

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**по дисциплине:** Диагностика веществ и материалов  
**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы  
Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики  
кафедра химической физики функциональных материалов  
**курс:** 3  
**квалификация:** бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

7 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 135 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: В.В. Новиков, д-р хим. наук, заведующий кафедрой

Программа обсуждена на заседании кафедры химической физики функциональных материалов 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Диагностика веществ и материалов" предусматривает ознакомление обучающихся с основными принципами современных методов исследования веществ и материалов.

Задачи курса:

Формирование базовых знаний и представлений о фундаментальных законах и основных методах исследования физико-химических свойств и структуры сложных веществ и материалов.

По результатам освоения курса студент должен

Знать:

- базовые физические и химические принципы, заложенные в основу различных методов исследования строения вещества;
- методы исследования строения и физико-химических свойств, а также оборудование и приборы проведения таких исследований;
- специфику различных физико-химических методов изучения строения вещества и области их применимости;
- критерии оценки статистической значимости экспериментальных данных.

Уметь:

- планировать стратегию установления строения вещества;
- рационально сочетать различные методы исследования строения вещества;
- обрабатывать экспериментальные данные, полученные с помощью физико-химических методов исследования вещества;
- использовать современные приборы и методики, проводить и организовывать эксперименты, готовить образцы для проведения измерений.

Владеть:

- способами интерпретации данных, полученных различными физико-химическими методами исследования строения вещества;
- методологией использования современных физико-химических методов изучения строения вещества;
- практическими навыками использования современных приборов и методик для исследования химических соединений различной природы, проведения и организации экспериментов и испытаний, обработки и анализа результатов;
- методологией сопоставления и критической интерпретации массива данных, полученных всей совокупностью использованных физико-химических методов исследования строения вещества.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Введение
2. Хроматография
3. Масс-спектрометрия
4. Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой областях
5. Колебательная спектроскопия
6. Ядерный магнитный резонанс
7. Электронный парамагнитный резонанс
8. Магнетохимические методы исследования
9. Мессбауэровская спектроскопия
10. Рентгеновская спектроскопия
11. Рентгенодифракционные методы
12. Электрохимические методы
13. Изучение наноматериалов

## 1. Цели и задачи

## Цель дисциплины

- ознакомление обучающихся с основными принципами современных методов исследования веществ и материалов.

## Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний и представлений о фундаментальных законах и основных методах исследования физико-химических свойств и структуры сложных веществ и материалов.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- базовые физические и химические принципы, заложенные в основу различных методов исследования строения вещества;
- методы исследования строения и физико-химических свойств, а также оборудование и приборы проведения таких исследований;
- специфику различных физико-химических методов изучения строения вещества и области их применимости;
- критерии оценки статистической значимости экспериментальных данных.

уметь:

- планировать стратегию установления строения вещества;
- рационально сочетать различные методы исследования строения вещества;
- обрабатывать экспериментальные данные, полученные с помощью физико-химических методов исследования вещества;
- использовать современные приборы и методики, проводить и организовывать эксперименты, готовить образцы для проведения измерений.

владеть:

- способами интерпретации данных, полученных различными физико-химическими методами исследования строения вещества;
- методологией использования современных физико-химических методов изучения строения вещества;
- практическими навыками использования современных приборов и методик для исследования химических соединений различной природы, проведения и организации экспериментов и испытаний, обработки и анализа результатов;
- методологией сопоставления и критической интерпретации массива данных, полученных всей совокупностью использованных физико-химических методов исследования строения вещества.

#### 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

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение	2			10
2	Хроматография	4			10
3	Масс-спектрометрия	4			10
4	Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой областях	8			10
5	Колебательная спектроскопия	6			10
6	Ядерный магнитный резонанс	6			10
7	Электронный парамагнитный резонанс	4			10
8	Магнетохимические методы исследования	4			10
9	Мессбауэровская спектроскопия	2			10
10	Рентгеновская спектроскопия	8			10
11	Рентгенодифракционные методы	8			10
12	Электрохимические методы	2			10
13	Изучение наноматериалов	2			15
Итого часов		60			135
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

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

Семестр: 6 (Весенний)

###### 1. Введение

Общая характеристика и классификация методов исследования строения молекул и кристаллов. Методы химические и физические. Методы спектральные и не спектральные. Прямая и обратная задачи.

Природа электромагнитного излучения. Основные характеристики излучения (частота, длина волны, волновое число). Различные типы взаимодействия излучения с веществом. Спектры испускания, поглощения и рассеяния атомов, ионов, молекул и кристаллов. Важнейшие характеристики спектральных линий (положение, интенсивность, ширина). Электронные, колебательные, вращательные, спиновые и ядерные переходы как результат различных типов внутриатомных или внутримолекулярных взаимодействий, определяющих соответствующую спектральную область.

Классификация спектральных методов по длинам волн (гамма-резонанс, рентгеновская, УФ, видимая, ИК, микроволновая, радиоспектроскопия), по природе переходов (ядерные, электронные, колебательные, вращательные спектры, ЯМР, ЭПР, ЯКР), по типу взаимодействия (спектры поглощения, испускания, рассеяния). Энергетические характеристики различных методов. Чувствительность и разрешающая способность метода. Характеристическое время метода. Интеграция методов.

