

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОГЛАСОВАНО**

**Заведующий кафедрой**

**Кафедра физической и  
неорганической химии  
(ФиНХ\_ХМФ)**

наименование кафедры

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий ОП ВО

**УТВЕРЖДАЮ**

**Заведующий кафедрой**

**Кафедра физической и  
неорганической химии  
(ФиНХ\_ХМФ)**

наименование кафедры

**доцент, канд.хим.наук Денисова  
Л.Т.**

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий дисциплину

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЦИКЛ  
КИНЕТИКА ГЕТЕРОГЕННЫХ  
ПРОЦЕССОВ**

Дисциплина Б1.В.01.06 ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЦИКЛ  
Кинетика гетерогенных процессов

Направление подготовки / 04.04.01 Химия, 04.04.01.07 Физическая  
специальность химия

Направленность  
(профиль)

Форма обучения

очная

Год набора

2020

Красноярск 2021

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования с учетом профессиональных стандартов по укрупненной группе

040000 «ХИМИЯ»

---

Направление подготовки /специальность (профиль/специализация)

Направление 04.04.01 Химия, 04.04.01.07 Физическая химия

---

Программу  
составили

к.х.н., доцент, Шубин Александр  
Анатольевич; к.х.н., доцент, Иртыго Лилия  
Александровна

---

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины

Основной целью курса "Кинетика гетерогенных процессов" дать теоретические представления и практические навыки анализа кинетики различных типов гетерогенных процессов.

Осуществляется ознакомление с общими принципами кинетики твердофазных реакций. Даются методы описания кинетики топохимических реакций, основанные на геометрических подходах и на представлении о независимости процессов зарождения и роста зародышей новой фазы, границы применимости известных кинетических моделей.

Особое внимание уделено проблеме корректного выбора модели и однозначности определения скоростей реакций.

Часть курса ориентирована на рассмотрение особенностей протекания твердофазных реакций, контролируемых диффузией. Рассматриваются кинетические подходы к анализу кинетики твердофазных реакций, протекающих в условиях импульсной активации (механохимической, радиационно-термической).

### 1.2 Задачи изучения дисциплины

Для достижения поставленной цели выделяются задачи курса:

- ознакомление слушателей с теорией в рамках программы курса;
- обучение работе с литературными источниками;
- обучение слушателей пользоваться полученными знаниями при решении практических задач.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

|  |  |
|--|--|
| <b>ПК-1:Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках</b> |  |
| Уровень 1  | методы решения научно-исследовательских задач в области физической химии                               |
| Уровень 1  | планировать физико-химический эксперимент  |
| Уровень 1  | методами планирования эксперимента и решения научно-исследовательских задач в области физической химии |
| <b>ПК-4:Способен выбирать обоснованные подходы к синтезу и анализу свойств полифункциональных материалов с заданными физико-химическими свойствами</b>                                   |  |
| Уровень 1  | основные методы синтеза и анализа многофункциональных  |

|           |   |
|-----------|---|
|           | материалов с заданными физико-химическими свойствами  |
| Уровень 1 | выбирать методы синтеза и анализа многофункциональных материалов с заданными физико-химическими свойствами    |
| Уровень 1 | основными методами синтеза и анализа многофункциональных материалов с заданными физико-химическими свойствами |

#### 1.4 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Кинетика гетерогенных процессов» опирается на следующие дисциплины:

Кристаллохимия  
 Строение вещества  
 Химическая кинетика  
 Физика твердого тела  
 Химическая термодинамика  
 Введение в химию поверхностных явлений  
 Общая и неорганическая химия  
 Актуальные задачи современной химии  
 Компьютерные технологии в науке и образовании  
 Математический и естественнонаучный цикл  
 Методология научного творчества  
 Микроскопические методы анализа  
 Спец практикум по физической химии  
 Реакции твердых тел  
 Современные методы и средства определения состава вещества  
 Супрамолекулярная химия  
 Теория растворов  
 Физическая химия композиционных материалов  
 Физическая химия наноструктурированных систем  
 Химия новых материалов и нанотехнологии  
 Высокотемпературная физическая химия  
 Избранные главы физической химии  
 Математический и естественнонаучный цикл  
 Метрологические основы химического анализа  
 Прикладная термодинамика и термодинамика гетерогенных систем  
 Современная химия и химическая безопасность  
 Современные химические технологии  
 Физическая химия материалов электронной техники

