

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор института nano-, био-,
информационных, когнитивных
и социогуманитарных наук и
технологий**

П.А. Форш

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Многоуровневое квантовомеханическое моделирование физических систем
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра nano-, био-, информационных и когнитивных технологий
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: А.В. Митин, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры nano-, био-, информационных и когнитивных технологий
20.03.2020

Аннотация

Целью изучения данной дисциплины является приобретение навыков построения математических моделей, оценки их эффективности, построения алгоритмов и их численной реализации.

Системы многих частиц включают разнообразные объекты. Это атомы, молекулы, включая био-молекулы, нано-кластеры и нано-структуры. При этом, описание таких структур на атомистическом уровне включает как описание собственно структур, так и описание взаимодействия между ними, например, взаимодействия поверхности с веществом. Системы многих частиц будут рассматриваться, в большинстве случаев, как системы находящиеся в стационарных состояниях, а динамическому описанию будет уделена небольшая часть курса.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление студентов с современными подходами к описанию систем многих частиц основанными, в большей части, на квантово-механическом рассмотрении таких систем, а также классическом рассмотрении систем в случаях, когда последние применимы. Системы многих частиц включают разнообразные объекты. Это атомы, молекулы, включая био-молекулы, нано-кластеры и нано-структуры. При этом, описание таких структур на атомистическом уровне включает как описание собственно структур, так и описание взаимодействия между ними, например, взаимодействия поверхности с веществом. Системы многих частиц будут рассматриваться, в большинстве случаев, как системы находящиеся в стационарных состояниях, а динамическому описанию будет уделена небольшая часть курса.

Задачи дисциплины

- научить студентов, исходя из микроскопической модели строения вещества, пользуясь квантово-механическими методами, рассчитывать физико-химические свойства систем многих частиц, например, энергетические характеристики, спектроскопические, энтальпии образования, электростатический потенциал и другие.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
	УК-2.2 Проектирует решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- приближения, позволяющие разделять ядерные и электронные переменные в уравнение Шрёдингера, область их применимости, колебания и вращения систем многих частиц;
- представление многоэлектронных антисимметричных волновых функции рядами по детерминантам Слэтера, функционал энергии многоэлектронной системы;
- вариационный принцип в нерелятивистской квантовой механике, уравнение Хартри-Фока, Хартри и метод самосогласованного поля, принцип заполнения орбиталей электронами, теорему Купманса;
- классификацию электронных состояний молекулярных систем, и их электронных оболочек, корреляционные свойства полной волновой функции и орбиталей;
- правила Слэтера вычисления матричных элементов между детерминантами, теорему Бриллюэна;
- многоконфигурационные волновые функции, натуральные орбитали, определение корреляционной энергии, описание Фермиевской дырки, статическую и динамическую корреляцию;
- метод конфигурационного взаимодействия, многоконфигурационный метод самосогласованного поля, теорию возмущений Мёллера-Плессета;
- теорию функционала плотности, теорему и вариационный принцип Хохэнберга-Кона, уравнение Кона-Шама, приближение локальной плотности и известные функционалы;
- одно и двухэлектронную функцию плотности, представление функционала энергии через функции плотности, анализ заселённости молекулярных орбиталей;
- приближение линейной комбинации атомных орбиталей, включая полноту наборов базисных функций и сходимость к точным решениям;
- типы базисных функций для неэмпирических расчётов, их классификацию, наборы атомных базисных функций, часто используемые в неэмпирических расчётах, базисную суперпозиционную ошибку и методы её коррекции;
- метод псевдопотенциала, теорему Гельмана-Феймана, теорему вириала;
- вычислительную сложность неэмпирических методов, теорию ССП итераций и методы ускорения их сходимости;
- методы оптимизации геометрии молекулярных систем;
- вычисление собственных значений матриц степенным методом, методом обратных итераций со сдвигом, методом итераций с отношением Релея, методом ортогонального проектирования, методами подпространства Крылова.

уметь:

- оценивать возможность применения адиабатического приближения и приближения Борна-Оппенгеймера при описании многоэлектронных систем;
- оценивать возможности теоретического исследования многоэлектронных систем различными квантовомеханическими и полуэмпирическими методами;
- оценивать необходимость применения многоконфигурационных волновых функций для описания многоэлектронных систем;
- использовать теорему Купманса для оценки потенциалов ионизации многоэлектронных систем.

