

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Химический институт им. А.М. Бутлерова



*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Химия твердого тела

Направление подготовки: 04.03.01 - Химия

Профиль подготовки: Химия

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

### Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): доцент, к.н. Ханнанов А.А. (Кафедра неорганической химии, Химический институт им. А.М. Бутлерова), AANannanov@kpfu.ru

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1	Способен использовать полученные знания теоретических основ фундаментальных разделов химии при решении профессиональных задач

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основы строения твердых тел, симметрии кристаллов, методы синтеза твердых веществ, механизмы твердофазных реакций; типы и природу фазовых превращений твердых тел, типы и роль дефектов в твердых телах, взаимосвязи между структурой и свойствами кристаллов, магнитные, электрические, диэлектрические и оптические свойства кристаллов.

Должен уметь:

ориентироваться в систематике структур неорганических соединений, структурах органических кристаллов, соединений включения и клатратов, аморфных твердых тел, методах исследования твердых тел.

Должен владеть:

навыками применения концепций и методов химии твердого тела к анализу синтезируемых в Химическом институте им. А.М. Бутлерова твердофазных материалов и к обсуждению кристаллохимической информации в книжных и журнальных изданиях.

Должен демонстрировать способность и готовность:

применения концепций и методов химии твердого тела к анализу синтезируемых в Химическом институте им. А.М. Бутлерова твердофазных материалов и к обсуждению кристаллохимической информации в книжных и журнальных изданиях.

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.10.02 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 04.03.01 "Химия (Химия)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 4 курсе в 7 семестре.

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 40 часа(ов), в том числе лекции - 40 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 32 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 7 семестре.

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

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Самостоятельная работа
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практические занятия, всего	Практические в эл. форме	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	
N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практические занятия, всего	Практические в эл. форме	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	Самостоятельная работа
1.	Тема 1. Тема 1: Строение твердых тел. Симметрия кристаллов. Химическая связь в твердых телах.	7	4	0	0	0	0	0	2
2.	Тема 2. Систематика структур неорганических соединений. Силикаты и алюмосиликаты.	7	4	0	0	0	0	0	2
3.	Тема 3. Несвязывающие взаимодействия в ионных кристаллах. Политипизм. Органические кристаллы.	7	2	0	0	0	0	0	2
4.	Тема 4. Соединения включения и клатраты.	7	2	0	0	0	0	0	2
5.	Тема 5. Аморфные твердые тела. Квазикристаллы.	7	2	0	0	0	0	0	2
6.	Тема 6. Квазичастицы в кристаллах: фононы, магноны, экситоны, поляроны, солитоны.	7	2	0	0	0	0	0	2
7.	Тема 7. Тема 2: Методы исследования кристаллов. Рентгеновская, электронная и нейтронная дифракция. Электронная микроскопия. Рентгеновская адсорбционная спектроскопия (EXAFS и XANES).	7	2	0	0	0	0	0	2
8.	Тема 8. Электронная спектроскопия. Спектроскопия ЯМР и ЭПР. Адсорбционная, флуоресцентная, ИК- и КР-спектроскопия. Зондовая микроскопия.	7	2	0	0	0	0	0	2
9.	Тема 9. Тема 3: Методы синтеза твердых веществ. Получение неорганических материалов керамическими, химическими и дуговыми методами, применение высокого давления, настыльного плавления и химического осаждения из газовой фазы.	7	2	0	0	0	0	0	2
10.	Тема 10. Особенности синтеза органических твердых тел. Синтез наноматериалов. Получение аморфных веществ. Общие методы выращивания крупных кристаллов.	7	2	0	0	0	0	0	2
11.	Тема 11. Тема 4: Фазовые превращения. Термодинамика фазовых переходов. Мягкие моды. Критические явления. Структурные изменения при фазовых превращениях. Основные механизмы фазовых переходов.	7	2	0	0	0	0	0	2