## 2. Хроматография

Определение хроматографии. Хроматографическая система. Подвижная и неподвижная фазы. Хроматограмма. Свободный объем, объем удерживания, фактор разделения, индекс удерживания Ковача, число теоретических тарелок колонки. Основные типы сорбентов и ионообменных смол. Виды хроматографии: газовая, жидкостная, сверхкритическая флюидная, противоточная; планарная; фронтальная и элюентная; адсорбционная, эксклюзионная и критическая хроматография полимеров; аффинная; ионообменная и ионная, лигандообменная; хиральная. Многоколоночная и многомерная хроматография. Селективность и эффективность разделения. Принципы препаративной хроматографии и ионного обмена. Имитация подвижного слоя.

## 3. Масс-спектрометрия

Области применения масс-спектрометрии и ограничения метода.

Конструкция и основные типы масс-спектральных приборов. Системы ввода пробы газов, жидкостей и твердых веществ. Источники ионов. Анализаторы масс (магнитные, ионный циклотронный резонанса, времяпролетные). Системы регистрации ионов, система сбора и обработки данных. Спектроскопия активирующих столкновений, МС/МС техника.

Методы ионизации молекул (ионизация электронами, фото ионизация, полевая ионизация и десорбция, атомная бомбардировка, электроспрей, матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация (МАЛДИ), резонансный захват электронов).

Основные характеристики масс-спектрометров (чувствительность, разрешающая способность, точность измерения масс и интенсивностей пиков, быстроедействие).

Теория ионизации молекул и диссоциации ионов в газовой фазе. Основные положения квазиравновесной теории масс-спектров. Диссоциативная ионизация.

Типы ионов (положительные, отрицательные, многозарядные, молекулярные, фрагментные), перегруппировки.

Структурно-аналитические задачи: установление элементного состава и строения молекул; изотопный анализ; качественный и количественный анализ смесей, хроматомасс-спектрометрия; определение микропримесей.

## 4. Спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой областях

Техника спектроскопии в видимой и УФ областях. Конструкция приборов (монокроматоры, спектрофотометры; однолучевые и двухлучевые приборы). Источники излучения, оптические материалы, детекторы. Используемые растворители. Способы изображения спектров.

Спектры поглощения в видимой и УФ-областях как метод исследования электронных спектров многоатомных молекул. Классификация и отнесение электронных переходов в органических молекулах. Характеристики электронных состояний многоатомных молекул: энергия, волновые функции, мультиплетность, время жизни. Симметрия и номенклатура электронных состояний. Интенсивности полос различных переходов. Правила отбора для электронных переходов.

Специфика электронных спектров поглощения различных классов органических соединений. Спектры сопряженных систем и пространственные эффекты в электронных спектрах поглощения. Спектры ароматических соединений.

Спектры координационных соединений. d-d-переходы, переходы с переносом заряда. Теория поля лигандов.

Применение электронных спектров поглощения в качественном, структурном и количественном анализе. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Анализ смесей, определение состава комплексов, определения констант диссоциации кислот. Изучение равновесий, изобестические точки. Биологические и биохимические приложения УФ-видимой спектроскопии.

Спектры испускания в УФ и видимой области. Люминесценция (флуоресценция и фосфоресценция). Фотофизические процессы в молекуле. Внутренняя и интеркомбинационная конверсия. Основные характеристики люминесценции, времена жизни возбужденных состояний, квантовый и энергетический выход люминесценции. Закономерности люминесценции (закон Стокса - Ломмеля, правило Левшина, закон Вавилова). Тушение люминесценции. Влияние температуры на спектры испускания. Спектры Шпольского. Практическое использование люминесцентного анализа.

## 5. Колебательная спектроскопия

Квантовомеханический подход к описанию колебательных спектров. Колебания двухатомных молекул. Гармоническое и ангармоническое приближение. Факторы влияющие на частоту колебания – масса атомов и силовые коэффициенты. Колебания многоатомных молекул. Число колебаний. Основные колебания, обертоны и составные частоты. Частоты и формы колебаний. Естественные координаты. Нормальные колебания. Классификация молекулярных колебаний по симметрии. Определение числа колебаний для разных типов симметрии.

Два основных метода изучения колебательных спектров: инфракрасная спектроскопия и спектроскопия комбинационного рассеяния (КР).

Правила отбора и интенсивность полос в ИК поглощении и в спектрах КР. Изменение дипольного момента и поляризуемости молекул. Сравнение методов ИК-спектроскопии и КР для исследования молекулярных структур. Поляризация полос в спектрах КР. Сопоставление данных ИК и КР спектров для определения структуры молекул. Влияние агрегатного состояния и растворителей на спектры. Особенности спектров кристаллов. Статическое и динамическое (давыдовское) расщепление полос в спектрах кристаллов. Резонанс Ферми.