Дисциплина «Кинетика гетерогенных процессов» является базой для следующих дисциплин:

преддипломная практика

химико-технологическая практика

Актуальные задачи современной химии

Компьютерные технологии в науке и образовании

Математический и естественнонаучный цикл

Методология научного творчества

Микроскопические методы анализа

Спец практикум по физической химии

1.5 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

## 2. Объем дисциплины (модуля)

| Вид учебной работы                         | Всего,<br>зачетных<br>единиц<br>(акад.час) | Семестр         |
|--|--|-----------------|
|  |  | 3               |
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b>       | <b>4 (144)</b>                             | <b>4 (144)</b>  |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b> | <b>1,5 (54)</b>                            | <b>1,5 (54)</b> |
| занятия лекционного типа                   | 0,5 (18)                                   | 0,5 (18)        |
| занятия семинарского типа                  |  |                 |
| в том числе: семинары                      |  |                 |
| практические занятия                       | 0,5 (18)                                   | 0,5 (18)        |
| практикумы                                 |  |                 |
| лабораторные работы                        | 0,5 (18)                                   | 0,5 (18)        |
| другие виды контактной работы              |  |                 |
| в том числе: групповые консультации        |  |                 |
| индивидуальные консультации                |  |                 |
| иная внеаудиторная контактная работа:      |  |                 |
| групповые занятия                          |  |                 |
| индивидуальные занятия                     |  |                 |
| <b>Самостоятельная работа обучающихся:</b> | <b>1,5 (54)</b>                            | <b>1,5 (54)</b> |
| изучение теоретического курса (ТО)         |  |                 |
| расчетно-графические задания, задачи (РГЗ) |  |                 |
| реферат, эссе (Р)                          |  |                 |
| курсовое проектирование (КП)               | Нет  | Нет             |
| курсовая работа (КР)                       | Нет  | Нет             |
| <b>Промежуточная аттестация (Экзамен)</b>  | <b>1 (36)</b>                              | <b>1 (36)</b>   |

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

| № п/п | Модули, темы (разделы) дисциплины                            | Занятия лекционного типа (акад. час) | Занятия семинарского типа                       |  | Самостоятельная работа, (акад. час) | Формируемые компетенции |
|-------|--|--------------------------------------|---|--|-------------------------------------|-------------------------|
|       |  |                                      | Семинары и/или Практические занятия (акад. час) | Лабораторные работы и/или Практикумы (акад. час) |                                     |                         |
| 1     | 2  | 3                                    | 4   | 5  | 6                                   | 7                       |
| 1     | Основы формальной кинетики и кинетики гетерогенных процессов | 10                                   | 10  | 0  | 28                                  | ПК-1 ПК-4               |
| 2     | Процессы на поверхности раздела фаз                          | 8                                    | 8   | 18   | 26                                  | ПК-1 ПК-4               |
| Всего |  | 18                                   | 18  | 18   | 54                                  |                         |

#### 3.2 Занятия лекционного типа

| № п/п | № раздела дисциплины | Наименование занятий  | Объем в акад. часах |                                    |                                  |
|-------|----------------------|---|---------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|       |                      |   | Всего               | в том числе, в инновационной форме | в том числе, в электронной форме |
| 1     | 1                    | Введение. Общие принципы формулирования кинетических уравнений. Температурная зависимость скорости реакций. | 4                   | 1                                  | 0                                |
| 2     | 1                    | Адсорбционные и диффузионные составляющие гетерогенного процесса.   | 6                   | 2                                  | 0                                |

|       |   |  |    |   |   |
|-------|---|--|----|---|---|
| 3     | 2 | Морфологические модели образования и роста зародышей   | 4  | 2 | 0 |
| 4     | 2 | Анализ кинетики различных типов гетерогенных процессов | 4  | 2 | 0 |
| 5     | 2 |  | 0  | 0 | 0 |
| Всего |   |  | 18 | 7 | 0 |