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Самостоятельная работа
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практические занятия, всего	Практические в эл. форме	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	
12.	Тема 12. Несоразмерные фазы. Кооперативный эффект Яна-Теллера. Переходы между спиновыми состояниями. Мезофазы. Пластическое кристаллическое состояние. Жидкие кристаллы. Фазовые переходы в стеклах.	7	2	0	0	0	0	0	2
13.	Тема 13. Тема 5: Дефекты в твердых телах. Точечные дефекты. Параэлектрические и молекулярные примеси. Центры окраски. Дислокации. Планарные дефекты.	7	2	0	0	0	0	0	2
14.	Тема 14. Взаимодействие дефектов. Упорядочение точечных дефектов и сверхструктуры. Кристаллографический сдвиг. Блочные и бесконечно адаптивные структуры. Прораствание кристаллов.	7	2	0	0	0	0	0	2
15.	Тема 15. Тема 6: Взаимосвязь между структурой и свойствами кристаллов. Описание электронной структуры твердых тел. Магнитные свойства кристаллов. Электрические свойства твердых тел.	7	2	0	0	0	0	0	2
16.	Тема 16. Сверхпроводимость. Диэлектрические и оптические свойства кристаллов. Переходы металл-неметалл. Смешанно-валентные соединения. Ферроики. Особенности аморфных тел и жидких кристаллов.	7	2	0	0	0	0	0	2
17.	Тема 17. Тема 7: Твердофазные реакции. Классификация твердофазных реакций. Механизмы важнейших твердофазных реакций.	7	2	0	0	0	0	0	0
18.	Тема 18. Диффузия в твердых телах. Кинетические модели и уравнения изотермической кинетики. Активное состояние реагентов и его роль в твердофазных процессах.	7	2	0	0	0	0	0	0
48	<p><b>Содержание дисциплины (модуля)</b></p> <p><b>Тема 1. Тема 1: Сравнение твердых тел. Симметрия кристаллов. Химическая связь в твердых телах.</b></p> <p>Элементарная ячейка. Трансляционные векторы, определяющие ребра и углы между ними. Семь кристаллических систем: кубическая, тетрагональная, орторомбическая, ромбо-эдрическая, гексагональная, моноклинная, триклинная. Понятие симметрии. Точечная симметрия. Элементы и операции точечной симметрии (закрытые операции): собственное вращение, отражение в плоскости симметрии, отражение в центре симметрии (инверсия), несобственное вращение, поворот с инверсией. Обозначение элементов симметрии в системах Шенфлиса и Германа-Могена. Точечная группа. Иерархия точечных групп и распределение их по кристаллическим системам. Голоэдрическая группа. Операция трансляции и открытые операции симметрии. Винтовой оператор и винтовые оси. Оператор скользящего отражения и плоскости a-, b-, c-, n-, d-скольжения. Центрирующий оператор и типы кристаллических решеток: базоцентрированные, гранецентрированные, объемцентрированные и примитивные. Четырнадцать решеток Браве. Пространственная группа. Обозначения пространственных групп. Операция антисимметрии Шубникова. Цветные или магнитные группы.</p>								32

**Тема 2. Систематика структур неорганических соединений. Силикаты и алюмосиликаты.**

Введение в предмет. Типы связи в твердых телах. Ионные кристаллы. Уравнения Борна-Майера и Борна-Ланде. Постоянная Маделунга и маделунговский потенциал ионов. Ко-валентные кристаллы. Алмазоподобные структуры, соединения типа ANB<sub>8</sub>-N. Ионность связи в кристаллах по Полингу и Филлипсу, эвристическое значение параметра ионности. Металлические кристаллы. Основы зонной теории. Молекулярные кристаллы. Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия. Энергии Кeesома, Дебая, Лондона. Потенциал Леннарда-Джонса. Парные атом-атомные потенциалы Китайгородского. Кристаллы с водородной связью, значение водородной связи в живой природе. Асимметричные и симметричные водородные связи, способы их описания.

### **Тема 3. Несвязывающие взаимодействия в ионных кристаллах. Политипизм. Органические кристаллы.**

Модель жестких сфер. Кубическая и гексагональная плотнейшие упаковки. Объемноцентрированная плотная упаковка. Структуры металлических элементов, особенности структур Hg, Cd и Zn. Структуры неметаллических и полуметаллических элементов. Элементы VIII группы. Элементы VII группы. Элементы VI группы. Элементы V группы. Элементы IV группы. Структуры бора. Структуры неорганических соединений. Модель плотнейшей упаковки ионов. Ограничения ионной модели: некорректность использования универсальных ионных радиусов и концепция электростатической силы связи Полинга; явление эквации. Структуры соединений типа АВ: структура каменной соли (хлорида натрия), структура хлорида цезия, структура цинковой обманки (сфалерита), структура вюрцита, структура арсенида никеля, структура иодида таллия, структуры  $\alpha$ - и  $\beta$ -оксида свинца, структура сульфида ртути (киновари), структура оксида меди(II), структуры оксидов (сульфидов) палладия(II) и платины(II). Структуры соединений типа АВ<sub>2</sub>: структура флюорита (фторида кальция), антифлюоритная структура, структура рутила (оксида титана(IV)), структуры диоксида кремния ( $\beta$ -кристобалита,  $\beta$ -тридимита,  $\beta$ -кварца), структура куприта (оксида меди(I)), структура пирита (дисульфида железа(II)), слоистые структуры иодида кадмия, хлорида кадмия, молибденита (дисульфида молибдена(IV)), иодида ртути(II). Структуры соединений типа А<sub>2</sub>B<sub>3</sub>: ионные структуры - структура корунда (оксида алюминия), структура ильменита (титаната железа(II)), структуры А-, В- и С-редкоземельного оксида, структуры оксида висмута(III), ковалентные структуры - структуры теллурида и сульфида висмута(III).