Характеристичность нормальных колебаний. Ограничения концепции групповых частот. Характеристические частоты различных связей и групп атомов в молекуле. Характеристические колебания основных классов молекул. Применение колебательных спектров для определения структур органических, неорганических и координационных соединений. Исследования химических процессов - динамической изомерии, равновесий, кинетики реакций, водородных связей и др. Влияние изотопозамещения на колебательные спектры.

Специфичность колебательных спектров. Применение методов колебательной спектроскопии для идентификации веществ, для качественного и количественного анализа и другие применения в химии.

Техника и методики ИК спектроскопии и спектроскопии КР. Аппаратура ИК спектроскопии, источники излучения, детекторы, прозрачные материалы. Приготовление образцов и методы измерения спектров. Инфракрасные фурье-спектрометры. Преимущества фурье-спектрометров по сравнению с классическими спектральными приборами.

Аппаратура спектроскопии КР, источники света, детекторы. Преимущества лазерных источников возбуждения.

## 6. Ядерный магнитный резонанс

Явление ядерного магнитного резонанса. Квантово-механическое и классическое описание явления. Уравнение резонанса. Понятие химического сдвига в спектроскопии ЯМР, константа экранирования и ее составляющие. Эталоны в ЯМР. Понятие спин-спинового взаимодействия в спектроскопии ЯМР, константы спин-спинового взаимодействия и их связь со строением молекул.

Релаксационные процессы в спектроскопии ЯМР. Понятие о спин-решеточной и спин-спиновой релаксации. Экспериментальное определение времен релаксации  $T_1$  и  $T_2$ . Понятие о динамическом ЯМР, примеры динамических процессов, исследованных методом ДЯМР. Временная шкала метода ДЯМР.

Устройство простейшего и современного ЯМР спектрометров, СВ-и импульсная методики регистрации спектров ЯМР.

Проявление хиральности в спектрах ЯМР. Гомотопные, энантиотопные и диастереотопные группы. Классификация спиновых систем в ЯМР, правила анализа первого порядка, слабо- и сильносвязанные спиновые системы, знаки КССВ.

Химические сдвиги гетероядер и константы спин-спинового взаимодействия с участием гетероядер ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{31}\text{P}$ , переходные и непереходные металлы). Эталоны для определения химических сдвигов гетероядер.

Эксперименты по двойному резонансу. Ядерный эффект Оверхаузера. Одномерные ЯМР эксперименты, использующие сложные импульсные последовательности (INEPT, DEPT, JMODECHO). Понятие о двумерной корреляционной спектроскопии ЯМР, основные методики –  $^1\text{H}$ ,  $^1\text{H}$  и  $^1\text{C}$ ,  $^1\text{H}$  COSY, NOESY, EXSY.

ЯМР парамагнитных соединений. Динамическая и химическая поляризация ядер. Твердотельная спектроскопия ЯМР.

## Семестр: 7 (Осенний)

### 7. Электронный парамагнитный резонанс

Принципы спектроскопии электронного парамагнитного (спинового) резонанса. Условие ЭПР.  $g$ -Фактор и его значение. Сверхтонкое расщепление сигнала ЭПР при взаимодействии с одним и несколькими ядрами. Число компонент мультиплета, распределение интенсивности. Константа СТС. Тонкое расщепление. Ширина линий. Приложение метода ЭПР в химии. Изучение механизмов химических реакций. Химическая поляризация электронов. Определение свободных радикалов и других парамагнитных центров. Использование спиновых меток. Блок-схема спектрометра ЭПР, особенности эксперимента, достоинства и ограничения метода.

### 8. Магнетохимические методы исследования

Поведение вещества во внешнем постоянном магнитном поле. Магнитная индукция, магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость вещества. Природа явлений диа-, пара-, ферро- и ферримаг-нетизма. Диамагнетизм вещества и аддитивная схема Паскаля. Примеры структурного анализа в координационной химии с помощью магнетохимического метода. Природа парамагнетизма. Квантовомеханический подход к описанию парамагнитного поведения системы с  $s = 1/2$ . Законы Кюри и Кюри—Вейса. Микроскопическая природа магнетизма. Магнитный момент парамагнитных систем с  $s > 1/2$ . Орбитальный магнитный момент и спин-орбитальное взаимодействие.

Магнитометрия в постоянном и в переменном поле. Основные инструментальные подходы к измерению статических и динамических магнитных свойств. Магнитные свойства неорганических соединений и комплексов переходных металлов. Особенности магнитных свойств полиядерных комплексов. Мономолекулярные магниты. Спиновые переходы.

### 9. Мессбауэровская спектроскопия

$\gamma$ -Резонансная ядерная флуоресценция, эффект Мессбауэра. Энергия испускаемых и поглощаемых  $\gamma$ -квантов. Допплеровское уширение и энергия отдачи. Процедура получения  $\gamma$ -резонансных спектров. Химический (изомерный) сдвиг, влияние химического окружения. Квадрупольные и магнитные взаимодействия. Возможности  $\gamma$ -резонансной спектроскопии в химии и ограничения ее применения.

## 10. Рентгеновская спектроскопия

Природа рентгеновских спектров. Края поглощения. Взаимосвязь рентгеновских спектров поглощения и характеристических спектров испускания. Классификация рентгеновских методов анализа. Анализ по первичному рентгеновскому излучению (рентгеноэмиссионный). Анализ по вторичному рентгеновскому излучению (рентгенофлуоресцентный). Рентгеноабсорбционный анализ. Природа критических краев поглощения.