### 3.3 Занятия семинарского типа

| № п/п | № раздела дисциплины | Наименование занятий   | Объем в acad. часах |                                    |                                  |
|-------|----------------------|--|---------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|       |                      |  | Всего               | в том числе, в инновационной форме | в том числе, в электронной форме |
| 1     | 1                    | Формальная кинетика, температурная зависимость скорости реакции  | 4                   | 0                                  | 0                                |
| 2     | 1                    | Адсорбция, диффузия, теория подобия  | 6                   | 0                                  | 0                                |
| 3     | 2                    | Кинетические параметры зародышеобразования в жидкой и твердой фазах. Скорость зародышеобразования в гетерогенных реакциях. | 4                   | 0                                  | 0                                |
| 4     | 2                    | Изучение кинетики твердофазных реакций, реакций окисления, процессов растворения, испарения.                               | 4                   | 0                                  | 0                                |
| Всего |                      |  | 18                  | 0                                  | 0                                |

### 3.4 Лабораторные занятия

| № п/п | № раздела дисциплины | Наименование занятий                                   | Объем в acad. часах |                                    |                                  |
|-------|----------------------|--|---------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|       |                      |  | Всего               | в том числе, в инновационной форме | в том числе, в электронной форме |
| 1     | 2                    | Определение режима взаимодействия твердое тело-раствор | 6                   | 0                                  | 0                                |
| 2     | 2                    | Изучение кинетики топохимических реакций               | 4                   | 0                                  | 0                                |
| 3     | 2                    | Изучение кинетики процессов травления                  | 4                   | 0                                  | 0                                |



|   |   |                                      |    |   |   |
|---|---|--------------------------------------|----|---|---|
| 4 | 2 | Изучение кинетики окисления металлов | 4  | 0 | 0 |
|   |   |                                      | 18 | 0 | 0 |

## 5 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

## 6 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

| 6.1. Основная литература       |   |  |                               |
|--------------------------------|---|--|-------------------------------|
|                                | Авторы, составители                             | Заглавие   | Издательство, год             |
| Л1.1                           | Франк-Каменецкий Д. А.                          | Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике: [учебник-монография]   | Долгопрудный: Интеллект, 2008 |
| Л1.2                           | Ярославцев А. Б.                                | Химия твердого тела: монография  | Москва: Научный мир, 2009     |
| Л1.3                           | Кнотько А. В., Пресняков И. А., Третьяков Ю. Д. | Химия твердого тела: учебное пособие по специальности 020101 (011000) "Химия"  | Москва, 2006                  |
| 6.2. Дополнительная литература |   |  |                               |
|                                | Авторы, составители                             | Заглавие   | Издательство, год             |
| Л2.1                           | Дельмон Б., Болдырев В. В.                      | Кинетика гетерогенных реакций: перевод с французского  | Москва: Мир, 1972             |
| Л2.2                           | Розовский А. Я., Колбановский Ю. А.             | Гетерогенные химические реакции. Кинетика и макрокинетика: монография  | Москва: Наука, 1980           |
| Л2.3                           | Продан Е. А., Ермоленко И. Н.                   | Топохимия кристаллов: монография   | Минск: Навука і тэхніка, 1990 |
| 6.3. Методические разработки   |   |  |                               |
|                                | Авторы, составители                             | Заглавие   | Издательство, год             |
| Л3.1                           | Буданов В. В., Ломова Т. Н., Рыбкин В. В.       | Химическая кинетика: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки «Химическая технология», «Биотехнология», «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» | Санкт-Петербург: Лань, 2014   |