### **Тема 4. Соединения включения и клатраты.**

Структуры соединений типа АВ<sub>3</sub>: структура оксида рения(VI), структура фторида палладия(III), антиструктура ReO<sub>3</sub>, структура тисонита (LnF<sub>3</sub>, AcF<sub>3</sub>). Структуры соединений типа АВХ<sub>3</sub>: перовскиты. Структуры соединений типа А<sub>2</sub>BХ<sub>4</sub>: K<sub>2</sub>NiF<sub>4</sub>. Структуры соединений типа АВ<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: шпинели и ?обращенные? шпинели. Структуры соединений типа А<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: пироксены. Октаэдрические туннельные структуры: оксидные бронзы, гексагональные и тетрагональные вольфрамовые бронзы, фосфатные вольфрамовые бронзы, титановые бронзы. Ламеллярные (пластинчатые) структуры. Силикаты и алюмосиликаты. Ортосиликаты, пиросиликаты, силикаты с кольцевым ионом Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub><sup>6-</sup>, пироксены, амфиболы. Филлосиликаты, глинистые минералы, каолинит, тальк-пирофиллит, тальк, слюды.

### **Тема 5. Аморфные твердые тела. Квазикристаллы.**

Трехмерные силикаты и алюмосиликаты: полевые шпаты, ультрамарины, цеолиты, со-далитовая клетка, новые аналоги цеолитов, темплатный синтез микропористых и мезо-пористых твердых тел. Изо- и гетерополиметаллаты, структура Кеггина, додека- и ди-гидрододекавольфраматы, анион Дайсона. Несвязывающие взаимодействия в ионных кристаллах. Значение концепции электростатической силы связи для описания структур соединений кремния. Новые взгляды на структуры неорганических твердых тел: структуры конденсированных металлокластеров; структуры, связанные кристаллографическими операциями; структуры из упаковок двумерных плоских сеток (сеток Кагоме); структуры из упаковок стержней или нитей. Возможности метода МО для описания кристаллических структур. Политипизм: политипы ZnS, CdI<sub>2</sub>, PbI<sub>2</sub>, слоистых дихалькогенидов, силикатов, перовскитов.

### **Тема 6. Квазичастицы в кристаллах: фононы, магноны, экситоны, поляроны, солитоны.**

Трехмерные силикаты и алюмосиликаты: полевые шпаты, ультрамарины, цеолиты, со-далитовая клетка, новые аналоги цеолитов, темплатный синтез микропористых и мезо-пористых твердых тел. Изо- и гетерополиметаллаты, структура Кеггина, додека- и ди-гидрододекавольфраматы, анион Дайсона. Несвязывающие взаимодействия в ионных кристаллах. Значение концепции электростатической силы связи для описания структур соединений кремния. Новые взгляды на структуры неорганических твердых тел: структуры конденсированных металлокластеров; структуры, связанные кристаллографическими операциями; структуры из упаковок двумерных плоских сеток (сеток Кагоме); структуры из упаковок стержней или нитей. Возможности метода МО для описания кристаллических структур. Политипизм: политипы ZnS, CdI<sub>2</sub>, PbI<sub>2</sub>, слоистых дихалькогенидов, силикатов, перовскитов.

### **Тема 7. Тема 2: Методы исследования кристаллов. Рентгеновская, электронная и нейтронная дифракция. Электронная микроскопия. Рентгеновская адсорбционная спектроскопия (EXAFS и XANES).**

Четыре основных типа характеристик твердых тел. Оптические методы исследования. Основы дифракционных методов, формула Брэгга-Вульфа, построение обратной решетки. Методы рентгеновской дифракции: метод Лауэ, метод порошка (Дебая-Шеррера-Халла), метод вращающегося кристалла (метод Вейсенберга). Два этапа анализа дифракционной картины: установление параметров элементарной ячейки и определение относительных координат атомов в ячейке. Электронная дифракция и ее преимущества, дифракция низкоэнергетических электронов (LEED). Нейтронная дифракция и ее преимущества, полнопрофильный анализ Ритвелда, применения нейтронной дифракции. Электронная микроскопия: сканирующая электронная микроскопия, трансмиссионная электронная микроскопия, применение Фурье-преобразования для анализа изображения. Спектроскопия потерь электронной энергии (EELS). Аналитическая микроскопия.