Основные принципы фотоэлектронной спектроскопии, фотоэффект, сечение фотоэффекта. Оже-электроны и рентгеновские кванты. Химический сдвиг в фотоэлектронных спектрах. Корреляция химических сдвигов с зарядовым состоянием атома. Информационная глубина метода. Фотоэлектронные и оже-спектры с угловым разрешением. Радиационные эффекты. Количественный анализ. Послойный анализ. Учет статической зарядки. Контроль дифференциальной зарядки и ее применение для оценки фазового состава. Анализ сложных спектров. Особенности вычитания фона. Сателлиты в фотоэлектронных спектрах. Приборы и техника эксперимента.

## 11. Рентгенодифракционные методы

Природа рентгеновского излучения, методы его получения, природа характеристического излучения и «белого излучения» рентгеновской трубки. Поглощение рентгеновских лучей при прохождении через вещество. Регистрация рентгеновского излучения. Рентгеновские дифрактометры (с точечными детекторами, с координатными детекторами).

Симметрия и сингонии кристаллов, пространственные группы.

Дифракция рентгеновских лучей кристаллами, основные принципы и уравнения дифракции. Обратная решетка.

Структурный фактор, структурная амплитуда, электронная плотность кристалла. Основные понятия, смысл и взаимосвязь структурной амплитуды и электронной плотности. Фактор атомного рассеяния. Влияние температуры на дифракцию рентгеновских лучей кристаллами.

Основы порошковой рентгеновской дифракции. Рентгенофазовый анализ. Определение параметров кристаллической решетки. Количественное определение фазового состава мелкокристаллического образца. Метод Шеррера для нанокристаллов, определение ОКР.

Основные этапы рентгеноструктурного анализа монокристаллов. Подготовка образца, дифракционный эксперимент, расшифровка кристаллической структуры и фазовая проблема, уточнение структур методом наименьших квадратов.

Оценка точности рентгеноструктурных данных. Разрешение, R-факторы и показатель добротности подгонки (goodness-of-fit). Тесты на жесткость связи.

Программы определения геометрических характеристик и визуализации кристаллических структур.

Кристаллографические банки данных: общий обзор. Кембриджский банк структурных данных (CCDC).

Исследования распределения электронной плотности.

## 12. Электрохимические методы

Электрохимические методы анализа. Циклическая вольтамперометрия. Принципы работы потенциостата. Ячейки для циклической вольтамперометрии, типы рабочих электродов и электродов сравнения. Вращающийся дисковый электрод. Методы с линейной разверткой потенциала. Критерии обратимости электрохимических реакций. Импульсные вольтамперометрические методики. Электрокатализ. Электросинтез.

## 13. Изучение наноматериалов

Конфокальная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Сканирующая электронная микроскопия. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Сканирующая электрохимическая микроскопия. Требования к подготовке образцов для различных видов микроскопии.



Динамическое светорассеяние. Измерение гидродинамического размера, дзета-потенциала и молекулярной массы макромолекул и наночастиц. Спектроскопические методы для изучения наноматериалов.

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

Учебная аудитория, оснащенная меловой доской, мультимедийным проектором и экраном.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Физические методы исследования в химии/ Ю. А. Пентин, Л. В. Вилков - М. Мир, 2009
2. Методы исследований в экспериментальной физике: учеб. пособие для вузов / М. И. Пергамент. — М. : Интеллект, 2010. — 304 с.

### Дополнительная литература

1. Основы молекулярной спектроскопии [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Кудрявцев ; М-во образования РФ, МФТИ. — М. : ВЭПИ, 1990. — 158 с.
2. Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса/ Ю. А. Устынюк - М. Техносфера, 2016

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

1. База данных Национального института стандартизации и технологии США по свойствам соединений. - <http://webbook.nist.gov/chemistry/>
2. Научная электронная библиотека РФФИ [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
3. Единое окно доступа к образовательным ресурсам Федерального портала Российское образование <http://www.window.edu.ru>

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

MS Word, MS Power Point.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания при решении заданий текущего контроля успеваемости.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех лекций, предусмотренных программой;
- ведения конспекта занятий;
- самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины. Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю. Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра химической физики функциональных материалов
<b>курс:</b>	<u>3</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
6 (весенний) - Дифференцированный зачет	
7 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	В.В. Новиков, д-р хим. наук, заведующий кафедрой

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Диагностика веществ и материалов» обучающийся должен:

### знать:

- базовые физические и химические принципы, заложенные в основу различных методов исследования строения вещества;
- методы исследования строения и физико-химических свойств, а также оборудование и приборы проведения таких исследований;
- специфику различных физико-химических методов изучения строения вещества и области их применимости;
- критерии оценки статистической значимости экспериментальных данных.

### уметь:

- планировать стратегию установления строения вещества;
- рационально сочетать различные методы исследования строения вещества;
- обрабатывать экспериментальные данные, полученные с помощью физико-химических методов исследования вещества;
- использовать современные приборы и методики, проводить и организовывать эксперименты, готовить образцы для проведения измерений.

