

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Химический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«16» июня 2021 г. № 8

Рабочая программа дисциплины

Кристаллохимия

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

04.03.01 - Химия

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Химия и материаловедение

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2021 год

Лист актуализации

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

04 июня 2021г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

_____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

_____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

_____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Кристаллохимия» относится к вариативной части Блока 1 ОПОП по направлению подготовки 04.03.01 «Химия» (Б1.В.04), является обязательной для освоения студентами очной формы обучения на первом году обучения во 2 семестре.

Теоретической базой, необходимой для успешного освоения курса кристаллохимии, являются:

1. Курсы химии, математики и физики, преподаваемые в средних общеобразовательных школах или в средних специальных учебных заведениях химического профиля.
2. Курс строения вещества и раздел аналитической геометрии (часть курса высшей математики), преподаваемые в первом семестре первого курса на химическом факультете ННГУ.

Дисциплина «Кристаллохимия» является основой для дальнейшего успешного освоения студентами дисциплин «Неорганическая химия», «Квантовая химия», «Физические методы исследования», также дисциплин специализации по профилю подготовки «Неорганическая химия» и выполнения научно-исследовательской работы (НИР), курсовой и выпускной квалификационной работы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ОПК-1 Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений	ОПК-1.1. Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов	<i>Владеть алгоритмом составления приводимого представление в заданном базисе и нахождения его разложение на неприводимые представления .</i> <i>Уметь находить элементы симметрии пространственных геометрических фигур и молекул; характеризовать кристалл по его внешней форме, применять теоремы о сочетании закрытых элементов симметрии для поиска производных элементов симметрии,</i> <i>Знать элементы и операции симметрии неперiodических фигур, типы кристаллических решеток Бравэ.</i>	Устный опрос, контрольная работа, экзамен

	ОПК-1.2. Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии	<i>Владеть навыками определения точечных групп симметрии молекул.</i> <i>Уметь выполнять интерпретацию полученного разложения приводимого представления на неприводимые.</i> <i>Знать внешний вид и название простых форм кристаллов.</i>	
	ОПК-1.3. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности	<i>Владеть навыками описания элементарной ячейки кристалла исходя из обозначения пространственной группы.</i> <i>Уметь определять тип гибридизации центрального атома, число нормальных колебания и возможность электронного перехода, пользуясь таблицами характеристик точечных групп,</i> <i>Знать основные понятия геометрической кристаллографии, систему обозначений точечных групп по Шёнфлису, Герману-Могену, систематику кристаллических структур по сингониям, категориям и классам.</i>	
ОПК-6 Способен представлять результаты своей работы в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе	ОПК-6.1. Представляет результаты работы в виде отчета по стандартной форме на русском языке	<i>Владеть навыками построения стереографических проекций элементов симметрии простых форм кристаллов.</i> <i>Уметь графическим способом изображать элементы симметрии</i> <i>Знать способы обозначения элементов симметрии на рисунках, чертежах и проекциях.</i>	Устный опрос, контрольная работа, экзамен
	ОПК-6.2. Представляет информацию химического содержания с учетом требований библиографической культуры	<i>Владеть навыками описания точечных и пространственных групп в соответствии с международной символикой</i> <i>Уметь работать с международными кристаллографическими таблицами</i> <i>Знать основные требования библиографического описания литературных источников.</i>	

	ОПК-6.3. Представляет результаты работы в виде тезисов доклада на русском и английском языке в соответствии с нормами и правилами, принятыми в химическом сообществе	<i>Владеть основными понятиями и определениями кристаллохимии</i> <i>Уметь грамотно и последовательно излагать материал.</i> <i>Знать структуру, используемую при составлении научного текста</i>	
	ОПК-6.4. Готовит презентацию по теме работы и представляет ее на русском и английском языках	<i>Владеть навыками работы с современным компьютерным программным обеспечением.</i> <i>Уметь наглядно представлять теоретический материал</i> <i>Знать международное обозначение элементов симметрии, точечных групп симметрии.</i>	

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения	очно-заочная форма обучения	заочная форма обучения
Общая трудоемкость	___ 4	___ 4	___ ЗЕТ
Часов по учебному плану	144	144	
в том числе			
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа	50	50	
самостоятельная работа	58	58	
Промежуточная аттестация – экзамен	36	36	

3.2. Содержание дисциплины

Тема 1. Понятие о кристаллическом состоянии.