## **Тема 8. Электронная спектроскопия. Спектроскопия ЯМР и ЭПР. Адсорбционная, флуоресцентная, ИК- и КР-спектроскопия. Зондовая микроскопия.**

Рентгеновская адсорбционная спектроскопия (EXAFS и XANES). ЯМР-спектроскопия твердых тел, эксперименты с вращением под магическим углом (MAS NMR). ЭПР-спектроскопия, неорганические и органические спиновые зонды. Электронная спектроскопия (принципы и применения): фотоэлектронная спектроскопия (XPS и UVPS), Оже-спектроскопия (AES), спектроскопия потерь электронной энергии (EELS). Адсорбционная и флуоресцентная спектроскопия в видимой и УФ области, ИК- и КР-спектроскопия, мессбауэровская спектроскопия. Зондовая микроскопия: сканирующая туннельная микроскопия (STM), атомно-силовая микроскопия (AFM).

## **Тема 9. Тема 3: Методы синтеза твердых веществ. Получение неорганических материалов керамическими, химическими и дугowymi методами, применение высокого давления, настыльного плавления и химического осаждения из газовой фазы.**

Синтез новых соединений и создание новых материалов: характерные примеры. Четыре категории синтеза твердых веществ. Значение понимания кристаллохимии для синтеза новых веществ. Керамический метод синтеза твердых веществ. Пути преодоления ограничений керамического метода: 1) метод сушки распылением; 2) метод сушки вымораживанием; 3) метод соосаждения; 4) золь-гель процесс. Применение золь-гель процесса в синтезе материалов для нелинейной оптики, биотехнологии и конверсии солнечной энергии. Использование термодинамического контроля в высокоэнгальпийных реакциях: самораспространяющийся высокотемпературный синтез (SHS), метод сгорания. Химические методы синтеза твердых тел. Методы мягкой химии (soft-chemistry, chimie douce): дегидратация, разложение, редокс-внедрение или -экстракция, ионный обмен, кислотное выщелачивание, синтез гидридов металлов взаимодействием металла с борогидридом, биоминерализация. Метод твердофазного предшественника, использование индивидуальных веществ и твердых растворов. Метод газозофазного предшественника. Мягкие методы синтеза из расплавов: использование низкотплавких полихалькогенидов щелочных металлов и эвтектики из гидроксидов натрия и калия. Метод топохимических редокс-реакций. Стратегии интеркаляции щелочных металлов в слоистые или цепочечные структуры, зависимость координационного окружения от природы металла (Li, Na, K, Cs). Новые стратегии интеркаляции: интеркаляция с поли-меризацией; монодиспергирование с рестэкингом, пиллеринг (pillaring). Метод топохимических ионообменных реакций: протонный обмен и обмен катионов металлов. Методы высокого давления. Гидротермальные (давление 1-10 кбар) синтезы цеолитов, алюмофосфатов, микро- и мезопористых твердых тел, синтезы группы Hausalter'a. Синтезы при повышенном давлении (10-150 кбар) и типы аппаратуры: а) аппаратура поршень-цилиндр; б) аппаратура типа наковальни или противоположных наковален; в) "бэлт"-аппаратура (belt - пояс). Пути снижения свободной энергии реакций под давлением: а) делокализация d-электронов через сближение атомов; б) стабилизация высоко-валентных состояний; в) подавление сегнетоэлектрического смещения катионов; г) изменение предпочтительных позиций катионов; д) снижение поляризации 6s<sup>2</sup>-электронов. Синтезы под высоким давлением веществ с необычными степенями окисления и спиновыми состояниями переходных металлов. Ускорение реакций под давлением.

## **Тема 10. Особенности синтеза органических твердых тел. Синтез наноматериалов. Получение аморфных веществ. Общие методы выращивания крупных кристаллов.**

Получение неорганических материалов дугowymi методами: одnodуговой метод, трехдуговой метод; дуговой транспортный метод, настыльное плавление. Метод химического осаждения из газовой фазы (CVD), преимущества метода. Особенности синтеза органических твердых тел: получение комплексов с переносом заряда, проводящих органических полимеров (полиацетилена, полианилина, полипиррола, политиенилена). Получение и особенности состояния микрочастиц и наноматериалов. Методы синтеза микрочастиц: распыление-высушивание, замораживание-высушивание, золь-гель процесс, жидкое высушивание, пирогель-метод. Методы синтеза нанокластеров: испарение в инертной атмосфере, механическое размельчение, лазерный пиролиз, пиролиз облачка спрея, плазменная техника, химические методы (окисление тонких частиц оксидов, соосаждение, приготовление коллоидных растворов, химическая полимеризация и осаждение, золь-гель-процесс, создание микроэмульсий и мицелл). Особенности синтеза малых частиц металлов: испарение в инертном газе, получение коллоидных металлов восстановлением растворов солей, использование для этих целей электролитов. Методы получения аморфных веществ (стекол): охлаждение переохлажденных жидких фаз (?формование? из расплава, лазерное стеклование), осаждение из газовой фазы, дробление-разупорядочение ударом, разупорядочение облучением (метамиктовые формы), десольватация, гелеобразование. Методы выращивания кристаллов затвердеванием из расплава: метод Чохральского, трехдуговой метод, метод Киропулоса, метод Бриджмэна-Стокбаргера, метод Вернейля, метод плазменной горелки, метод плавающей зоны. Методы кристаллизации из раствора: методы с использованием флюсов, гидротермальные методы кристаллизации из водного раствора с использованием автоклава, метод геля. Электролитический метод выращивания кристаллов. Метод газотранспортных химических реакций (CVT). Метод условной кристаллизации. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии.