### владеть:

- способами интерпретации данных, полученных различными физико-химическими методами исследования строения вещества;
- методологией использования современных физико-химических методов изучения строения вещества;
- практическими навыками использования современных приборов и методик для исследования химических соединений различной природы, проведения и организации экспериментов и испытаний, обработки и анализа результатов;
- методологией сопоставления и критической интерпретации массива данных, полученных всей совокупностью использованных физико-химических методов исследования строения вещества.

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

В целях текущего контроля успеваемости предусмотрен краткий опрос по темам предыдущих занятий

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету:

1. Различные типы взаимодействия излучения с веществом. Спектры испускания, поглощения и рассеяния атомов, ионов, молекул и кристаллов. Важнейшие характеристики спектральных линий (положение, интенсивность, ширина).
2. Конструкция и основные типы масс-спектральных приборов. Системы ввода пробы газов, жидкостей и твердых веществ. Источники ионов. Анализаторы масс (магнитные, времяпролетные, ионный циклотронный резонанс). Системы регистрации ионов, система сбора и обработки данных. Спектроскопия активирующих столкновений, МС/МС техника.
3. Методы ионизации молекул (ионизация электронами, фото ионизация, полевая ионизация и десорбция, атомная бомбардировка, электроспрей, матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация (МАЛДИ), резонансный захват электронов);
4. Техника спектроскопии в видимой и УФ областях. Конструкция приборов (монокроматоры, спектрофотометры; однолучевые и двухлучевые приборы). Источники излучения, оптические материалы, детекторы. Используемые растворители. Способы изображения спектров.
5. Спектры поглощения в видимой и УФ-областях как метод исследования электронных спектров многоатомных молекул. Классификация и отнесение электронных переходов в органических молекулах.
6. Характеристики электронных состояний многоатомных молекул: энергия, волновые функции, мультиплетность, время жизни. Симметрия и номенклатура электронных состояний. Интенсивности полос различных переходов. Правила отбора для электронных переходов.
7. Специфика электронных спектров поглощения различных классов органических соединений. Спектры сопряженных систем и пространственные эффекты в электронных спектрах поглощения. Спектры ароматических соединений.
8. Применение электронных спектров поглощения в качественном, структурном и количественном анализе. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Анализ смесей, определение состава комплексов, определения констант диссоциации кислот.
9. Фотофизические процессы в молекуле. Внутренняя и интеркомбинационная конверсия. Основные характеристики люминесценции, времена жизни возбужденных состояний, квантовый и энергетический выход люминесценции. Закономерности люминесценции (закон Стокса - Ломмеля, правило Левшина, закон Вавилова). Тушение люминесценции.
10. Дисперсия оптического вращения. Круговая поляризация луча света. Вращение плоскости поляризации плоскополяризованного света. Спиральная модель оптической активности. Вращательная сила перехода. Условия вращения плоскости поляризации.
11. Оптический круговой дихроизм Уравнение поглощения света. Коэффициент экстинкции и молярного поглощения. Эллиптическая поляризация света. Зависимость оптического кругового дихроизма от длины волны. Схема измерений кругового дихроизма. Область применения в стереохимии и электронном строении оптически активных веществ. Сравнение с дисперсией оптического вращения и УФ спектроскопией.
12. Квантовомеханический подход к описанию колебательных спектров. Колебания двухатомных молекул. Гармоническое и ангармоническое приближение. Факторы влияющие на частоту колебания – масса атомов и силовые коэффициенты.

13. Колебания многоатомных молекул. Число колебаний. Основные колебания, обертоны и составные частоты. Частоты и формы колебаний. Естественные координаты. Нормальные колебания.
14. Классификация молекулярных колебаний по симметрии. Определение числа колебаний для разных типов симметрии.
15. Правила отбора и интенсивность полос в ИК поглощении и в спектрах КР. Изменение дипольного момента и поляризуемости молекул. Сравнение методов ИК-спектроскопии и КР для исследования молекулярных структур. Поляризация полос в спектрах КР. Сопоставление данных ИК и КР спектров для определения структуры молекул.
16. Характеристичность нормальных колебаний. Ограничения концепции групповых частот. Характеристические частоты различных связей и групп атомов в молекуле. Характеристические колебания основных классов молекул. Применение колебательных спектров для определения структур органических, неорганических и координационных соединений.
17. Специфичность колебательных спектров. Применение методов колебательной спектроскопии для идентификации веществ, для качественного и количественного анализов и другие применения в химии.
18. Техника и методики ИК спектроскопии и спектроскопии КР. Аппаратура ИК спектроскопии, источники излучения, детекторы, прозрачные материалы. Приготовление образцов и методы измерения спектров. Инфракрасные фурье-спектрометры. Преимущества фурье-спектрометров по сравнению с классическими спектральными приборами.
19. Аппаратура спектроскопии КР, источники света, детекторы. Преимущества лазерных источников возбуждения.
20. Явление ядерного магнитного резонанса. Квантово-механическое и классическое описание явления. Уравнение резонанса. Понятие химического сдвига в спектроскопии ЯМР, константа экранирования и ее составляющие. Эталоны в ЯМР.
21. Понятие спин-спинового взаимодействия в спектроскопии ЯМР, константы спин-спинового взаимодействия и их связь со строением молекул.
22. Устройство простейшего и современного ЯМР спектрометров, CW-и импульсная методики регистрации спектров ЯМР.
23. Проявление хиральности в спектрах ЯМР. Гомотопные, энантиотопные и диастереотопные группы. Классификация спиновых систем в ЯМР, правила анализа первого порядка, слабо- и сильносвязанные спиновые системы, знаки КССВ.
24. Химические сдвиги гетероядер и константы спин-спинового взаимодействия с участием гетероядер. Эталоны для определения химических сдвигов гетероядер.
25. Эксперименты по двойному резонансу. Ядерный эффект Оверхаузера. Одномерные ЯМР эксперименты, использующие сложные импульсные последовательности. Понятие о двумерной корреляционной спектроскопии ЯМР.
26. Определение хроматографии. Хроматографическая система. Подвижная и неподвижная фазы. Хроматограмма. Свободный объем, объем удерживания, фактор разделения, индекс удерживания Ковача, число теоретических тарелок колонки. Основные типы сорбентов и ионообменных смол. Виды хроматографии.
27. Ионообменная и ионная хроматографии. Селективность и эффективность разделения. Принципы препаративной хроматографии. Имитация подвижного слоя.

