

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

И.о. декана

А. С. Князев

Оценочные материалы по дисциплине

Вычислительные методы в химии

по направлению подготовки

**04.03.01 Химия**

Направленность (профиль) подготовки:

**Химия**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

Год приема

**2023**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

В.В. Шелковников

Председатель УМК

Л.Н. Мишенина

Томск – 2023

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-3. Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники.

ОПК-5. Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 3.1 Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности.

ИОПК 3.2 Использует стандартное программное обеспечение при решении задач химической направленности.

ИОПК 5.1 Использует современные IT-технологии при сборе, анализе, обработке и представлении информации химического профиля.

ИОПК 5.2 Соблюдает нормы информационной безопасности в профессиональной деятельности.

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

- устный опрос;
- отчеты по лабораторным работам.

Устный опрос (ИОПК 3.1, ИОПК 5.1.)

Примерный перечень вопросов:

1. Возникновение вычислительной компьютерной химии как науки: предпосылки, возможности, опасности. Основные программные пакеты, реализующие подходы вычислительной химии, их преимущества и недостатки.

2. Основные понятия квантовой механики: принцип неопределенности, вероятностный характер, волновая функция.

3. Основные постулаты квантовой механики.

4. Вариационный принцип.

5. Одноэлектронное приближение, волновая функция Хартри.

6. Метод самосогласованного поля Хартри, преимущества и недостатки метода.

7. Метод Хартри-Фока для атома. Приближения, используемые в методе Хартри-Фока. Детерминант Слэтера.

8. Ограниченный и неограниченный метод Хартри-Фока.

9. Гамильтониан молекулы, приближение Борна-Оппенгеймера.

10. Понятие поверхности потенциальной энергии. Примеры одно-, двух-, и многомерных ППЭ.

Критерии оценивания: устный опрос считается пройденным, если обучающий ответил правильно как минимум на 70% вопросов.

Отчет по лабораторной работе (ИОПК 3.1, ИОПК 3.2, ИОПК 5.1., ИОПК 5.2)

Перечень лабораторных работ приведён в пособии Фатеев А. В. Вычислительные методы в химии: лабораторные работы: учебно-методическое пособие по курсу «Вычислительные методы в химии» для студентов химического факультета ТГУ / А. В. Фатеев, В. П. Тугульдурова. – Томск: Издательство Томского государственного университета, 2021. – 103 с. По результатам выполненных лабораторных работ каждый студент составляет отчет. Отчет включает в себя цель и задачи работы, краткое изложение теоретических основ (в том числе основные понятия, законы, уравнения и др.), порядок и

методику выполнения работы, результаты эксперимента в виде таблиц и графиков, выводы по работе, содержащие качественные и количественные результаты исследований.

Примеры заданий

Задание к Лабораторной работе № 5

Вычислите, используя теорию функционала плотности и валентно-расщепленный базисный набор 6-31G, электронную энергию, энтальпию, энтропию и свободную энергию Гиббса для следующих молекул:

1. Этиловый спирт и диметиловый эфир;
2. Ацетон и 2-пропенол;
3. 1-бутен и 2-бутен;
4. Глюкоза (линейная форма) и  $\alpha$ -D-глюкопираноза;
5. Пентан и 2-метилбутан;
6. Бензол и призмат.

Для каждой молекулы укажите первую частоту колебания. Сделайте вывод об относительной устойчивости исследуемых молекул на основе сравнения значений электронной энергии, энтальпии и энергии Гиббса в кДж/моль.

Задание к Лабораторной работе №6)

Рассчитайте  $\Delta_r H$  и  $\Delta_r G$  реакции гидрирования этилена, используя метод Хартри-Фока и базисный набор 6-31G(d,p).