## **Тема 11. Тема 4: Фазовые превращения. Термодинамика фазовых переходов. Мягкие моды. Критические явления. Структурные изменения при фазовых превращениях. Основные механизмы фазовых переходов.**

Определение понятия "фазовый переход". Термодинамика фазовых переходов: фазовые переходы первого и второго рода. Теория фазовых переходов Ландау, параметр порядка, изменение симметрии при фазовых переходах. Мягкие моды и роль флуктуаций при фазовых переходах. Спектры рассеяния нейтронов и света вблизи фазовых переходов (центральные пики). Критические явления и критические индексы. Классификация фазовых переходов в терминах размерности системы и параметра порядка. Структурные изменения при фазовых превращениях. Классификация фазовых переходов по Бургеру: а) переходы, затрагивающие первую координационную сферу - реконструктивные (медленные) и дилатационные (быстрые); б) переходы, затрагивающие вторую и последующие координационные сферы - реконструктивные (медленные) и диспласивные (быстрые). Ферро- и антиферродисторсионные переходы. Основные механизмы фазовых переходов: а) переходы зародышеобразования и роста; б) переходы порядок-беспорядок; в) мартенситные переходы. Спинодальное и эвтектичное разложение твердых тел. Особенности фазовых переходов в органических твердых телах, переходы в пара-дихлорбензоле и малоновой кислоте.

## **Тема 12. Несоразмерные фазы. Кооперативный эффект Яна-Теллера. Переходы между спиновыми состояниями. Мезофазы. Пластическое кристаллическое состояние. Жидкие кристаллы. Фазовые переходы в стеклах.**

Несоразмерные фазы. Способы формирования несо-размерности фаз: а) составная несо-размерность; б) диспласивная несо-размерность; в) самоупорядочение дефектов. Образование несо-размерных фаз в модели одномерных металлов Пайерлса-Фрелиха, волны зарядовой плотности (CDW), гигантская аномалия Кона. Несоразмерные фазы в  $K_2Pb[Cu(NO_2)_6]$ ,  $K_2SeO_4$  и монослойных графитовых интеркалатах. Динамический и статический эффекты Яна-Теллера, кооперативный эффект Яна-Теллера. Кооперативный эффект Яна-Теллера в РЗЭ-цирконах, шпинелях и перовскитах. Переходы между спиновыми состояниями в соединениях железа(II, III) и кобальта(III), влияние на температуру перехода давления и допирования. Мезофазы. Пластическое кристаллическое состояние. Жидкие кристаллы: нематические, холестерические и смектические фазы. Особенности смектических фаз. Параметр порядка в жидкокристаллических фазах. Энтальпия перехода в жидкокристаллическое состояние. Квазжидкие кристаллы. Фазовые переходы в стеклах. Температура стеклования ( $T_g$ ) и температура термодинамического перехода в стекла ( $T_o$ ). Парадокс Козмана (Kauzma'n'a) и его решение. Конфигурационная энтропия в стеклах. Стеклокристаллы, дипольные стекла, замороженное жидкокристаллическое состояние. Практическое применение фазовых переходов.

## **Тема 13. Тема 5: Дефекты в твердых телах. Точечные дефекты. Параэлектрические и молекулярные примеси. Центры окраски. Дислокации. Планарные дефекты.**

Четыре типа дефектов в твердых телах. Нестехиометрические соединения и твердые растворы как их модели. Точечные дефекты: пары по Шоттки, дефекты по Френкелю, алиовалентные примеси и их роль в электропроводности. Оценки энергий образования пар по Шоттки и ионной миграции. Равновесие точечных дефектов и квазихимические реакции в применении к оксидам и галогенидам металлов. Параэлектрические и молекулярные примеси. Центры окраски: F-центры,  $F^{+}$ ,  $F^{-}$ ,  $F_2^{-}$ , R- и VK-центры, применение ЭПР для их исследования. Дислокации: краевые и винтовые дислокации. Вектор и контур Бюргерса. Совершенные и несовершенные (частичные) дислокации, частичные дислокации Франка и Шокли. Роль дислокаций в химических реакциях. Планарные дефекты: когерентные, некогерентные и полукogerентные границы раздела. Дефекты упаковки ГЦК или ГПУ, границы двойников, коинсидентные, антифазные и доменные границы.