#### Вопросы к экзамену:

1. Общая характеристика и классификация методов исследования строения молекул и кристаллов. Методы химические и физические. Методы спектральные и не спектральные. Прямая и обратная задачи.
2. Различные типы взаимодействия излучения с веществом. Спектры испускания, поглощения и рассеяния атомов, ионов, молекул и кристаллов. Важнейшие характеристики спектральных линий (положение, интенсивность, ширина).
3. Конструкция и основные типы масс-спектральных приборов. Системы ввода пробы газов, жидкостей и твердых веществ. Источники ионов. Анализаторы масс (магнитные, времяпролетные, ионный циклотронный резонанс). Системы регистрации ионов, система сбора и обработки данных. Спектроскопия активирующих столкновений, МС/МС техника.
4. Методы ионизации молекул (ионизация электронами, фото ионизация, полевая ионизация и десорбция, атомная бомбардировка, электроспрей, матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация (МАЛДИ), резонансный захват электронов);

5. Теория ионизации молекул и диссоциации ионов в газовой фазе. Основные положения квазиравновесной теории масс-спектров. Диссоциативная ионизация.
6. Структурно-аналитические задачи: установление элементного состава и строения молекул; изотопный анализ; качественный и количественный анализ смесей, хроматомасс-спектрометрия; определение микропримесей.
7. Техника спектроскопии в видимой и УФ областях. Конструкция приборов (монохроматоры, спектрофотометры; однолучевые и двухлучевые приборы). Источники излучения, оптические материалы, детекторы. Используемые растворители. Способы изображения спектров.
8. Спектры поглощения в видимой и УФ-областях как метод исследования электронных спектров многоатомных молекул. Классификация и отнесение электронных переходов в органических молекулах.
9. Характеристики электронных состояний многоатомных молекул: энергия, волновые функции, мультиплетность, время жизни. Симметрия и номенклатура электронных состояний. Интенсивности полос различных переходов. Правила отбора для электронных переходов.
10. Специфика электронных спектров поглощения различных классов органических соединений. Спектры сопряженных систем и пространственные эффекты в электронных спектрах поглощения. Спектры ароматических соединений.
11. Спектры координационных соединений. d-d-переходы, переходы с переносом заряда. Теория поля лигандов.
12. Применение электронных спектров поглощения в качественном, структурном и количественном анализе. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Анализ смесей, определение состава комплексов, определения констант диссоциации кислот. Изучение равновесий, изобестические точки. Биологические и биохимические приложения УФ-видимой спектроскопии.
13. Фотофизические процессы в молекуле. Внутренняя и интеркомбинационная конверсия. Основные характеристики люминесценции, времена жизни возбужденных состояний, квантовый и энергетический выход люминесценции. Закономерности люминесценции (закон Стокса - Ломмеля, правило Левшина, закон Вавилова). Тушение люминесценции. Влияние температуры на спектры испускания. Спектры Шпольского. Практическое использование люминесцентного анализа.
14. Дисперсия оптического вращения. Круговая поляризация луча света. Вращение плоскости поляризации плоскополяризованного света. Спиральная модель оптической активности. Вращательная сила перехода. Условия вращения плоскости поляризации. Дисперсия оптического вращения. Эффект Коттона — аномальная дисперсия. Схема эксперимента. Применения к изучению конфигурации и конформации оптически активных веществ. Правило октантов.
15. Оптический круговой дихроизм. Уравнение поглощения света. Коэффициент экстинкции и молярного поглощения. Эллиптическая поляризация света. Зависимость оптического кругового дихроизма от длины волны. Схема измерений кругового дихроизма. Область применения в стереохимии и электронном строении оптически активных веществ. Сравнение с дисперсией оптического вращения и УФ спектроскопией.
16. Магнитный круговой дихроизм. Физические основы метода и параметры. Преимущества и трудности метода.
17. Квантовомеханический подход к описанию колебательных спектров. Колебания двухатомных молекул. Гармоническое и ангармоническое приближение. Факторы влияющие на частоту колебания – масса атомов и силовые коэффициенты.
18. Колебания многоатомных молекул. Число колебаний. Основные колебания, обертоны и составные частоты. Частоты и формы колебаний. Естественные координаты. Нормальные колебания.
19. Классификация молекулярных колебаний по симметрии. Определение числа колебаний для разных типов симметрии.
20. Правила отбора и интенсивность полос в ИК поглощении и в спектрах КР. Изменение дипольного момента и поляризуемости молекул. Сравнение методов ИК-спектроскопии и КР для исследования молекулярных структур. Поляризация полос в спектрах КР. Сопоставление данных ИК и КР спектров для определения структуры молекул.
21. Характеристичность нормальных колебаний. Ограничения концепции групповых частот. Характеристические частоты различных связей и групп атомов в молекуле. Характеристические колебания основных классов молекул. Применение колебательных спектров для определения структур органических, неорганических и координационных соединений.