Критерии оценивания:

Оценка «Зачтено» ставится при выполнении следующих условий:

– лабораторная работа выполнена в полном объеме; структура отчёта соответствует вышеописанным пунктам, в отчете правильно и аккуратно оформлены все необходимые записи, таблицы, рисунки, графики, вычисления, сделанные выводы соответствуют задачам работы и содержат итоговые качественные и количественные результаты исследований;

– лабораторная работа выполнена в полном объеме; структура отчёта соответствует вышеописанным пунктам, в отчете оформлены все таблицы, рисунки, графики, вычисления, но допущено два-три недочета, или не более двух негрубых ошибок (не влияющих на качество выводов), сделанные выводы соответствуют задачам работы и содержат итоговые качественные и количественные результаты исследований;

Оценка «Не зачтено» ставится при выполнении следующих условий:

– обучающийся не выполнил работу;

– качество проведенных измерений не позволяет сделать верных и обоснованных выводов (допущены принципиальные ошибки в вычислениях, в выполнении работы);

– лабораторная работа выполнена не полностью, так что объем выполненных наблюдений не достаточен для достижения поставленной в работе цели и не позволяет сделать верных и обоснованных выводов.

Оценочные материалы в полном объеме содержатся в архиве кафедры и на странице курса в системе Moodle.

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

Для допуска к зачёту необходимо получить оценку «Зачтено» по итогам текущего контроля знаний.

**Зачет с оценкой** состоит из двух частей:

1. Зачет по практической части курса;
2. Зачет по лекционной части курса в режиме тестирования (Итоговый тест).

Зачет по практической части курса состоит в выполнении одного комплексного задания по всему курсу «Вычислительных методов в химии». Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примеры заданий для зачета по практическим занятиям (ИОПК 3.1, ИОПК 3.2, ИОПК 5.1., ИОПК 5.2):

1. Рассчитайте с использованием программы Gaussian тепловой эффект реакций дегидрирования циклогексадиена-1,3 и дегидрирования этана. Используйте для этого метод HF/3-21G. Как вы можете объяснить полученные результаты?

2. Рассчитайте относительную устойчивость двух изомеров в газовой фазе: пропенол-2 и пропанон. В какую сторону будет смещено равновесие в кето-енольной таутомерии. Проведите расчет с учетом нулевых колебаний и без их учета. Сравните полученные результаты.

3. В программе Gaussian методом QST2 с использованием базисного набора 3-21 (HF) оптимизируйте переходное состояние реакции  $\text{CH}_3\text{-OH} + \text{Br}^- \rightarrow \text{CH}_3\text{-Br} + \text{OH}^-$ . Докажите, что это состояние является переходным, укажите значение энтальпии с учетом энергии нулевых колебаний. Данная реакция протекает в водном растворе.

4. Рассчитайте колебательный спектр молекулы пропена. Сравните с экспериментальным спектром и сделайте вывод о целесообразности использования выбранной вами схемы расчета.

Критерии оценивания:

Оценка «Зачтено» ставится при выполнении следующих условий:

– комплексное задание выполнено в полном объеме; структура отчёта по заданию соответствует вышеописанным пунктам, в отчете правильно и аккуратно оформлены все необходимые записи, таблицы, рисунки, графики, вычисления, сделанные выводы соответствуют задачам работы и содержат итоговые качественные и количественные результаты исследований;

– комплексное задание выполнено в полном объеме; структура отчёта соответствует вышеописанным пунктам, в отчете оформлены все таблицы, рисунки, графики, вычисления, но допущено два-три недочета, или не более двух негрубых ошибок (не влияющих на качество выводов), сделанные выводы соответствуют задачам работы и содержат итоговые качественные и количественные результаты исследований;

Оценка «Не зачтено» ставится при выполнении следующих условий:

– обучающийся не выполнил комплексное задание;

– качество проведенных измерений не позволяет сделать верных и обоснованных выводов (допущены принципиальные ошибки в вычислениях, в выполнении работы);

– комплексное задание выполнено не полностью, так что объем выполненных наблюдений не достаточен для достижения поставленной цели и не позволяет сделать верных и обоснованных выводов.