## **Тема 14. Взаимодействие дефектов. Упорядочение точечных дефектов и сверхструктуры. Кристаллографический сдвиг. Блочные и бесконечно адаптивные структуры. Прораствание кристаллов.**

Упорядочение точечных дефектов и сверхструктуры. Фазы Сузуки. Сверхструктуры халькогенидов и карбидов металлов. Сверхструктуры оксидов титана, ванадия и железа, кластеры Коха-Коуэна. Сверхструктуры на основе флюорита с избытком или дефицитом анионов: кластеры Бевана, кластеры Уиллиса. Кристаллографический сдвиг (cs) по Уодсли: плоскости cs в структурах типа  $ReO_3$  и  $TiO_2$ . Блочные структуры. Блочные структуры оксидов ниобия. Бесконечно адаптивные структуры с плоскостями и без плоскостей кристаллографического сдвига. Прораствание кристаллов: периодическое и непериодическое прораствание. Типы дефектов в перовскитных оксидах  $ABO_3$ : вакансии в позициях А, аниондефицитная и анионизбыточная нестехиометричность.

## **Тема 15. Тема 6: Взаимосвязь между структурой и свойствами кристаллов. Описание электронной структуры твердых тел. Магнитные свойства кристаллов. Электрические свойства твердых тел.**



Четыре модели описания свойств твердых тел. Зонная модель, зоны Бриллюэна, уровень Ферми. Модель локализованных электронов, большие и малые поляроны. Модель химической связи по Гудинафу, энергия переноса ( $bij$ ), концептуальные фазовые диаграммы. Модель кластеров, учет конфигурационных взаимодействий и состояний с переносом заряда. Физические свойства твердых тел: равновесные, стационарные, гистерезисные и не-обратимые. Магнитные свойства твердых тел. Диа- и парамагнетизм, закон Кюри-Вейса (константа Вейса), ван-флековский парамагнетизм, магнетизм Паули. Обменное взаимодействие: прямой и косвенный обмен (суперобмен и обмен по механизму RKKY). Основные типы магнетизма в твердых телах: диамагнетизм, идеальный парамагнетизм, ферро-магнетизм, антиферромагнетизм, ферримагнетизм. Гелимагнетизм, слабый ферромагнетизм, метамагнетизм, суперпарамагнетизм, сперомагнетизм, миктомагнетизм и спиновые стекла. Электрические свойства твердых тел. Проводимость металлов, рассеяние электронов на фононах и дефектах решетки. Проводимость собственных и несобственных полупроводников с делокализованными носителями. Проводимость полупроводников с локализованными носителями (хоппинг малых поляронов). Взаимосвязь между электропроводностью и массопереносом ионов, соотношение Нернста-Эйнштейна, отношение Хавена. Сверхпроводимость. Взаимосвязь между энтропией и электронной теплоемкостью в сверхпроводящем состоянии. Влияние магнитного поля на сверхпроводимость, эффект Мейсснера-Охзенфельда, вихри Абрикосова, особенности фаз Шевреля. Теория сверх-проводимости Бардина-Купера-Шриффера (БКШ), куперовские пары. Высокотемпературные оксидные сверхпроводники: структурные особенности купратных сверхпроводников, механизм сверхпроводимости в купратах.

#### **Тема 16. Сверхпроводимость. Диэлектрические и оптические свойства кристаллов. Переходы металл-неметалл. Смешанно-валентные соединения. Ферроики. Особенности аморфных тел и жидких кристаллов.**

Диэлектрические свойства твердых тел. Поляризация среды, уравнение Клаузиуса-Моссотти, время релаксации Дебая, комплексная диэлектрическая проницаемость, статическая и оптическая диэлектрические константы, закон Кюри-Вейса (температура Кюри). Взаимосвязь между константой распространения электромагнитной волны, диэлектрической проницаемостью среды и действительной и мнимой частью показателя преломления. Оптические свойства твердых тел. Поглощение слабосвязанных электронов (межзонные переходы), поглощение сильносвязанных электронов, переходы от донорных и акцепторных примесей в полупроводниках, полосы поглощения от экситонов, рекомбинация пар электрон-дырка с порождением фонона и люминесценцией. Неупругое рассеяние излучения в твердых телах, эффект Рамана. Лазерное излучение, рубиновый лазер и лазеры на полупроводниковых диодах. Нелинейные зависимости поляризации от электрического поля в лазерных лучах, генерация вторых гармоник ( $\text{KN2PO4}$ ). Переходы металл-неметалл: а) переходы в кристаллах между зонными состояниями с изменениями в структуре; б) моттовский переход между делокализованными и локализованными состояниями в кристаллах; в) андерсоновский переход между делокализованными и локализованными состояниями в некристаллических твердых телах. Андерсоновская локализация, механизм проводимости со скачками переменной длины (VRH). Критерии перехода металл-неметалл по Хаббарду, Мотту и Герцфельду. Смешанно-валентные соединения (СВС). Три класса СВС в зависимости от коэффициента валентной делокализации, соль Крейтца-Таубе (Creutz-Taube). Низкоразмерные твердые тела: цепочечные и слоистые соединения, красная соль Вольфрама. Ферроики: ферроэлектрики (сегнетоэлектрики), ферромагнетики, ферроэластики (сегнетоэластики). Первичные и вторичные ферроики, выражение свободной энергии для ферроиков. Собственные и несобственные ферроики. Ферроэлектрики, пьезоэлектрики, пироэлектрики, антиферроэлектрики, фазовые переходы в титанате бария. Электрооптические материалы, эффекты Покекса и Керра. Особенности жидких кристаллов, анизотропия показателя преломления, диэлектрической константы и ориентационной упругости.