22. Специфичность колебательных спектров. Применение методов колебательной спектроскопии для идентификации веществ, для качественного и количественного анализов и другие применения в химии.
23. Техника и методики ИК спектроскопии и спектроскопии КР. Аппаратура ИК спектроскопии, источники излучения, детекторы, прозрачные материалы. Приготовление образцов и методы измерения спектров. Инфракрасные фурье-спектрометры. Преимущества фурье-спектрометров по сравнению с классическими спектральными приборами.
24. Аппаратура спектроскопии КР, источники света, детекторы. Преимущества лазерных источников возбуждения.
25. Явление ядерного магнитного резонанса. Квантово-механическое и классическое описание явления. Уравнение резонанса. Понятие химического сдвига в спектроскопии ЯМР, константа экранирования и ее составляющие. Эталоны в ЯМР.
26. Понятие спин-спинового взаимодействия в спектроскопии ЯМР, константы спин-спинового взаимодействия и их связь со строением молекул.
27. Релаксационные процессы в спектроскопии ЯМР. Понятие о спин-решеточной и спин-спиновой релаксации. Экспериментальное определение времен релаксации  $T_1$  и  $T_2$ .
28. Понятие о динамическом ЯМР, примеры динамических процессов, исследованных методом ДЯМР. Временная шкала метода ДЯМР.
29. Устройство простейшего и современного ЯМР спектрометров, СВ-и импульсная методики регистрации спектров ЯМР.
30. Проявление хиральности в спектрах ЯМР. Гомотопные, энантиотопные и диастереотопные группы. Классификация спиновых систем в ЯМР, правила анализа первого порядка, слабо- и сильносвязанные спиновые системы, знаки КССВ.
31. Химические сдвиги гетероядер и константы спин-спинового взаимодействия с участием гетероядер. Эталоны для определения химических сдвигов гетероядер.
32. Эксперименты по двойному резонансу. Ядерный эффект Оверхаузера. Одномерные ЯМР эксперименты, использующие сложные импульсные последовательности. Понятие о двумерной корреляционной спектроскопии ЯМР.
33. ЯМР парамагнитных соединений. Динамическая и химическая поляризация ядер. Твердотельная спектроскопия ЯМР.
34. Принципы спектроскопии электронного парамагнитного (спинового) резонанса. Условие ЭПР. g-фактор и его значение. Сверхтонкое расщепление сигнала ЭПР при взаимодействии с одним и несколькими ядрами. Число компонент мультиплета, распределение интенсивности. Константа СТС. Тонкое расщепление. Ширина линий.
35. Приложение метода ЭПР в химии. Изучение механизмов химических реакций. Химическая поляризация электронов. Определение свободных радикалов и других парамагнитных центров. Использование спиновых меток.
36. Блок-схема спектрометра ЭПР, особенности эксперимента, достоинства и ограничения метода.
37. Поведение вещества во внешнем постоянном магнитном поле. Магнитная индукция, магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость вещества. Природа явлений диа-, пара-, ферро- и ферримагнетизма. Диамагнетизм вещества и аддитивная схема Паскаля. Примеры структурного анализа в координационной химии с помощью магнетохимического метода.
38. Природа парамагнетизма. Квантовомеханический подход к описанию парамагнитного поведения системы с  $s = 1/2$ . Законы Кюри и Кюри—Вейса. Микроскопическая природа магнетизма. Магнитный момент парамагнитных систем с  $s > 1/2$ . Орбитальный магнитный момент и спин-орбитальное взаимодействие.
39. Магнитометрия в постоянном и в переменном поле. Основные инструментальные подходы к измерению статических и динамических магнитных свойств.
40. Магнитные свойства неорганических соединений и комплексов переходных металлов. Особенности магнитных свойств полиядерных комплексов. Мономолекулярные магниты. Спиновые переходы.
41.  $\gamma$ -Резонансная ядерная флуоресценция, эффект Мессбауэра. Энергия испускаемых и поглощаемых  $\gamma$ -квантов. Допплеровское уширение и энергия отдачи. Процедура получения  $\gamma$ -резонансных спектров.
42. Химический (изомерный) сдвиг, влияние химического окружения. Квадрупольные и магнитные взаимодействия. Возможности  $\gamma$ -резонансной спектроскопии в химии и ограничения ее применения