Зачет по лекционной части курса проводится в тестовой форме. Итоговый тест состоит из 40 вопросов по всему курсу «Вычислительных методов в химии». Каждый вопрос оценивается в 1 балл. На выполнение теста отводится 60 минут.

Примеры заданий для зачета по лекционной части курса (ИОПК 2.2, ИОПК 3.1):

1. Переходное состояние соответствует на ППЭ точке, которая называется

- Глобальный минимум
- Локальный минимум
- Локальный максимум
- Седловая точка

2. Полуэмпирический метод, используемый для расчета спектра молекул

- ZINDO/S
- AM1
- PM3
- PM6

3. Выбери верное утверждение о теории функционала плотности

- Улучшенная теория Хартри-Фока

- b) Метод учета электронной корреляции  
 c) Ключевой физической величиной является электронная плотность  $\rho$   
 d) Не использует корреляционно-обменный функционал
4. Соотнесите базисный набор и рассчитываемое свойство

1	Внутри- и межмолекулярные взаимодействия	A	HF/6-31++G**
2	Молекулярная геометрия	B	HF/6-31++G**
3	Химическая связь. Энергии реакций	C	MP2/6-311+G**
4	Взаимодействие ионов и диполей. Водородные связи	D	HF/6-31G

5. Выберите адекватную схему расчета энергии системы с учетом электронной корреляции

- a) CCSD(T)/cc-pVQZ//MP2/6-31G(d)  
 b) MP2/6-31G(d)//MP4/6-31G(d)  
 c) HF/6-311G(d)//HF/6-31G  
 d) CIS/6-31G(d)//CIS/cc-pVQZ

6. В основе метода Хартри-Фока для атомов лежит

- a) Вариационный принцип и приближение независимых частиц, процедура ССП  
 b) Метод МО ЛКАО, одноэлектронное приближение  
 c) Приближение независимых частиц, детерминант Слетера, процедура ССП  
 d) Теорема Купманса, детерминант Слетера, процедура ССП

Критерии оценивания:

Результаты зачета определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется, если обучающий выполнил тест и получил 30 и более баллов;

Оценка «хорошо» выставляется, если обучающий выполнил тест и получил не менее 25, но не более 30 баллов;

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если обучающий выполнил тест и получил не менее 20, но не более 25 баллов;

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если не выполнил тест и/или получил менее 20 баллов.

#### 4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

1. При расчете каким методом значение энергии частицы будет меньше?

- A) HF/STO-3G  
 Б) HF/3-21G  
 B) HF/6-31G (d, p)  
 Г) HF/6-311++G(3df,2p)

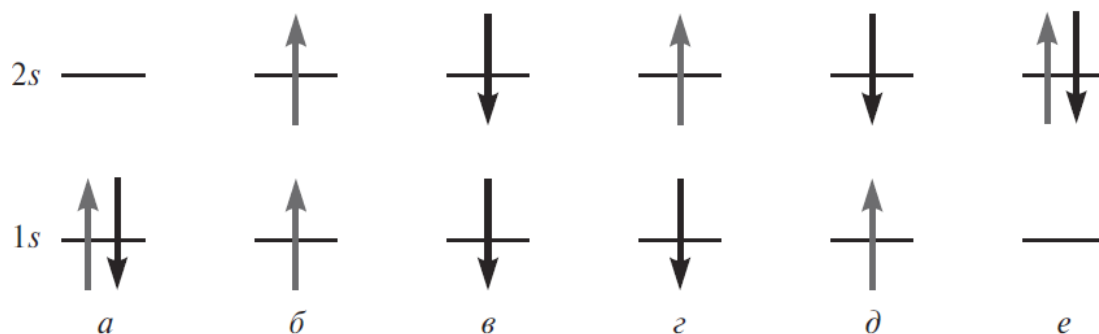
2. В каких единицах измерения вычислительные программы представляют электронную энергию системы?

- A) ккал/моль  
 Б) Хартри  
 B) кДж/моль  
 Г) кал/моль

3. Сопоставьте тип спектра с областью электромагнитного излучения, в которой они получены.