#### **Тема 17. Тема 7: Твердофазные реакции. Классификация твердофазных реакций. Механизмы важнейших твердофазных реакций.**

Типы твердофазных реакций. Лимитирующие стадии твердофазных реакций, эффект Хедвала. Реакции, включающие одну твердую фазу: описание S-образных кинетических зависимостей, уравнения Авраами-Ерофеева и Праута-Томпкинса, примеры топотактических реакций. Реакции твердое-газ: параболический закон скорости и модель Вагнера. Реакции твердое-твердое: реакции присоединения и обмена, кинетика реакций с участием моно- и поликристаллов. Реакции твердое-жидкость: образование слоя на поверхности, растворение в жидкой фазе, процессы интеркаляции. Реакции органических твердых тел: отличие от реакций неорганических твердых тел, фотодимеризация транс-коричных кислот, полимеризация 2,5-дистирилпиразина, полимеризация диацетиленов, асимметрические синтезы в хиральных кристаллах, индуцирование хиральности селективными добавками, стереоспецифические реакции внедрения "гостей" в структуру стероидов, разделение энантиомеров на органических хиральных кристаллах, ускорение реакций под действием внутреннего давления кристалла.

#### **Тема 18. Диффузия в твердых телах. Кинетические модели и уравнения изотермической кинетики. Активное состояние реагентов и его роль в твердофазных процессах. Гетерогенный катализ.**

Управление реакционной способностью органических твердых тел: техника организации кристалла. Гетерогенный катализ: активность и селективность катализатора; катализаторы, диспергированные на подложке; сильное взаимодействие металл-носитель (SMSI). Примеры процессов с гетерогенным катализом: крекинг углеводородов в присутствии водорода, гидродесульфуризация нефти, получение метана из CO и  $\text{H}_2$ , синтез аммиака, синтез Фишера-Тропша (гидрирование CO), окисление CO в автомобильных отходящих газах, полимеризация этилена и пропилена (с катализатором Циглера-Натта), аммоокисление пропилена (механизм реакции с молибдатами висмута). Цеолиты как катализаторы: селективность по реагенту, продукту и переходному состоянию. Особенности катализа пентасилом  $\text{H+ZSM-5}$ .

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

сайт - <http://urai.net.ru/crystal/p21aa1.html>

сайт - [http://www.eunnet.net/metod\\_materials/wm5/symmetry.htm](http://www.eunnet.net/metod_materials/wm5/symmetry.htm)

сайт - <http://cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/102/214.html>

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;
- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

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

1. Сайт Книги по химии - Химия твердого тела - <http://chemistry-chemists.com/Uchebniki/Chemistry-books-Solid-state.html>
2. Сайт Химик. Химия твердого тела - <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4998.html>
3. Сайт "Твердофазные реакции" - [http://pcnasm.narod.ru/solid-phase\\_reactions.pdf](http://pcnasm.narod.ru/solid-phase_reactions.pdf)
4. Сайт "Постнаука. Химия твердого тела" - <http://postnauka.ru/themes/himiya-tverdogo-tela>
5. Сайт Твердофазные реакции - <http://dic.academic.ru/dic.nsf/es/89815/ТВЕРДОФАЗНЫЕ>

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

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	<p>Изучение дисциплины следует начинать с проработки рабочей программы, особое внимание, уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса.</p> <p>Работа с конспектом лекций:</p> <p>Необходимо просматривать конспект сразу после занятий, отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя рекомендуемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь за помощью к преподавателю на консультации или ближайшей лекции. Регулярно отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.</p>
самостоя- тельная работа	<p>Рабочей программой дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;</li> <li>- подготовку к практическим занятиям, лабораторным работам и курсовой работе;</li> <li>- работу с Интернет-источниками;</li> <li>- подготовку к сдаче практических работ, выполнению тестовых заданий и сдаче зачетов и экзаменов.</li> </ul> <p>Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе дисциплины. По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе дисциплины следует сначала прочитать рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса.</p>