Понятие о кристаллическом состоянии вещества. Периодичность кристаллических структур. Симметрия и дальний порядок. Анизотропия свойств кристаллов. Основные понятия и определения кристаллографии и кристаллохимии.

Тема 2. Симметрия неперриодических фигур и ее описание с позиций теории групп.

Закрытые и открытые операции симметрии. Элементы и операции симметрии неперриодических фигур и их обозначения. Преобразование идентичности. Поворотные оси. Порядок поворотной оси. Центр симметрии и операция инверсии. Плоскость симметрии. Горизонтальные, вертикальные и диагональные плоскости симметрии. Зеркально-поворотные оси. Поворотнo-инверсионные оси. Соответствие порядков зеркально-поворотных и поворотнo-инверсионных осей. Правила ориентации фигуры в пространстве.

Точечные группы симметрии. Понятие группы симметрии. Суперпозиция операций. Обратная операция. Коммутативность и ассоциативность операций симметрии. Таблица группового умножения. Понятие подгруппы. Теоремы о сочетании закрытых операций симметрии. Характеристика важнейших точечных групп симметрии. Система обозначений точечных групп по Шенфлису. Относительное положение задающих элементов симметрии неперриодических фигур. Методика отнесения фигур, предметов и молекул к точечным группам симметрии. Изоморфизм и гомоморфизм групп. Понятие подгруппы. Теорема Лагранжа. Преобразование подобия. Понятие сопряженного элемента. Классы сопряженных элементов.

Представления групп. Матричное представление операций симметрии в базисе декартовой системы координат. Размерность представления. Приводимые и неприводимые представления. Характеры представлений. Обозначение неприводимых представлений по Малликену. Таблицы характеров неприводимых представлений. Свойства неприводимых представлений. Разложение приводимых представлений на неприводимые. Применение других базисов для представлений для описания свойств веществ, определяемых симметрией. Нахождение значений характеров представлений в выбранном базисе. Прямое произведение характеров представлений.

Применение теории групп для характеристики строения и свойств веществ. Отнесение атомных орбиталей к неприводимым представлениям групп. Определение типа гибридизации атомных орбиталей. Описание строения координационных соединений с позиций теории кристаллического поля. Предсказание относительного расположения атомных орбиталей по величине их энергии в поле лигандов различной симметрии. Определение симметрии нормальных колебаний, числа характеристических частот и активности колебательных мод в ИК и КР спектрах. Предсказание вероятности электронных переходов в молекулах и ионах между состояниями заданной симметрии. Понятие эквивалентности атомов, выделение групп эквивалентных атомов. Асимметричные и диссимметричные молекулы. Предсказание оптической активности веществ с позиций симметрии. Предсказание дипольного момента с позиций симметрии частицы.

Тема 3. Симметрия внешней формы кристалла.

Понятие изоэдра и комбинации изоэдров. Простая форма кристалла. Открытые и закрытые простые формы. Описание изоэдров. Моноэдр и диэдры. Призмы, пирамиды, дипирамиды. Трапецоэдры, скаленоедры. Тетраэдры, гексаэдры и простые формы на их основе. Ромбоэдры. Додекаэдры. Определение вида изоэдра по его модели. Обозначение плоскости изоэдра. Зависимость изоэдра от группы симметрии внешней формы и выбора грани. Голоэдрические, гемиедрические, тетартоедрические и огдоэдрические простые формы.

Систематика внешней формы кристалла. Понятие кристаллографического класса с позиций внешней формы кристалла. Объединение кристаллографических классов в сингонии, категории и классы классов. Характеристика кристаллографических классов. Название классов, формулы симметрии по Гроту, обозначение классов по Шенфлису и Герману-

Могену. Отнесение модели изоздра к классам и сингониям. Единичные и полярные направления в кристаллах.

Применение проекций в кристаллографии. Изображение элементов симметрии кристалла на стереографических проекциях. Условные обозначения на стереографических проекциях. Изображение граней кристалла на гномостереографической проекции. Методика построения и чтения проекций. Построение проекций по моделям кристаллов. Определение простой формы кристалла по его гномостереографической проекции.

Тема 4. Внутреннее строение кристалла.