владеть:

- основными методами теории электронной структуры систем многих частиц
- методом Хартри-Фока, методами теории функционала плотности, методом конфигурационного взаимодействия, многоконфигурационным методом самосогласованного поля, методами теории возмущений;
- методами молекулярной динамики, описывающими динамику поведения систем многих частиц.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

		Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	--	---

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Другие приближения и методы, необходимые для описания многоэлектронных систем.	6		3	10
2	Описание многоэлектронных систем в рамках метода Хартри-Фока.	8		3	10
3	Описание многоэлектронных систем корреляционными методами.	6		3	10
4	Основные положения квантово-механического описания систем многих частиц.	4		3	10
5	Основные численные методы неэмпирических вычислений.	6		3	5
Итого часов		30		15	45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Другие приближения и методы, необходимые для описания многоэлектронных систем.

Одно- и двухэлектронная функция плотности. Бесспиновые функции плотности. Выражение средних значений операторов через электронные функции плотности. Представление функционала энергии через одно- и двухэлектронные функции плотности. Электронные функции плотности для однодетерминантной волновой функции, включая случай замкнутых оболочек. Анализ заселённости молекулярных орбиталей.

Приближение линейной комбинации атомных орбиталей (ЛКАО). Полнота наборов базисных функций в пространствах Гильберта и Соболева и сходимость к точным решениям. Метод Хартри-Фока для замкнутой и открытой оболочки в приближении ЛКАО. Неограниченный метод Хартри-Фока.

Типы базисных функций для неэмпирических расчётов многоэлектронных систем. Классификация наборов базисных функций. Базисные функции гауссова типа. Поляризационные, диффузные и присоединённые функции. Примеры наборов базисных функций разных типов. Атомные базисные функции часто используемые в расчётах.

Базисная суперпозиционная ошибка и методы её коррекции. Метод псевдопотенциала. Теорема Гельмана-Феймана. Теорема вириала. Полуэмпирические методы. Точность и надёжность квантово-механических методов. Методы молекулярной механики. Методы молекулярной динамики.

2. Описание многоэлектронных систем в рамках метода Хартри-Фока.

Вариационный принцип в нерелятивистской квантовой механике и метод неопределённых множителей Лагранжа. Уравнение Хартри-Фока и Хартри. Метод самосогласованного поля.

Принцип заполнения орбиталей электронами. Теорема Купманса. Классификация молекулярных орбиталей. Электронные состояния молекул. Электронные оболочки атомов и молекул. Волновые функции системы для состояний с замкнутыми и открытыми оболочками. Уравнение Хартри-Фока для состояний с замкнутыми оболочками. Ограниченный и неограниченный методы Хартри-Фока. Локализованные МО и принципы их локализации. Виртуальные орбитали в методе Хартри-Фока и их физический смысл. Корреляционные свойства полной волновой функции, молекулярных орбиталей и орбитальных энергий. Многоэлектронные спиновые волновые функции.

3. Описание многоэлектронных систем корреляционными методами.

Правила Слэтера вычисления матричных элементов между детерминантными волновыми функциями. Теорема Бриллюэна. Многоконфигурационные (многодетерминантные) волновые функции и размерность конфигурационного пространства. Натуральные орбитали. Корреляционная энергия. Фермиевская дырка. Статическая и динамическая корреляции. Метод конфигурационного взаимодействия и его вычислительная схема. Многоконфигурационный метод самосогласованного поля. Теория возмущений Мёллера-Плессетта.

Модель Томаса-Ферми. Теория функционала плотности, теорема и вариационный принцип Хохэнберга-Кона, уравнение Кона-Шама, приближение локальной плотности и известные функционалы.

Неэмпирические композитные методы. Теоретическая термохимия.

4. Основные положения квантово-механического описания систем многих частиц.

Адиабатическое приближение и приближение Борна-Оппенгеймера, их применимость. Выход за рамки адиабатического приближения. Колебания и вращения двух- и многоатомных молекул.

Многоэлектронные антисимметричные волновые функции. Одноэлектронные волновые функции. Матричные элементы одно- и двухэлектронных операторов. Функционал энергии многоэлектронной системы.

5. Основные численные методы неэмпирических вычислений.

Вычислительная сложность неэмпирических методов. Теория ССП итераций. Метод динамического сдвига уровней. Оптимизация геометрии молекулярных систем. Преобразование двухэлектронных интегралов из базиса АО в базис МО. Экстраполяция в итерационных методах. Линейные и линейные проекционные методы экстраполяции. Вычисление двух-электронных отталкивательных интегралов с сгруппированными гауссовыми функциями.

Собственные значения и собственные векторы матриц. Приведение обобщённой задачи на собственные значения к задаче на собственные значения матрицы с использованием унитарного (ортогонального) разложения и преобразования Холецкого. Вычисление собственных значений матриц степенным методом, методом обратных итераций со сдвигом, методом итераций с отношением Релея, методом ортогонального проектирования. Метод истощения для вычисления всех собственных значений. Методы подпространства Крылова и обзор современных итерационных методов нахождения экстремальных собственных значений симметричных матриц большой размерности.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Квантовая механика и квантовая химия [Текст] : учебник для вузов / Н. Ф. Степанов .— М. : Мир ; Изд-во МГУ, 2001 .— 519 с.

