приближении LS-связи. Правила Хунда. Определение терма основного состояния.
18. Энергетические уровни многоэлектронного атома. Атом в магнитном поле. Эффекты Зеемана и Пашена-Бака.
19. Приближение Борна – Оппенгеймера. Общий вид гамильтониана молекулы. Электронная волновая функция.
20. Приближение МО ЛКАО. Уравнения Рутаана.
21. Молекула водорода по методу МО ЛКАО.
22. Базисные наборы (функции Слэтера, функции Гаусса, базисы Попла и Даннинга, поляризационные и диффузные функции, хартри-фоковский предел).
23. Корреляционная энергия, методы учета корреляционной энергии.
24. Теорема Гельмана – Фейнмана. Образование химической связи.
25. Поверхность потенциальной энергии. Стационарные точки ППЭ. Гессиан.
26. Химическая реакция в терминах ППЭ. Координата реакции. Путь минимальной энергии. Седловая точка. Переходное состояние. Энергия активации.

## Вопросы к экзамену

### Модуль 2. Строение вещества.

Классические теории строения молекул.

1. Теория отталкивания электронных пар валентной оболочки.
2. Гетеронуклеарные двухатомные молекулы в методе МОЛКАО.
3. Использование симметрии молекул для построения МО многоатомных молекул.
4. Молекула  $H_2O$ . Делокализованные молекулярные орбитали.
5. Молекула  $H_2O$ . Локализованные МО.
6. Молекула  $NH_3$ . Волновые функции. Энергетическая диаграмма.
7. Молекула  $CH_4$ . Делокализованные МО. Энергетическая диаграмма.
8. Молекула  $CH_4$ . Локализованные МО.
9. Диаграммы Уолша.
10. Основные положения метода Хюккеля.
11. Этилен. Строение. Волновые функции. Энергия МО.
12. Понятия электронной плотности и заряда на атоме в методе Хюккеля.
13. Порядок связи в МО Хюккеля. Индекс свободной валентности.
14. Молекула аллила в методе Хюккеля.
15. Молекула бензола в методе Хюккеля.
16. Особенности строения и свойств ароматических соединений.
17. Циклобутadiен в методе Хюккеля.
18. Сохранение орбитальной симметрии в химических реакциях.
19. Происхождение магнитных моментов. Парамагнетизм и диамагнетизм.
20. Магнитная восприимчивость и магнитные моменты.
21. Использование магнитных свойств для изучения строения молекул.
22. Энергия молекулы в магнитном поле. Расщепление вырожденных уровней энергии.
23. Электрический дипольный момент. Его экспериментальное определение. Уравнение Ланжевена-Дебая.
24. Векторная аддитивная схема расчета дипольных моментов. Примеры.
25. Поляризуемость молекул. Тензор поляризуемости. Изменение поляризуемости в зависимости от строения атома и молекулы. Расчет по аддитивной схеме.
26. Поляризационная теория Фаянса.

27. Полярные и неполярные молекулы. Дипольный момент и симметрия молекул.
28. Внутримолекулярное движение. Вращательные уровни энергии (приближение жесткого ротатора).
29. Вращательный спектр поглощения двухатомной молекулы. Определение молекулярных параметров.
30. Колебательное движение молекул. Нормальные колебания. Их число, тип, симметрия.
31. Колебательное движение двухатомной молекулы. Приближение гармонического осциллятора. Система уровней гармонического осциллятора.
32. Правила отбора и спектр гармонического осциллятора. Недостатки этой модели.
33. Молекула - ангармонический осциллятор. Правила отбора и спектр поглощения ангармонического осциллятора.
34. Определение молекулярных параметров двухатомных молекул из колебательных ИК-спектров.
35. Колебательный спектр комбинационного рассеяния.
36. Правила отбора и спектр многоатомной молекулы.
37. Энергия диссоциации. Вычисление энергии диссоциации из спектров.
38. Карбонилы металлов. Состав. Строение по методу валентных связей.
39. Строение комплексных соединений по методу МО. Молекулярные орбитали  $\sigma$ -типа.
40. Строение карбониллов металлов по методу МО. Молекулярные орбитали  $\pi$ -типа.
41. Общая характеристика межмолекулярного взаимодействия. Ориентационное взаимодействие.
42. Индукционное межмолекулярное взаимодействие.
43. Дисперсионное межмолекулярное взаимодействие.
44. Взаимосвязь сил Ван-дер-Ваальса. Ван-дер-Ваальсовы молекулы. Ион-молекулярное взаимодействие.
45. Водородная связь.
46. Кристаллическое состояние вещества:
  - Элементарные кристаллы;
  - Кристаллы с ковалентной связью;
  - Ионные кристаллы.
47. Аморфное, жидкое и газообразное состояние вещества.

- 48. Интерметаллиды.
- 49. Стекла.

### **Критерии выставления оценки студенту на экзамене**

К экзамену допускаются обучающиеся, выполнившие программу обучения по дисциплине, прошедшие все этапы текущей аттестации.

<b>Оценка</b>	<b>Требования к сформированности компетенциям</b>
<b>«отлично»</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дан полный и правильный ответ на основе изученных теорий. Соответствует индикаторам компетенций.</li> <li>2. Материал понят и изучен.</li> <li>3. Материал изложен в определенной логической последовательности, литературным языком.</li> <li>4. Ответ самостоятельный.</li> </ol>
<b>«хорошо»</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1, 2, 3, 4 – аналогично отметке "Отлично".</li> <li>5. Допущены 2-3 незначительные ошибки, исправленные по требованию учителя, наблюдалась "шероховатость" в изложении материала.</li> </ol>
<b>«удовлетворительно»</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Учебный материал, в основном, изложен полно, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки (например, неумение применять законы и теории к объяснению новых фактов).</li> <li>2. Ответ неполный, хотя и соответствует требуемой глубине, построен несвязно.</li> </ol>
<b>«неудовлетворительно»</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Незнание или непонимание большей или наиболее существенной части учебного материала.</li> <li>2. Допущены существенные ошибки, которые не исправляются после уточняющих вопросов, материал изложен несвязно.</li> </ol>