## 7 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

|    |                                 |   |
|----|---------------------------------|---|
| Э1 | Бахтина Г.Д. Диффузия. Кинетика | <a href="http://dump.vstu.ru/files/storage/Kafied">http://dump.vstu.ru/files/storage/Kafied</a> |
|----|---------------------------------|---|

|    |   |  |
|----|---|--|
|    | гетерогенных процессов: Методические указания к лекциям по физической химии/ Волгоград. гос.техн. ун-т.– Волгоград, 2011 . – 28 с.  | ry/FAKhP/STUDENTU_obuchayushchihsya_po_FGOS_3/Fizicheskaya_himiy a/1_Metodicheskiy_kompleks/Diffuziya._Kinetika_geterogennyh_processov.pdf |
| Э2 | Химическая кинетика гетерогенных процессов: учебное пособие / А.Н. Дьяченко, В.В. Шагалов; Томский политехнический уни-верситет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 102 с. | <a href="http://portal.tpu.ru/SHARED/s/SHAGALOV/rabota/Tab3/text4.pdf">http://portal.tpu.ru/SHARED/s/SHAGALOV/rabota/Tab3/text4.pdf</a>    |

## 8 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

При реализации программы дисциплины «Кинети гетерогенных процессов» основой организации учебного процесса является системный подход, предполагающий взаимосогласованность содержания курсов, их преемственность и последовательность. Учебные занятия проводятся в виде лекций, практических занятий и самостоятельной работы. Учебные занятия проводятся по расписанию, составляемому на семестр. Для всех видов аудиторных учебных занятий академический час устанавливается 45 минут. Лекции носят установочно-фундаментальный характер, направленный на изучение обучающимися соответствующей темы и содержат основные положения вопросов, составляющих сущность темы, содержат рекомендации по более глубокому самостоятельному изучению темы с помощью литературных источников. На практических занятиях студенты закрепляют навыки, приобретенные на лекциях.

Самостоятельная работа обучающихся предусматривает проработку и закрепление лекционного материала, самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины. Темы для самостоятельного изучения:

1. Химическое равновесие, Термодинамика гетерогенных процессов.
2. Кинетика сложных реакций.
3. Механизм Лэнгмюра-Хиншельвуда.
4. Уравнения связи между критериями подобия.
5. Многокомпонентная диффузия.
6. Гетерогенные процессы на пористой поверхности.
7. Диффузия через мембраны.
8. Неизотермические и другие нестационарные методы в кинетике твердофазных реакций.
9. Реакции с участием конденсированных фаз.

## 10. Особенности описания кинетики механохимических реакций.

Выполнение лабораторных работ проводится в соответствии с требованиями ТБ, группами обучающихся в количестве 2-3 человек, обязательно в присутствии преподавателя и УВП, вследствие повышенной опасности работы в химической лаборатории. Для соответствия между общим количеством обучающихся, одновременно выполняющих эксперимент, и количеством профессорско-преподавательского состава и учебно-вспомогательного персонала, присутствующих в лаборатории, общее количество обучающихся не должно превышать 16 человек в группе.

Для защиты лабораторной работы учащийся должен предоставить преподавателю отчет, оформленный в соответствии с требованиями СФУ и быть готовым ответить на вопросы касающиеся темы работы, а также тем для самостоятельного изучения, выполнения, расчетов и выводов лабораторной работы. Основные требования следующие:

1. Лабораторная работа должна быть оформлена на отдельных листах с указанием ф.и.о. учащегося и номера группы.

2. Отчет должен содержать цель работы, краткое теоретическое введение с формулами, на которые далее будут ссылки при расчетах; результаты опытов и их обработку (все предусмотренные в работе графики, таблицы и расчеты); выводы.