43. Природа рентгеновских спектров. Края поглощения. Взаимосвязь рентгеновских спектров поглощения и характеристических спектров испускания. Классификация рентгеновских методов анализа. Анализ по первичному рентгеновскому излучению (рентгеноэмиссионный). Анализ по вторичному рентгеновскому излучению (рентгенофлуоресцентный). Рентгеноабсорбционный анализ. Природа критических краев поглощения.
44. Основные принципы фотоэлектронной спектроскопии, фотоэффект, сечение фотоэффекта. Оже-электроны и рентгеновские кванты.
45. Химический сдвиг в фотоэлектронных спектрах. Корреляция химических сдвигов с зарядовым состоянием атома.
46. Фотоэлектронные и оже-спектры с угловым разрешением. Радиационные эффекты. Количественный анализ. Послойный анализ. Учет статической зарядки. Контроль дифференциальной зарядки и ее применение для оценки фазового состава.
47. Анализ сложных фотоэлектронных и оже- спектров. Особенности вычитания фона. Сателлиты в фотоэлектронных спектрах. Приборы и техника эксперимента
48. Природа рентгеновского излучения, методы его получения, природа характеристического излучения и «белого излучения» рентгеновской трубки. Поглощение рентгеновских лучей при прохождении через вещество. Регистрация рентгеновского излучения. Рентгеновские дифрактометры (с точечными детекторами, с координатными детекторами).
49. Симметрия и сингонии кристаллов, пространственные группы.
50. Дифракция рентгеновских лучей кристаллами, основные принципы и уравнения дифракции. Обратная решетка.
51. Структурный фактор, структурная амплитуда, электронная плотность кристалла. Основные понятия, смысл и взаимосвязь структурной амплитуды и электронной плотности. Фактор атомного рассеяния. Влияние температуры на дифракцию рентгеновских лучей кристаллами.
52. Основы порошковой рентгеновской дифракции. Рентгенофазовый анализ. Определение параметров кристаллической решетки. Количественное определение фазового состава мелкокристаллического образца. Метод Шеррера для нанокристаллов, определение ОКР.
53. Основные этапы рентгеноструктурного анализа монокристаллов. Подготовка образца, дифракционный эксперимент, расшифровка кристаллической структуры и фазовая проблема, уточнение структур методом наименьших квадратов.
54. Оценка точности рентгеноструктурных данных. Разрешение, R-факторы и показатель добротности подгонки (goodness-of-fit). Тесты на жесткость связи.
55. Программы определения геометрических характеристик и визуализации кристаллических структур.
56. Кристаллографические банки данных: общий обзор. Кембриджский банк структурных данных (CCDC).
57. Исследования распределения электронной плотности.
58. Электрохимические методы анализа. Принципы работы потенциостата.
59. Циклическая вольтамперометрия. Ячейки для циклической вольтамперометрии, типы рабочих электродов и электродов сравнения. Вращающийся дисковый электрод. Методы с линейной разверткой потенциала.
60. Критерии обратимости электрохимических реакций. Импульсные вольтамперометрические методики.
61. Конфокальная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Сканирующая электронная микроскопия. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия. Требования к подготовке образцов для различных видов микроскопии.
62. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Сканирующая электрохимическая микроскопия. Требования к подготовке образцов для различных видов микроскопии.
63. Динамическое светорассеяние. Измерение гидродинамического размера, дзета-потенциала и молекулярной массы макромолекул и наночастиц. Спектроскопические методы для изучения наноматериалов.
64. Определение хроматографии. Хроматографическая система. Подвижная и неподвижная фазы. Хроматограмма. Свободный объем, объем удерживания, фактор разделения, индекс удерживания Ковача, число теоретических тарелок колонки. Основные типы сорбентов и ионообменных смол. Виды хроматографии.
65. Ионообменная и ионная хроматографии. Селективность и эффективность разделения. Принципы препаративной хроматографии. Имитация подвижного слоя.

## Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - 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.

Оценка отлично 9 баллов - 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.

Оценка отлично 8 баллов - 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 недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - 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.

Оценка хорошо 6 баллов - 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.

Оценка хорошо 5 баллов - 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.

Оценка удовлетворительно 4 балла - 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.

Оценка удовлетворительно 3 балла - 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.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - 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.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - 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

Оценка - дифференцированный зачет в 6 семестре выставляется как средняя арифметическая оценка за все контрольные работы в течение 6 семестра.

Итоговая (экзаменационная) оценка в 7 семестре выставляется как средняя арифметическая оценка по результатам устного экзамена и всех контрольных работ в течение 7 семестра.

Опрос студента на устном экзамене не может превышать одного астрономического часа. На подготовку к ответу студенту предоставляется один астрономический час.