

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Химический факультет

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Самоорганизация в химических системах**

Кафедра неорганической химии и химической экологии

Образовательная программа  
**04.04.01. - Химия**

Профиль подготовки  
Неорганическая химия и химия силикатных материалов

Уровень высшего образования  
Магистратура

Форма обучения  
Очная

Статус дисциплины: входит в часть ОПОП, формируемую участниками  
образовательных отношений

Махачкала 2021

Рабочая программа дисциплины «Самоорганизация в химических системах» составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 04.04.01. - Химия от «13» июля 2017г. №665

Разработчик: кафедра неорганической химии и химической экологии, Гасангаджиева У.Г., к.х.н., доцент

Рабочая программа дисциплины одобрена:  
на заседании кафедры неорганической химии и химической экологии  
от «26» 01 2021г., протокол № 5

Зав. кафедрой

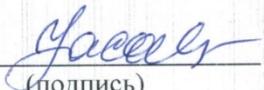
  
(подпись)

Исаев А.Б.

(Ф.И.О)

на заседании Методической комиссии химического факультета  
от «19» 01 2021г., протокол № 6

Председатель

  
(подпись)

Гасангаджиева У.Г.

(Ф.И.О)

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим  
управлением «05» 03 2021г.

Начальник УМУ

  
(подпись)

Гасангаджиева А.Г.

## Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Самоорганизация в химических системах» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений ОПОП, магистратуры по направлению подготовки 04.04.01. - Химия.

Дисциплина реализуется на химическом факультете кафедрой неорганической химии и химической экологии.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами исследования динамических систем и диссипативных структур различной природы, установлением эволюционных критериев динамических систем, методами определения причин потери устойчивости физико-химическими системами; методами управления систем с хаотическим поведением.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: профессиональных – ПК-1, ПК-2, ПК-4, ПК-5.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение лекционных и лабораторных занятий и организацию самостоятельной работы студентов.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля: текущей успеваемости – в форме собеседования, устного опроса, тестирования, проведения контрольных работ и коллоквиумов; промежуточной аттестации – в форме дифференцированного зачета.

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, в том числе 144 академических часов по видам учебных занятий:

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцирован ный зачет, экзамен)
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
		всего	из них						
		Лекци и	Лаборато рные занятия	Практиче ские занятия	КСР	консульта ции			
3	144	80	36	44				64	дифференцирован ный зачет

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель курса – ознакомление студентов с основными методами исследования динамических систем и диссипативных структур в химических системах.

Основными задачами, решаемыми в процессе изучения курса являются приобретение обучающимися четких представлений о динамических системах и образовании диссипативных структур в химических системах, прогнозировании эволюции физико-химических систем, выявлении причин, приводящих к потере устойчивости в химических системах, методах управления систем с хаотическим поведением.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры.

Дисциплина «Самоорганизация в химических системах» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, ОПОП магистратуры по направлению подготовки 04.04.01 – Химия.

Курс строится на базе знаний по химическим и физическим дисциплинам, а также высшей математике, объём которых определяется программами химического образования в высшей школе.

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

Код и наименование компетенции из ФГОС ВО	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ПК-1. Способен определять стратегию проведения реакции и ее результат (состав продуктов и их структуру, возможность оптимизации процесса и т.п.) на основе теоретических знаний в области неорганической химии	ПК-1.1. Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	<b>Знает:</b> стратегию проведения реакций неорганической химии <b>Умеет:</b> составлять общий план проведения реакций включая отдельные стадии реакций <b>Владеет:</b> навыками проведения реакций в неорганической химии	Устный опрос, письменный опрос
	ПК-1.2. Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	<b>Знает:</b> экспериментальные методы проведения реакций <b>Умеет:</b> проводить расчетно-теоретические исследования <b>Владеет:</b> навыками оптимизации имеющихся материальных и временных ресурсов	Устный опрос, письменный опрос
ПК-2. Способен самостоятельно оптимизировать условия проведения конкретного процесса исходя из базовых теоретических представлений о механизме реакции и факторах, определяющих реакционную способность	ПК-2.1. Выбирает оптимальный вариант синтеза целевого продукта из набора возможных	<b>Знает:</b> методы проведения конкретных реакций с учетом механизмов <b>Умеет:</b> учитывать механизмы и другие факторы определяющие выход целевого продукта <b>Владеет:</b> навыками выбора оптимального варианта синтеза	Устный опрос, письменный опрос
	ПК-2.2. Оптимизирует условия получения целевого продукта на основании существующих методик	<b>Знает:</b> реакционную способность типовых реагентов в органической химии <b>Умеет:</b> использовать оптимальные методы синтеза <b>Владеет:</b> методиками получения целевого продукта с максимальным выходом	Устный опрос, письменный опрос