3. Графики должны быть выполнены с соблюдением всех правил их построения карандашом на миллиметровке или графическим редактором на компьютере и представлены на отдельном листе в отчете. Каждый рисунок должен иметь подпись, содержащую всю информацию, необходимую для его восприятия и анализа полученных данных.

4. Отчет, по возможности, должен содержать расчет ошибок определения величин и указания на причины их появления.

Защита лабораторных работ проводится во время аудиторного занятия. Оценка «зачтено» выставляется, если лабораторная работа соответствует требованиям к оформлению с небольшими ошибками; корректно сформулированы цели, выводы им соответствуют; материал изложен логически правильно, применены методы статистики к обработке экспериментального материала, проведено сравнение эксперимента с табличными данными. При ответе на вопросы по теме лабораторной работы и тем для самостоятельного изучения студентом могут быть допущены одна-две неточности или несущественные ошибки. Студент способен аргументировать свои утверждения и выводы, привести практические примеры.

Оценка «незачтено» выставляется, если лабораторная работа не

соответствует требованиям к оформлению; некорректно сформулированы цели и выводы. При ответе на вопросы обнаружено непонимание студентом основного содержания задаваемого вопроса или допущены существенные ошибки, которые студент не смог исправить при наводящих вопросах преподавателя.

При наличии успешно защищенных 4 лабораторных работ учащийся допускается до экзамена.

Экзамен принимается в устной форме. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса из изучаемого курса и одну задачу.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если студент не дал правильные ответы на оба теоретических вопроса и не решил задачу;

оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент дал правильные ответы на теоретических вопросы с большими неточностями, задача решена не полностью;

оценка «хорошо» выставляется при правильном полном ответе на один теоретический вопрос, правильном решении задачи и неполном ответе на второй или при правильном ответе на оба вопроса и неточном решении задачи;

оценка «отлично» выставляется при полных ответах на все теоретические вопросы и правильном решении задачи.

## **9 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

### **9.1 Перечень необходимого программного обеспечения**

|       |  |
|-------|--|
| 9.1.1 | MS Power point, MS Internet explorer, Adobe Reader, Microsoft Office Excel |
|-------|--|

### **9.2 Перечень необходимых информационных справочных систем**

|       |   |
|-------|---|
| 9.2.1 | Научная Электронная Библиотека e-LIBRARY.RU. Полнотекстовая коллекция «Российские академические журналы on-line» (издательство «Наука») включает 139 журналов. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a> . |
| 9.2.2 | Royal Society of Chemistry - журналы открытого доступа. - Режим доступа: <a href="http://pubs.rsc.org">http://pubs.rsc.org</a> .  |
| 9.2.3 | Elsevier - доступ к Freedom Collection издательства Elsevier. - Режим доступа: <a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>  |
| 9.2.4 | Электронная химическая энциклопедия – он-лайн. -Режим доступа: <a href="http://www.xumuk.ru/encyklopedia/">http://www.xumuk.ru/encyklopedia/</a> .  |
| 9.2.5 |   |

## **10 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Аудитория для проведения лекционных и практических занятий, оборудованная ПЭВМ, мультимедийным проектором и экраном. Аудитория для проведения лабораторных занятий. Общелабораторная посуда, оборудование и реактивы.

1 – калориметр лабораторный;

2 – термогравиметрическая установка;

3 – установка для изучения топохимических реакций;

4 – катетометр;

5 – установка для изучения кинетики гетерогенных взаимодействий методом вращающегося диска;

6 – весы электронные лабораторные;

7 – эвдиометр.

Выполнение лабораторных работ проводится в соответствии с требованиями ТБ, группами обучающихся в количестве 2-3 человек, обязательно в присутствии преподавателя и УВП, вследствие повышенной опасности работы в химической лаборатории. Для соответствия между общим количеством обучающихся, одновременно выполняющих эксперимент, и количеством профессорско-преподавательского состава и учебно-вспомогательного персонала, присутствующих в лаборатории, общее количество обучающихся не должно превышать 16 человек в группе.