Фонд литературы кафедры

2. Барановский В.И. Квантовая механика и квантовая химия. – М: Академия, 2008.

3. Цирельсон В. Г. Квантовая химия: молекулы, молекулярные системы и твёрдые тела. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.

Дополнительная литература

1. Квантовая химия [Текст]. Т. 1. Основы и общие методы / Л. Цюлике ; пер. с нем. М. М. Беренфельда [и др.] ; под ред. М. В. Базилевского. — М. : Мир, 1976. — 512 с.
Фонд литературы кафедры
2. Фудзинага С. Метод молекулярных орбиталей. — М: Мир, 1983.
3. Абаренков И. В., Братцев В. Ф., Тулуб А. В. Начала квантовой химии. — М: Высшая школа, 1989.
4. Мак-Вини Р., Сатклиф Б. Квантовая механика молекул. — М: Мир, 1972.
5. Слэтер Дж. Электронная структура молекул. — М: Мир, 1965.
6. Кларк Т. Компьютерная химия. — М: Мир, 1990.
7. Helgaker T., Jørgensen P., Olsen J. Molecular Electronic-Structure Theory. — New York: Wiley, 2000.
8. Hehre W. J., Radom L., Schleyer P. v. R., Pople J. A. Ab Initio Molecular Orbital Theory. — New York: John Wiley & Sons, 1986.
9. Czabo A., Ostlund N. S. Modern quantum chemistry (Introduction to advanced electronic structure theory). — New York: Dover Publications, Inc., 1989.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru>— электронная библиотека Физтеха.
2. <http://www.Sci-lib.com> — Большая научная библиотека.
3. <http://benran.ru> —библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
4. <http://arXiv.org>— CornellUniversityLibrary — Библиотека Корнельского Университета, электронный ресурс arXiv.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрено.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Для успешного освоения курса, помимо посещения лекций и лабораторных, от студентов требуется самостоятельная работа в объёме не менее чем те часы, которые указаны для каждого раздела программы. В основном, это время отводится на самостоятельное изучение материала по основной и дополнительной литературе. Самостоятельные занятия включают в себя также повторение материала лекций и подготовку к промежуточным тестированиям, которые проводятся для текущего контроля за усвоением материала. Студенты, посещающие лекции и успешно прошедшие формы промежуточного контроля, допускаются к сдаче дифференцированного зачета по дисциплине.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра нано, био, информационных и когнитивных технологий
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.В. Митин, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
	УК-2.2 Проектирует решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Многоуровневое квантовомеханическое моделирование физических систем» обучающийся должен:

знать:

- приближения, позволяющие разделять ядерные и электронные переменные в уравнение Шрёдингера, область их применимости, колебания и вращения систем многих частиц;
- представление многоэлектронных антисимметричных волновых функции рядами по детерминантам Слэтера, функционал энергии многоэлектронной системы;
- вариационный принцип в нерелятивистской квантовой механике, уравнение Хартри-Фока, Хартри и метод самосогласованного поля, принцип заполнения орбиталей электронами, теорему Купманса;
- классификацию электронных состояний молекулярных систем, и их электронных оболочек, корреляционные свойства полной волновой функции и орбиталей;
- правила Слэтера вычисления матричных элементов между детерминантами, теорему Бриллюэна;
- многоконфигурационные волновые функции, натуральные орбитали, определение корреляционной энергии, описание Фермиевской дырки, статическую и динамическую корреляцию;
- метод конфигурационного взаимодействия, многоконфигурационный метод самосогласованного поля, теорию возмущений Мёллера-Плессета;
- теорию функционала плотности, теорему и вариационный принцип Хохэнберга-Кона, уравнение Кона-Шама, приближение локальной плотности и известные функционалы;
- одно и двухэлектронную функцию плотности, представление функционала энергии через функции плотности, анализ заселённости молекулярных орбиталей;
- приближение линейной комбинации атомных орбиталей, включая полноту наборов базисных функций и сходимость к точным решениям;
- типы базисных функций для неэмпирических расчётов, их классификацию, наборы атомных базисных функций, часто используемые в неэмпирических расчётах, базисную суперпозиционную ошибку и методы её коррекции;
- метод псевдопотенциала, теорему Гельмана-Феймана, теорему вириала;
- вычислительную сложность неэмпирических методов, теорию ССП итераций и методы ускорения их сходимости;
- методы оптимизации геометрии молекулярных систем;
- вычисление собственных значений матриц степенным методом, методом обратных итераций со сдвигом, методом итераций с отношением Релея, методом ортогонального проектирования, методами подпространства Крылова.