ПК-4 Способен использовать современные физико-химические методы анализа для интерпретации результатов неорганического синтеза и материаловедения	ПК-4.1. Готовит материалы информационного и рекламного характера о научной, производственной и образовательной деятельности организации	<b>Знает:</b> современные физико-химические методы анализа <b>Умеет:</b> пользоваться методами анализа и подготовки полученного материала в виде информационно-рекламного материала <b>Владеет:</b> методами интерпретации полученных результатов анализа	Устный опрос, письменный опрос
	ПК-4.2. Собирает информацию о проводимых конкурсах на финансирование научных исследований в области неорганической химии	<b>Знает:</b> возможности использования полученной информации для конкурсов <b>Умеет:</b> составлять заявки для финансирования научных исследований <b>Владеет:</b> методикой сбора и анализа информации	Устный опрос, письменный опрос
	ПК-4.3. Готовит вспомогательную документацию для участия в конкурсах (грантах) на финансирование научной деятельности в неорганической химии	<b>Знает:</b> вспомогательную документацию о конкурсах, грантах и т. д. <b>Умеет:</b> готовить вспомогательную документацию <b>Владеет:</b> навыками составления и продвижения конкурсной документации	Устный опрос, письменный опрос
ПК-5 Способен интерпретировать результаты эксперимента и теоретических расчетов, применяя их при решении практических задач в области неорганической химии	ПК-5.1. Интерпретирует результаты неорганического синтеза с использованием результатов физико-химического анализа полученных веществ	<b>Знает:</b> методы интерпретации эксперимента для решения практических задач органической химии <b>Умеет:</b> интерпретировать результаты синтеза по физико-химическим данным анализа <b>Владеет:</b> методами интерпретации результатов для решения практических задач	Устный опрос, письменный опрос
	ПК-5.2. Использует знание теоретических основ физико-химических методов анализа при выборе способов изучения строения и структуры органических веществ	<b>Знает:</b> теоретические основы физико-химических методов анализа <b>Умеет:</b> выбирать методы изучения строения и структуры органических веществ <b>Владеет:</b> методами физико-химического анализа	Устный опрос, письменный опрос

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часа.

#### 4.2. Структура дисциплины

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия		Самостоятельная работа в т.ч. экзамен	
	Модуль 1.							

1	Введение	3	2			2	Опрос
2	Диссипативная функция многофазной гетерогенной среды	3	4		8	20	Контрольная работа
	<i>Итого по модулю 1:</i>		<b>6</b>		<b>8</b>	<b>22</b>	Коллоквиум
Модуль 2.							
1	Термодинамика линейных необратимых систем	3	4		8	6	Опрос
2	Термодинамика нелинейных необратимых систем	3	4		8	6	Контрольная работа
	<i>Итого по модулю 2:</i>		<b>8</b>		<b>16</b>	<b>12</b>	Коллоквиум
Модуль 3.							
1	Элементы качественной теории дифференциальных уравнений	3	4		6	8	Опрос
2	Предельные циклы в нелинейных системах.	3	8		4	6	Опрос
	<i>Итого по модулю 3:</i>		<b>12</b>		<b>10</b>	<b>14</b>	Коллоквиум
Модуль 4.							
	Элементы бифуркационного анализа	3	6		6	8	Опрос
	Элементы теории хаоса	3	4		4	8	Контрольная работа
	<i>Итого по модулю 4:</i>		<b>10</b>		<b>10</b>	<b>16</b>	Коллоквиум
	<b>ИТОГО:</b>		<b>36</b>		<b>44</b>	<b>64</b>	<b>Дифф. зачет</b>

### 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам, разделам и модулям.

#### 4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.

##### Модуль 1

**1. Введение.** Предмет синергетики. Понятие диссипативной структуры. Примеры возникновения пространственных, временных и пространственно-временных структур: реакция Белоусова-Жаботинского, переход ламинарного течения жидкости в турбулентное, эффект Бенара, изменение численности видов в биологическом сообществе "хищник-жертва" и др. Неравновесная термодинамика и нелинейная динамика – как разделы синергетики, позволяющие понять природу и направление эволюции неравновесных систем. Структура курса. Краткий исторический обзор.

**2. Диссипативная функция многофазной гетерогенной среды.** Математическое описание процессов с фазовыми переходами и химическими реакциями, происходящими в полидисперсных гетерогенных средах: основные понятия и допущения, уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Вывод выражения для изменения энтропии открытой многофазной системы; анализ структуры данного выражения. Производство энтропии системы; анализ производства энтропии; производство энтропии для стационарного состояния системы; производство энтропии для изолированной системы. Понятие термодинамической движущей силы и термодинамического потока. Примеры сил и потоков. Тензорная размерность

сил и потоков. Структура движущей силы массоотдачи; объяснение возникновения осцилляций при кристаллизации веществ с высокими тепловыми эффектами.

## Модуль 2

**3. Термодинамика линейных необратимых систем.** Соотношения взаимности Онзагера. Принцип Кюри. Принцип симметрии феноменологических коэффициентов. Эффект термодиффузии и диффузионный термоэффект. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии как критерий эволюции линейных систем. Доказательство теоремы Пригожина. Применение теоремы Пригожина для решения задач химической технологии: определение порозности слоя в кристаллизаторе со взвешенным слоем; определение диаметра включения, устойчивого к дроблению.

**4. Термодинамика нелинейных необратимых систем.** Метод функций Ляпунова. Вторая вариация энтропии системы как термодинамическая функция Ляпунова для систем вдали от равновесия. Производная второй вариации энтропии. Избыточное производство энтропии. Методика выявления причин потери устойчивости в системах. Устойчивость химических проточных реакторов. Методика вывода выражения для производной второй вариации энтропии; анализ данного выражения для реакций различного типа: прямой необратимой реакции, автокаталитической реакции, сложных реакционных схем. Влияние типа химической реакции на устойчивость системы. Методика определения размеров реактора и технологических параметров реакционного процесса для поддержания устойчивого теплового и концентрационного режима в реакторе. Анализ причин возникновения осцилляций в реакторах с рециклами. Исследование осцилляций при кристаллизации малорастворимых веществ.

## Модуль 3

**5. Элементы качественной теории дифференциальных уравнений.** Понятие автономных систем, фазового пространства, фазового портрета, неподвижной точки. Устойчивость неподвижных точек. Классификация неподвижных точек на прямой. Классификация неподвижных точек на плоскости. Первый метод Ляпунова для определения типа неподвижной точки линейной системы. Понятие характеристического многочлена. Критерий асимптотической устойчивости линейных систем.

Качественная эквивалентность систем. Проблемы исследования нелинейных систем. Теорема о линеаризации. Методика линеаризации нелинейных систем. Применение изученных методов для анализа реакционных схем.

**6. Предельные циклы в нелинейных системах.** Типы предельных циклов. Теорема Пуанкаре. Методика исследования систем с предельными циклами. Понятие структурной устойчивости колебаний. Колебания в моделях взаимодействия биологических видов по типу “хищник–жертва”.

## Модуль 4.

**7. Элементы бифуркационного анализа.** Понятие бифуркации, точки бифуркации. Бифуркация типа седло–узел; необходимый признак данного типа бифуркации. Бифуркация Андронова–Хопфа; необходимый признак данного типа бифуркации. Модель "Брюсселятор" как пример реакционной схемы, демонстрирующей бифуркацию Андронова–Хопфа: возникновение колебаний в режиме предельного цикла в реакторе идеального смешения; возникновение пространственных диссипативных структур в трубчатом реакторе. Квазипериодическая динамика систем в трёхмерном пространстве. Бифуркация рождения двумерного тора из предельного цикла в трёхмерном фазовом пространстве. Методы исследования физико-химических систем с понижением их размерности: параметры порядка и принцип подчинения; отображение Пуанкаре.

**8. Элементы теории хаоса.** Понятие странного аттрактора. Сценарий образования странного аттрактора в системе Лоренца. Колебания в режиме странного аттрактора в реакторе с рециклом в процессе получения фосфорной кислоты мокрым способом. Порядок и хаос в одномерных отображениях. Бифуркация удвоения периода. Теория универсальности Фейгенбаума. Сценарий образования странного аттрактора в модели Рёсслера. Использование методики исследования одномерных отображений в кластерной теории, предсказывающей порядок и детерминированный хаос при кристаллизации малорастворимых веществ. Алгоритм пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями. Показатели Ляпунова. Связь показателей Ляпунова с типами аттракторов.

#### ***4.3.3. Содержание лабораторно занятий по дисциплине.***

Лабораторные занятия посвящены численному исследованию различных динамических систем с использованием ЭВМ и включает выполнение в практикуме следующих работ:

##### **Модули 1 и 2**

Построение фазовых портретов и динамических характеристик для линейных систем, обладающих неподвижными точками: узел (устойчивый, неустойчивый), седло, центр, фокус (устойчивый, неустойчивый);

##### **Модуль 3**

Изучение бифуркации типа седло–узел;  
Изучение бифуркации Андронова–Хопфа;  
Изучение сценария образования странного аттрактора в системе Лоренца;

##### **Модуль 4**

Изучение бифуркации удвоения периода;  
Изучение алгоритма пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями.

## **5. Образовательные технологии**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование при проведении занятий по неорганической химии инновационных (объяснительно-иллюстративное обучение, предметно-ориентированное обучение, профессионально-ориентированное обучение, проектная методология обучения, организация самостоятельного обучения, интерактивные методы обучения) и традиционных (лекция-визуализация, лекция-презентация, компьютерные симуляции, лабораторная работа, самостоятельная работа) технологий обучения. Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах составляет не менее 30 % аудиторных занятий. Предполагается встреча с ведущими учеными республики.

#### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

Самостоятельная работа студентов имеет основную цель – обеспечить качество подготовки выпускаемых специалистов в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Формы и виды самостоятельной работы студентов по дисциплине устанавливаются следующие:

- проработка дополнительных тем, не вошедших в лекционный материал, но обязательных согласно учебной программе дисциплины;
- проработка пройденных лекционных материалов по конспекту лекций, учебникам и пособиям на основании вопросов, подготовленных преподавателем;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- подготовка к промежуточному и рубежному контролю;
- подготовка научных докладов и творческих работ.

Контроль результатов самостоятельной работы осуществляется преподавателем в течение всего семестра в виде:

- устного опроса (фронтального и индивидуального);
- тестирования;
- проведения письменной (контрольной) работы;
- проведения коллоквиума; написания и обсуждения реферата (творческого задания) на определенную тему.

#### **Виды и порядок выполнения самостоятельной работы:**

№	Разделы и темы для самостоятельного изучения	Вид контроля	Учебно-методич. обеспечение
Модуль I			
1.	Введение. Понятие диссипативной структуры. Неравновесная термодинамика и нелинейная динамика – как разделы синергетики, позволяющие понять природу и направление эволюции неравновесных систем.	Проработка лекционного материала	См. разделы 8-11 данного документа.
2.	Диссипативная функция многофазной среды. Вывод выражения для изменения энтропии открытой многофазной системы; анализ структуры данного выражения. Производство энтропии системы; анализ	Подготовка конспекта по теме: «Диссипативная	См. разделы 8-11 данного документа.

	производства энтропии; производство энтропии для стационарного состояния системы; производство энтропии для изолированной системы. Понятие термодинамической движущей силы и термодинамического потока.	функция многофазной среды».	
Модуль 2			
3	Термодинамика линейных необратимых систем. Соотношения взаимности Онзагера. Принцип Кюри. Принцип симметрии феноменологических коэффициентов. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии.	Подготовка конспекта по теме: «Термодинамика линейных необратимых систем.	См. разделы 8-11 данного документа.
4.	Термодинамика нелинейных необратимых систем. Метод функций Ляпунова. Производная второй вариации энтропии. Избыточное производство энтропии. Вывод выражения для производной второй вариации энтропии; анализ выражения для реакций различного типа. Влияние типа химической реакции на устойчивость системы.	Подготовка конспекта по теме: «Термодинамика нелинейных необратимых систем. Коллоквиум № 1	См. разделы 8-11 данного документа.
Модуль 3			
5.	Элементы качественной теории дифференциальных уравнений. Классификация неподвижных точек Первый метод Ляпунова для определения типа неподвижной точки линейной системы. Проблемы исследования нелинейных систем. Применение изученных методов для анализа реакционных схем.	Подготовка конспекта по теме: «Качественная теория дифференциальных уравнений».	См. разделы 8-11 данного документа подготовка к тестированию
6.	Предельные циклы в нелинейных системах. Типы предельных циклов. Теорема Пуанкаре. Методика исследования систем с предельными циклами. Понятие структурной устойчивости колебаний. Колебания в моделях взаимодействия биологических видов по типу «хищник–жертва».	Подготовка конспекта по теме: «Предельные циклы в нелинейных системах».	См. разделы 8-11 данного документа; тестирование
Модуль 4.			
7.	Элементы бифуркационного анализа. Понятие бифуркации, точки бифуркации. Бифуркация типа седло–узел; бифуркация Андронова–Хопфа; Модель "Брюсселятор" Бифуркация рождения двумерного тора из предельного цикла Методы исследования физико-химических систем с понижением их размерности: параметры порядка и принцип подчинения; отображение Пуанкаре.	Подготовка конспекта по теме: «Элементы бифуркационного анализа». Подготовка к коллоквиуму	См. разделы 8-11 данного документа.
8.	Элементы теории хаоса. Понятие странного аттрактора. Сценарий образования странного аттрактора в системе Лоренца. Бифуркация удвоения периода. Теория универсальности Фейгенбаума. Алгоритм пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями. Показатели Ляпунова. Связь показателей Ляпунова с типами аттракторов.	Подготовка конспекта по теме: «Элементы теории хаоса». Коллоквиум 2.	См. разделы 8-11 данного документа.

**7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

## 7.1. Типовые контрольные задания

Примерные контрольные задания.

### Модули 1 и 2

1. Построение фазовых портретов и динамических характеристик для линейных систем, обладающих неподвижными точками: узел (устойчивый, неустойчивый), седло, центр, фокус (устойчивый, неустойчивый);

### Модуль 3

1. Изучение бифуркации типа седло–узел;
2. Изучение бифуркации Андронова–Хопфа;
3. Изучение сценария образования странного аттрактора в системе Лоренца;

### Модуль 4

1. Изучение бифуркации удвоения периода;
2. Изучение алгоритма пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями.

### Контрольные вопросы

1. Введение. Предмет синергетики. Понятие диссипативной структуры.
2. Примеры возникновения пространственных, временных и пространственно-временных структур: реакция Белоусова-Жаботинского, переход ламинарного течения жидкости в турбулентное, эффект Бенара, изменение численности видов в биологическом сообществе "хищник-жертва" и др. Структура курса. Краткий исторический обзор.
3. Математическое описание процессов с фазовыми переходами и химическими реакциями, происходящими в полидисперсных гетерогенных средах: основные понятия и допущения, уравнения сохранения массы, импульса и энергии.
4. Вывод выражения для изменения энтропии открытой многофазной системы; анализ структуры данного выражения.
5. Производство энтропии системы; анализ производства энтропии;
6. Понятие термодинамической движущей силы и термодинамического потока. Примеры сил и потоков.
7. Термодинамика линейных необратимых систем. Соотношения взаимности Онзагера. Принцип Кюри. Принцип симметрии феноменологических коэффициентов.
8. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии как критерий эволюции линейных систем.
9. Термодинамика нелинейных необратимых систем. Метод функций Ляпунова.
10. Вторая вариация энтропии системы как термодинамическая функция Ляпунова для систем вдали от равновесия. Производная второй вариации энтропии.
11. Избыточное производство энтропии. Методика выявления причин потери устойчивости в системах;
12. Анализ выражения избыточного производства энтропии для реакций различного типа: прямой необратимой реакции, автокаталитической реакции,

сложных реакционных схем. Влияние типа химической реакции на устойчивость системы.

13. Элементы качественной теории дифференциальных уравнений. Понятие автономных систем, фазового пространства, фазового портрета, неподвижной точки.

14. Устойчивость неподвижных точек. Классификация неподвижных точек на прямой. Классификация неподвижных точек на плоскости. Первый метод Ляпунова для определения типа неподвижной точки линейной системы.

15. Понятие характеристического многочлена. Критерий асимптотической устойчивости линейных систем. Качественная эквивалентность систем.

16. Проблемы исследования нелинейных систем. Теорема о линеаризации. Методика линеаризации нелинейных систем. Применение изученных методов для анализа реакционных схем.

17. Предельные циклы в нелинейных системах. Типы предельных циклов. Теорема Пуанкаре. Методика исследования систем с предельными циклами.

18. Понятие структурной устойчивости колебаний. Колебания в моделях взаимодействия биологических видов по типу “хищник–жертва”.

19. Элементы бифуркационного анализа. Понятие бифуркации, точки бифуркации.

20. Бифуркация типа седло–узел; необходимый признак данного типа бифуркации. Бифуркация Андронова–Хопфа; необходимый признак данного типа бифуркации.

21. Модель “Брюсселятор” как пример реакционной схемы, демонстрирующей бифуркацию Андронова–Хопфа: возникновение колебаний в режиме предельного цикла в реакторе идеального смешения; возникновение пространственных диссипативных структур в трубчатом реакторе.

22. Квазипериодическая динамика систем в трёхмерном пространстве. Бифуркация рождения двумерного тора из предельного цикла в трёхмерном фазовом пространстве.

23. Методы исследования физико-химических систем с понижением их размерности: параметры порядка и принцип подчинения; отображение Пуанкаре.

24. Элементы теории хаоса. Понятие странного аттрактора. Сценарий образования странного аттрактора в системе Лоренца.

25. Порядок и хаос в одномерных отображениях. Бифуркация удвоения периода.

26. Теория универсальности Фейгенбаума. Сценарий образования странного аттрактора в модели Рёсслера.

27. Алгоритм пропорциональной обратной связи для управления хаотическими колебаниями. Показатели Ляпунова. Связь показателей Ляпунова с типами аттракторов.

**7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих**

### **этапы формирования компетенций.**

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 20 баллов,
- выполнение лабораторных заданий (допуск, выполнение, сдача работ) – 60 баллов,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 20 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

письменная контрольная работа - 100 баллов

*Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценка по дисциплине не может быть выставлена.*

### **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины:**

а) основная литература:

1. Кольцова Э.М., Гордеев Л.С. Методы синергетики в химии и химической технологии. М.: Химия, 1999. 256 с.
2. Кольцова Э.М., Третьяков Ю.Д., Гордеев Л.С., Вертегел А.А. Нелинейная динамика и термодинамика необратимых процессов. М.: Химия, 2001. 408 с.
3. Пригожин И.Р. От существующего к возникающему. М.: Наука, 1985. 327 с.
4. Холодниок М., Клич А., Кубичек М., Марек М. Методы анализа нелинейных динамических моделей. М.: Мир, 1991. 365 с.
5. Moodle [Электронный ресурс]: система виртуального обучения: [база данных] / Даг. гос. ун-т. – Махачкала, г. – Доступ из сети ДГУ или, после регистрации из сети ун-та, из любой точки, имеющей доступ в интернет. – URL: <http://moodle.dgu.ru/>.

б) дополнительная литература

5. Гленсдорф П., Пригожин И.Р. Термодинамическая теория структуры устойчивости и флуктуации. М.: Мир, 1973. 432 с.
6. Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Кольцова Э.М. Системный анализ химической технологии. Энтропийный и вариационный методы неравновесной термодинамики в задачах химической технологии. М.: Наука, 1988. 367 с.
7. Качественная теория с приложениями. М.: Мир, 1986. 243 с.
8. Малинецкий Г.Г. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. М.: Наука, 1997.

### **9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

**Электронные учебные ресурсы:**

1. eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]: электронная библиотека / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 1999. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>. – Яз. рус., англ.
2. Электронный каталог НБ ДГУ [Электронный ресурс]: база данных

содержит сведения о всех видах лит, поступающих в фонд НБ ДГУ/Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2010 – Режим доступа: <http://elib.dgu.ru>, свободный

3. <https://ibooks.ru/>

4. [www.book.ru/](http://www.book.ru/)

5. Химические серверы ChemWeb, ChemExpress Online, ChemNet.com <http://www.Himhelp.ru>

6. Каталог образовательных интернет-ресурсов <http://www.edu.ru/>

## **10. Методические указания для обучающихся по освоению программы**

Учебный материал по дисциплине дается на лекциях, практических занятиях и прорабатывается в ходе самостоятельной работы.

На лекциях систематически и последовательно излагается материал теоретического характера. Основное внимание при этом уделяется рассмотрению основных (опорных) понятий и теоретических основ молекулярной спектроскопии. При подготовке к лекции целесообразно прочитать материал лекции по любому из рекомендованных в списке литературы учебников. Это существенно помогает продуктивно воспринимать материал лекции и хорошо его законспектировать. После лекции студентам рекомендуется внимательно проработать написанный конспект лекции, непонятые места попытаться уяснить с помощью учебников. Если обучающиеся не могут самостоятельно найти ответы на возникшие вопросы, можно обратиться к лектору или преподавателю на практических занятиях.

Лабораторные занятия. Перед началом лабораторных занятий, студент должен самостоятельно изучить методику выполнения и получить допуск у преподавателя. В ходе лабораторных занятий студент под руководством преподавателя выполняет лабораторные задания, позволяющие закрепить лекционный материал по изучаемой теме, научиться выполнять статистическую обработку полученных данных, научиться работать с методиками, руководящими документами, информацией различного уровня. Студент должен вести активную познавательную работу. Целесообразно строить ее в форме наблюдения, эксперимента и конспектирования. Важно научиться включать вновь получаемую информацию в систему уже имеющихся знаний. Необходимо также анализировать материал для выделения общего в частном и, наоборот. Необходимо обратить внимание обучающихся на выполнение предусмотренных программой заданий в соответствии с тематическим планом, выделение наиболее сложных и проблемных вопросов по изучаемой теме, получение разъяснений и рекомендаций по данным вопросам от преподавателей, проведение самоконтроля путем ответов на вопросы текущего контроля знаний, решения представленных в учебно-методических материалах кафедры задач, тестов по отдельным вопросам изучаемой темы.

Самостоятельная работа студентов способствует более глубокому усвоению изучаемого курса, формированию навыков исследовательской

работы и ориентированию студентов на умение применять теоретические знания на практике. Поэтому только постоянная, систематическая самостоятельная работа обучающихся будет способствовать нормальному усвоению знаний. Формы и виды самостоятельной работы студентов, а также формы их контроля представлены в разделе 6. Результаты самостоятельной работы студентов учитываются при аттестации студента (при сдаче зачета).

#### **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

При проведении занятий используются:

а) технические средства:

компьютерная техника и средства связи (проектор, экран, видеочамера), проводится компьютерное тестирование, демонстрация мультимедийных материалов, информационные справочные системы, электронные версии учебников, пособий, методических разработок, указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы, предусмотренных учебной рабочей программой.

б) программные системы:

операционные системы Microsoft Windows XP, Microsoft Vista;

поисковые системы Yandex, Google, Rambler, Yahoo;

специализированное программное обеспечение СДО Moodle, SunRAV BookOffice Pro, SunRAV TestOfficePro;

программное обеспечение по химии. Пакет офисных приложений OfficeStd 2016 RUS OLP NL Acadmc, Контракт №219-ОА от 19.12.2016 г. с ООО «Фирма АС»..