Вид работ	Методические рекомендации
зачет	<p>На зачете определяется качество и объем усвоенных студентами знаний, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановки цели и выбору путей ее достижения, а также умение работать с нормативными документами в рамках дисциплины. Он может проводиться в устной или письменной формах. Форму проведения определяет кафедра. Подготовка к зачету - процесс индивидуальный. Тем не менее, существуют некоторые правила, знания которых могут быть полезны для всех. Залогом успешной сдачи зачета является систематическая работа над учебной дисциплиной в течение семестра. Подготовку желательно вести, исходя из требований программы учебной дисциплины. Целесообразно пошаговое освоение материала, выполнение различных заданий по мере изучения соответствующих содержательных разделов дисциплины. Если, готовясь к зачету, вы испытываете затруднения, обращайтесь за советом к преподавателю, тем более что при систематической подготовке у вас есть такая возможность. Готовясь к зачету, лучше всего сочетать повторение теоретических вопросов с выполнением практических заданий. Требования к знаниям студентов определены федеральным государственным образовательным стандартом и рабочей программой дисциплины. Цель зачета - проверка и оценка уровня полученных студентом специальных познаний по учебной дисциплине и соответствующих им умений и навыков, а также умения логически мыслить, аргументировать избранную научную позицию, реагировать на дополнительные вопросы, ориентироваться в массиве информации, дефиниций и категорий. Оценке подлежат правильность и грамотность речи студента, если зачет проводится в устной форме, а также его достижения в течение семестра. Дополнительной целью зачета является формирование у студентов таких качеств, как организованность, ответственность, трудолюбие, самостоятельность. Таким образом, проверяется сложившаяся у студента система знаний по дисциплине, что играет большую роль в подготовке будущего специалиста, способствует получению им фундаментальной и профессиональной подготовки. При подготовке к зачету важно правильно и рационально распланировать свое время, чтобы успеть на качественно высоком уровне подготовиться к ответам по всем вопросам. Во время подготовки к зачету студенты также систематизируют знания, которые они приобрели при изучении основных тем курса в течение семестра. Это позволяет им уяснить логическую структуру дисциплины, объединить отдельные темы в единую систему, увидеть перспективы ее развития. Самостоятельная работа по подготовке к зачету во время сессии должна планироваться студентом, исходя из общего объема вопросов, вынесенных на зачет, так, чтобы за предоставленный для подготовки срок он смог равномерно распределить приблизительно равное количество вопросов для ежедневного изучения (повторения). Важно, чтобы один последний день (либо часть его) был выделен для дополнительного повторения всего объема вопросов в целом. Это позволяет студенту самостоятельно перепроверить усвоение материала.</p>

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

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

#### **12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;

- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 04.03.01 "Химия" и профилю подготовки "Химия".



### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 04.03.01 - Химия

Профиль подготовки: Химия

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

#### Основная литература:

1. Цирельсон, В. Г. Квантовая химия. Молекулы, молекулярные системы и твердые тела : учебное пособие для вузов : учебное пособие / В. Г. Цирельсон. - 5-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2021. - 522 с. - ISBN 978-5-93208-518-9. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/172254> (дата обращения: 21.02.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Гусев, А. И. Нестехиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твердом теле / А. И. Гусев. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 856 с. - ISBN 978-5-9221-0609-2. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2681> (дата обращения: 21.02.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Гельфман, М. И. Неорганическая химия : учебное пособие для вузов / М. И. Гельфман, В. П. Юстратов. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2025. - 528 с. - ISBN 978-5-507-52362-7. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/448709> (дата обращения: 21.02.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Дополнительная литература:

1. Общая и неорганическая химия: учебное пособие для самостоятельной работы студентов / Казан. федер. ун-т; [науч. ред.: д.х.н., проф. Ф. В. Девятков, д.х.н., проф. Н. А. Улахович]. - Казань: [Казанский университет], 2011. - Ч. 1: Общая химия / [сост.: Р. Р. Амиров и др.]. - 2011. - 142 с.
2. Общая и неорганическая химия: учебное пособие для самостоятельной работы студентов / Казан. федер. ун-т; [науч. ред.: д.х.н., проф. Ф. В. Девятков, д.х.н., проф. Н. А. Улахович]. - Казань: [Казанский университет], 2011. - Ч. 2: Химия элементов / [сост.: Г. А. Боос и др.]. - 2011. - 140 с.
3. Колпакова, Н. А. Сборник задач по химической кинетике : учебное пособие / Н. А. Колпакова, С. В. Романенко, В. А. Колпаков. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 280 с. - ISBN 978-5-8114-2394-1. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/212864> (дата обращения: 21.02.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 04.03.01 - Химия

Профиль подготовки: Химия

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2025

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.