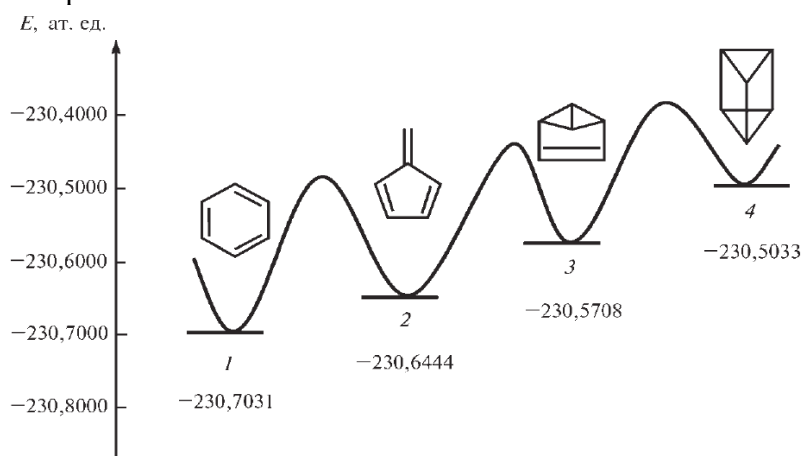
А) Электронный спектр	1 – Инфракрасная область
Б) Колебательный спектр	2 – Микроволновая область
В) Вращательный спектр	3 – УФ-видимая область

4. Основному состоянию распределения электронов для атома He соответствует схема



- А) б и в
- Б) г и д
- В) а
- Г) е
- Д) все вышеперечисленные

5. Наиболее стабильным валентным изомером молекулы  $C_6H_6$  является структура под номером



- А) 1
- Б) 2
- В) 3
- Г) 4

6. Выбери неверное утверждение о теории функционала плотности

- А) Не относится к методу Хартри-Фока
- Б) Учитывает электронную корреляцию
- В) Ключевой физической величиной является электронная плотность
- Г) Не использует корреляционно-обменный функционал

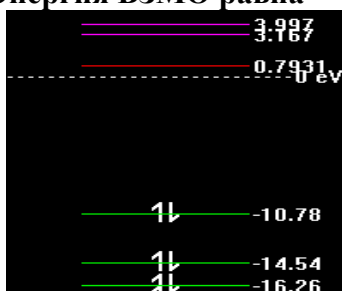
7. Метод, основанный на предположении, что взаимодействие каждого электрона со всеми остальными электронами заменено на его взаимодействие с усредненным полем, создаваемым всеми остальными электронами:

- А) Метод Кона-Шэма
- Б) Метод Хартри-Фока
- В) Метод Ритца
- Г) Полуэмпирические методы

8. Какой буквой обозначается оператор полной энергии системы?

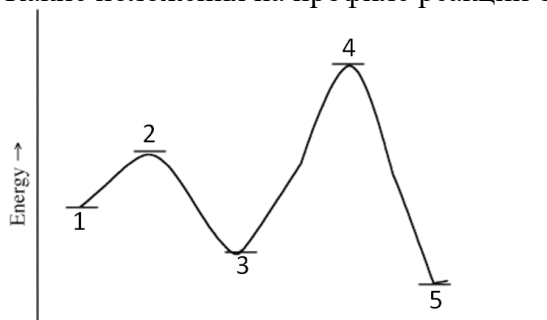
- А) E
- Б) H
- В)  $\Psi$
- Г) A

9. Энергия ВЗМО равна



- А) 3,997
- Б) 0,793
- В) -10,78
- Г) -16,26

10. Какие положения на профиле реакции отвечают переходным состояниям?



- А) 1 и 5
- Б) 3 и 5
- В) 2 и 4
- Г) только 4

### Информация о разработчиках

Тугульдурова Вера Петровна, канд. хим. наук, кафедра физической и коллоидной химии Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент.