

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,  
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«20» мая 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Структурообразование и самоорганизация**

**Уровень высшего образования:**  
Специалитет

---

**Направление подготовки (специальность):**  
04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Химия твердого тела

**Форма обучения:**  
очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протокол №3 от 13.05.2019)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1770 (с изменениями по приказу № 1109 от 11.09.2019).

Год (годы) приема на обучение 2019/2020

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок ПД.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Индикатор достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<b>СПК-1.С.</b> Способен использовать современную теорию строения твердых тел, представления о взаимосвязи электронного строения, кристаллической структуры и физических свойств твердых тел для синтеза новых веществ и материалов с заданными свойствами	<b>СПК-1.С.1.</b> объясняет физические свойства твердых тел на основе информации об их электронном строении и кристаллической структуре	<b>Знать:</b> Современные теории, описывающие структуру, электронное строение и свойства твердых тел. <b>Уметь:</b> Находить взаимосвязи между составом, строением, физическими и химическими свойствами твердых тел и объяснять их..

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

*Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 42 часа составляет контактная работа студента с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 18 часов занятия семинарского типа, 2 часа – групповые консультации, 2 часа – текущий контроль успеваемости, 2 часа – промежуточный контроль успеваемости), 30 часов составляет самостоятельная работа учащегося.*

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Обучающийся должен

**Знать:** общие положения, законы и теории неорганической химии, физической химии, химии твердого тела, основы термодинамики фазовых равновесий.

**Уметь:** составлять и анализировать простейшие термодинамические и кинетические модели химических процессов.

**Владеть:** навыками физико-математического моделирования свойств химических объектов и процессов с их участием.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1. Базовые понятия теории самоорганизации.	<b>12</b>	4	4				<b>8</b>	4		<b>4</b>
Тема 2. Простейшие модели диссипативных процессов.	<b>12</b>	4	4				<b>8</b>	4		<b>4</b>
Тема 3. Протекание химических процессов в колебательном режиме.	<b>12</b>	4	4				<b>8</b>	4		<b>4</b>
Тема 4. Пространственно-временные структуры.	<b>22</b>	6	6			2	<b>14</b>	8		<b>8</b>
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	<b>14</b>			2		2	<b>4</b>	10		<b>10</b>
<b>Итого</b>	<b>72</b>	18	18	2		4	<b>42</b>	30		<b>30</b>

Содержание тем:

**Тема 1. Базовые понятия теории самоорганизации.** Устойчивое и неустойчивое равновесие, диссипация, аттрактор и его область притяжения, бифуркация. И.Р. Пригожин и теория диссипативных структур. Примеры самоорганизации: ячейки Бенара, лазер, реакция Белоусова-Жаботинского. Термодинамические потенциалы. Обратимые и необратимые процессы. Изменение энтропии в необратимых процессах. Неравновесное стационарное состояние. Неравновесная термодинамика. Кинетические уравнения.

**Тема 2. Простейшие модели диссипативных процессов.** Системы с одной степенью свободы. Контрольный параметр. Автокаталитическая реакция. Нелинейные кинетические уравнения. Теория устойчивости состояний по Ляпунову. Автокаталитическая реакция в изолированной и открытой системах. 1-ая модель Шлегля. Логистическое уравнение (уравнение ограниченного роста). 2-ая модель Шлегля. Гистерезис. Система с двумя стационарными состояниями. Системы с двумя степенями свободы. Фазовая плоскость. Классификация особых точек. Предельный цикл. Модель Лотка-Вольтерра – пример простейшего колебательного режима.

**Тема 3. Протекание химических процессов в колебательном режиме.** Бифуркация Хопфа. Брюсселятор (тримолекулярная модель) – простейшая химическая модель, обладающая устойчивым колебательным режимом. Необходимость кубической нелинейности для возникновения предельного цикла. Модель Шнакенберга. Реакция Белоусова-Жаботинского. Орегонатор. Автоколебательные химические и биологические системы. Классификация биоритмов

**Тема 4. Пространственно-временные структуры.** Активно распределенные системы. Пространственные структуры. Реакционно-диффузионные системы. Пространственно-временные структуры, существующие в живой и неживой природе. Искусственные структуры. Диффузия в одномерной трубке. Модель Тьюринга. Условия возникновения колебательных и пространственных структур в реакционно-диффузионных системах. Неустойчивость Тьюринга. Брюсселятор с учетом диффузии. Модель Лоренца. Аттрактор Лоренца. Странный аттрактор. Тепловой хаос. Детерминированный хаос. Свойства странного аттрактора. Показатели Ляпунова. Фракталы, фрактальная размерность. Сценарии перехода к хаотическому режиму. Детерминированный хаос в реальных системах. Временная иерархия процессов. Быстрые и медленные моды. Метод стационарных концентраций. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Ограничения по субстрату. Разностные уравнения.

6. Образовательные технологии.

Проводятся традиционные лекции с использованием мультимедийных презентаций.

7. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Студентам предоставляется программа курса, план занятий и перечень заданий для самостоятельной работы. По каждой теме указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы, а также из интернет-ресурсов. Дополнительные материалы размещаются на сайте кафедры общей химии: [www.chem.msu.ru/rus/teaching/general-spec.html](http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/general-spec.html)

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

## Основная литература

1. Структурная самоорганизация в растворах и на границе раздела фаз. Ред. А.Ю. Цивадзе. – М.: ЛКИ, 2008. – 544 С.
2. Кудрявцев И.К. Химические нестабильности. М.: Изд-во МГУ, 1987.
3. Ванг В.К. Диссипативные структуры в реакционно-диффузионных системах. Эксперимент и теория. М.: РХД, 2008.

## Дополнительная литература

1. Allen M.P., Tildesley D.J. Computer simulation of Liquids, Clarendon Press, Oxford, 1987.
  2. Бутягин П. О. Химическая физика твердого состояния. М.: изд-во МФТИ, 1991.
- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):
    1. Сайт по синергетике чл.-корр. РАН С.П. Курдюмова: [www.spkurdyumov.ru](http://www.spkurdyumov.ru)
    2. Springer Materials Landolt-Börnstein Database: [www.springermaterials.com/docs/index.html](http://www.springermaterials.com/docs/index.html)
  - Описание материально-технической базы.  
Занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным экраном и персональными компьютерами.

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели:

к.ф.-м.н., в.н.с. Кудрявцев Игорь Константинович, [ikk\\_49@mail.ru](mailto:ikk_49@mail.ru), 8(495)939-13-27.

### Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачета. На зачете проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п. 2. Текущий контроль за освоением материала осуществляется путем опроса на семинарах, проверки домашних заданий.

### Демонстрационные варианты домашних заданий:

1. Опишите процесс зародышеобразования методами неравновесной термодинамики.
2. Проверьте возможность появления бифуркаций термодинамических ветвей в заданной системе

3. Найдите устойчивое стационарное решение заданной системы дифференциальных уравнений.
4. Разберите примеры образования структур Тьюринга.

**Примерный перечень вопросов к зачету:**

1. Качественное описание процессов, происходящих в ячейках Бенара.
2. Интенсивные и экстенсивные термодинамические переменные и их качественное различие.
3. Энтропия, ее связь со степенью упорядоченности системы.
4. Второе начало термодинамики. Стрела времени.
5. Равновесное и неравновесное состояния. Обратимые и необратимые процессы.
6. Термодинамические потенциалы.
7. Состояние термодинамического равновесия и неравновесное стационарное состояние.
8. Системы с одной степенью свободы. Мономолекулярная реакция. Возможно ли возникновение структурированного состояния?
9. Необходимые условия возникновения диссипативных структур.
10. Кинетика автокаталитической реакции.
11. Динамика численности популяции. 1-ая модель Шлегля.
12. Логистическое уравнение. Ограничение роста по Ферхюльсту.
13. Бифуркации и возникновение диссипативных структур.
14. Множественные стационарные состояния. Бистабильность.
15. 2-ая модель Шлегля и гистерезис.
16. Система с двумя степенями свободы. Фазовая плоскость и особые точки.
17. Аттрактор. Область притяжения аттрактора.
18. Устойчивость состояний. Теория устойчивости по Ляпунову.
19. Модель Лотка-Вольтерра. Являются ли колебания, существующие в системе, независимыми от начальных условий?
20. Центр и предельный цикл. В чем разница между соответствующими колебательными режимами?
21. Брюсселятор. Необходимость тримолекулярной реакции.
22. Реакция Белоусова-Жаботинского и орегонатор.
23. Реакционно-диффузионные системы. Классификация возникающих структур.
24. Модель Тьюринга. Неустойчивость Тьюринга.
25. Состояния, возникающие в системе, описываемой брюсселятором, при учете диффузии.
26. Структуры, возникающие в неживой и в живой природе.

27. Модель Лоренца. Странный аттрактор.
28. Горизонт событий. Множественные бифуркации. Переход к хаотическому режиму.
29. Основные особенности хаотических режимов. Детерминированный хаос.
30. Фракталы. Дробная размерность.
31. Иерархия временных процессов.
32. Закон больших чисел. Коррелированное и некоррелированное поведение групп людей.
33. Проблемы оптимального производства. Модель Менша.
34. Хронофармакология и хронотерапия.
35. Формирование наноструктур, наноструктурированные материалы.

### Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков приведена в таблице ниже:

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка \ Результат	2	3	4	5
Знания	Обрывочные знания или их отсутствие	В целом систематические, но неглубокие знания со значительными пробелами	Систематические, общие, но недостаточно структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отдельные умения или их отсутствие	В целом систематическое, но ограниченное умение, успешное только в простейших ситуациях	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отдельные навыки или их отсутствие	Шаблонные навыки, пригодные для решения простейших задач	В целом сформированные навыки, но не все в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении различных задач

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
<b>Знать:</b> современные теории, описывающие структуру, электронное строение и свойства твердых тел.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на промежуточной аттестации
<b>Уметь:</b> находить взаимосвязи между составом, строением, физическими и химическими свойствами твердых тел и объяснять их.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на промежуточной аттестации