уметь:

- оценивать возможность применения адиабатического приближения и приближения Борна-Оппенгеймера при описании многоэлектронных систем;
- оценивать возможности теоретического исследования многоэлектронных систем различными квантовомеханическими и полуэмпирическими методами;
- оценивать необходимость применения многоконфигурационных волновых функций для описания многоэлектронных систем;
- использовать теорему Купманса для оценки потенциалов ионизации многоэлектронных систем.

владеть:

- основными методами теории электронной структуры систем многих частиц
- методом Хартри-Фока, методами теории функционала плотности, методом конфигурационного взаимодействия, многоконфигурационным методом самосогласованного поля, методами теории возмущений;
- методами молекулярной динамики, описывающими динамику поведения систем многих частиц.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущих занятий по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Многоуровневое квантовомеханическое моделирование физических систем» осуществляется в форме **дифференцированного зачета**. Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

Примерный перечень вопросов в тестах

1. Записать условие применимости адиабатического приближения и приближения Борна-Оппенгеймера.
2. Написать выражение для функционала энергии многоэлектронной системы в адиабатическом приближении с однодетерминантной волновой функцией.
3. Сформулировать метод неопределённых множителей Лагранжа нахождения условного экстремума некоторого функционала.
4. Записать уравнение Хартри-Фока и оператор Фока для однодетерминантной волновой функции.
5. Сформулировать теорему Купманса.
6. Записать правила Слэтера вычисления матричных элементов между детерминантными волновыми функциями.
7. Сформулировать теорему Бриллюэна.
8. Записать оператор возмущения в теории возмущений Мёллера-Плессетта.
9. Сформулировать теорему Хохэнберга-Кона.
10. Записать уравнение Кона-Шама.
11. Сформулировать теорему Гельмана-Феймана.
12. Сформулировать теорему вириала.
13. Записать алгоритм вычисления собственных значений матриц степенным методом.
14. Записать алгоритм вычисления собственных значений матриц методом обратных итераций со сдвигом.

Примерный перечень контрольных вопросов в билетах

1. Адиабатическое приближение и приближение Борна-Оппенгеймера, их применимость.
2. Многоэлектронные антисимметричные волновые функции. Одноэлектронные волновые функции. Матричные элементы одно- и двухэлектронных операторов с однодетерминантной волновой функцией. Функционал энергии многоэлектронной системы с однодетерминантной волновой функцией.
3. Вариационный принцип в нерелятивистской квантовой механике и метод неопределённых множителей Лагранжа. Уравнение Хартри-Фока и Хартри. Метод самосогласованного поля.
4. Уравнение Хартри-Фока для состояний с замкнутыми оболочками. Теорема Купманса.
5. Неограниченный метод Хартри-Фока. Физический смысл виртуальных орбиталей.
6. Правила Слэтера вычисления матричных элементов между детерминантными волновыми функциями. Теорема Бриллюэна.
7. Метод конфигурационного взаимодействия и его вычислительная схема. Преобразование двухэлектронных интегралов из базиса АО в базис МО.
8. Теория возмущений Мёллера-Плессетта.
9. Теория функционала плотности. Теорема Хохэнберга-Кона. Уравнение Кона-Шама.

10. Приближение линейной комбинации атомных орбиталей (ЛКАО). Полнота наборов базисных функций и сходимость к точным решениям. Метод Хартри-Фока для состояний с замкнутой оболочкой в приближении ЛКАО.
11. Неограниченный метод Хартри-Фока в приближении ЛКАО.
12. Типы базисных функций для неэмпирических расчётов и их классификация. Сгруппированные базисные функции гауссова типа. Атомные базисные функции, часто используемые в неэмпирических расчётах.
13. Теорема Гельмана-Феймана. Теорема вириала.
14. Теория самосогласованных итераций. Метод динамического сдвига уровней.
15. Экстраполяция в итерационных методах. Линейные и линейные проекционные методы экстраполяции.
16. Приведение обобщённой задачи на собственные значения к задаче на собственные значения матрицы с использованием унитарного (ортогонального) разложения и преобразования Холецкого.
17. Вычисление собственных значений матриц степенным методом, методом обратных итераций со сдвигом, методом итераций с отношением Релея.
18. Вычисление собственных значений матриц методом ортогонального проектирования и методом Ланцоша.

4. Критерии оценивания

Оценка	Баллы	Критерии
отлично	10	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.
	9	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.
	8	Выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.
хорошо	7	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно

		обосновывает полученные результаты.
	6	Выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.
	5	Выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.
удовлетворительно	4	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.
	3	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.
неудовлетворительно	2	Выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.
	1	Выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется не менее 40 минут на подготовку. Опрос по билету и ответы на дополнительные вопросы не должен превышать двух астрономических часов.