Acrobat Professional 9 Academic Edition и Acrobat Professional 9 DVD Set Russian Windows ГК №26-ОА от «07» декабря 2009 г

#### **12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО кафедра имеет специально оборудованную учебные аудитории для проведения лекционных, помещения для лабораторных работ на группу студентов из 12 человек и вспомогательное помещение для хранения химических реактивов и профилактического обслуживания учебного и учебно-научного оборудования.

Помещения для лекционных и практических занятий укомплектованы комплектами электропитания ШЭ (220 В, 2 кВт, в комплекте с УЗО), специализированной мебелью и оргсредствами (доска аудиторная для написания мелом и фломастером, стойка-кафедра, стол лектора, стул-кресло, столы аудиторные двухместные (1 на каждые двух студентов), стул аудиторный (1 на каждого студента), а также техническими средствами

обучения (экран настенный с электроприводом и дистанционным управлением, мультимедиа проектор с ноутбуком).

Лабораторные занятия проводятся в специально оборудованных лабораториях с применением необходимых средств обучения (лабораторного оборудования, образцов, нормативных и технических документов и т.п.). Помещения лабораторных практикумов укомплектованы специальной учебно-лабораторной мебелью (в том числе столами с химически стойкими покрытиями), учебно-научным лабораторным оборудованием, измерительными приборами и химической посудой, в полной мере обеспечивающими выполнение требований программы по неорганической химии. Материально-технические средства для проведения лабораторного практикума по дисциплине неорганическая химия включает в себя: специальное оборудование (комплект электропитания ЩЭ, водоснабжение), лабораторное оборудование (лабораторные весы типа ВЛЭ 250 и ВЛЭ 1100, кондуктометр, термометры, рН-метры, печи трубчатая и муфельная, сушильный шкаф, устройство для сушки посуды, дистиллятор, очки защитные, колбонагреватели, штативы лабораторные, штативы для пробирок), Лабораторная посуда (Стаканы (100, 250 и 500 мл), колбы конические (100 мл), колбы круглодонные (250 мл) колбы плоскодонные (100, 250 и 500 мл), колбы Вюрца (250 и 100 мл), цилиндры мерные (100, 25 и 50 мл), воронки капельные, химические, воронки для хлора, воронки Мюнке, промывалки, U-образные трубки, реакционные трубки, фарфоровые чашки, тигли фарфоровые, холодильники прямой, обратный, воронки лабораторные, дефлегматоры), специальная мебель и оргсредства (доска аудиторная для написания мелом и фломастером, мультимедиа проектор (переносной) с ноутбуком, экран, стол преподавателя, стул-кресло преподавателя, столы лабораторные прямоугольного профиля с твердым химическим и термически стойким покрытием, табуреты, вытяжные шкафы лабораторные, мойка).

При проведении занятий используется учебное и лабораторное оборудование: Атомно-абсорбционный спектрометр, Contr AA-700, AnalytikJena, Германия; Спектрофотометр UV-3600 с интегрирующей сферой LISR-3100, UV-3600, Япония; Многоцелевой экспериментальный масс-спектрометрический комплекс ЭМК, Россия; Рентген-флуоресцентный спектрометр EDX-800 HS, Япония; ИК-Фурье спектрометр ИнфраЛЮМ ФТ-02, Россия; Спектрофлуориметр F-700, Япония; Спектрофотометр, SPECORD 210 PlusBU, AnalytikJena, Германия; Спектрометрический комплекс МДР-41 в комплекте с азотным проточным криостатом OptCryo198, Россия; Микроволновая система минерализации проб под давлением, TOPwaveIV, AnalytikJena, Германия; Система капиллярного электрофореза, Капель-105М, ЛЮМЕКС, Санкт-Петербург; Рентгеновский дифрактометр, EmpyreanSeries 2 Фирма Panalytical (Голландия); Дифференциальный сканирующий калориметр, NETZSCH STA 409 PC/PG, Германия; Лабораторная экстракционная система, SFE1000M1-2-FMC-50, Waters, США; Хромато-

масс-спектрометр, 7820 Маэстро, США, Россия; Высокоэффективный жидкостной хроматограф, Agilent 1220 Infinity, США.