Основные понятия и определения. Кристаллическая решетка. Элементарные решетки Бравэ и принципы их выбора. Типы элементарных решеток. Число частиц, приходящихся на одну элементарную решетку. Отнесение решеток Бравэ к сингониям. Геометрические параметры элементарных ячеек заданной сингонии.

Понятие трансляции. Ограничения, накладываемые трансляцией, на порядок возможных осей симметрии. Взаимодействие трансляции с закрытыми операциями симметрии. Элементы симметрии кристаллических структур. Винтовые оси и их обозначения. Плоскости скользящего отражения и их разновидности. Обозначение плоскостей скользящего отражения.

Пространственные группы симметрии. Обозначения пространственной группы. Порядок следования задающих элементов симметрии в обозначениях пространственных групп заданной сингонии. Нахождение точечной группы, соответствующей заданной пространственной группе. Графики пространственных групп. Правильные системы точек.

Кристаллографические параметры и индексы. Индексы узла. Направление ряда узлов. Индексы семейства плоскостей.

Тема 5. Методы получения монокристаллов.

Понятие монокристалла. Получение монокристаллов из расплава. Тигельные и бестигельные методы. Направленная кристаллизация и зонная плавка. Методы Бриджмена-Стокбаргера, Чохральского, Вернейля. Получение монокристаллов из растворов. Гидротермальный метод. Получение монокристаллов из паровой фазы. Метод Ван-Аркеля и Де-Бура.

Тема 6. Реальные кристаллы и дефекты в них.

Точечные дефекты кристаллов: вакансии (дефекты Френкеля, дефекты Шоттки, примесный атом внедрения, примесный атом замещения). Линейные и объемные дефекты. Дислокации винтовые и краевые. Внешняя граница кристалла как дефект. Некристаллические вещества. Аморфные и стеклообразные вещества. Наноразмерные вещества.

Тема 7. Кристаллохимическое строение веществ.

Кристаллохимическое подобие. Характеристика важнейших структур AX , AX_2 , AX_3 , AXO_3 . Координационный полиэдр и координационное число.

Факторы, определяющие структуру кристалла. Геометрические факторы. Радиусы атомов и ионов. Плотнейшие упаковки. Атомные факторы. Электронное строение. Природа химической связи между атомами. Поляризуемость.

Основные категории кристаллохимии. Морфотропия, структурная гомология, полиморфизм и политипия, изоморфизм.

Тема 8. Методы изучения кристаллов.

Методы, основанные на исследовании внешней формы. Гониометрия и ее применение в минералогии. Травление кристаллов. Методы изучения внутренней структуры кристаллов. Рентгеновская дифрактография. Уравнение Вульфа-Брэгга. Идентификация веществ по дифрактограммам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)		в том числе							
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы						Самостоятельная работа обучающегося	
			из них							
			Занятия лекционного типа		Занятия семинарского типа		Всего			
	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная
Понятие о кристаллическом состоянии	9	9	2	1	1	1	3	3	6	6
Симметрия неперiodических фигур и ее описание с позиций теории групп	12	12	10	10	5	5	15	15	6	6
Симметрия внешней формы кристалла	13	13	6	6	3	3	9	9	7	7
Внутреннее строение кристалла	10	10	4	4	2	2	6	6	7	7
Методы получения монокристаллов	12	12	2	2	1	1	3	3	8	8
Реальные кристаллы и дефекты в них	15	15	2	2	1	1	3	3	8	8
Кристаллохимическое строение веществ	13	13	2	2	1	1	3	3	8	8
Методы изучения кристаллов	13	13	2	2	1	1	3	3	8	8
Контроль самостоятельной работы	2	2			2	2	2	2		
Промежуточная аттестация – экзамен (2 семестр)	36	36								
Итого	144	144	32	32	18	18	50	50	58	58

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Итоговая аттестация осуществляется при проведении экзамена (предполагает выполнение практических заданий).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов может проводиться в учебных аудиториях (лабораториях), в библиотечном читальном зале, и в домашних условиях, с использованием конспектов лекций, методических указаний к работам, специальной и справочной литературы, а также доступом к Интернет-ресурсам.

Формой текущего контроля успеваемости является контрольная работа. Аттестация по итогам освоения дисциплины проходит в форме **экзамена**.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Экзамен по дисциплине «Кристаллохимия» проводится в виде заданий с подготовкой в течение 60 мин и последующим собеседованием. Описание шкал оценивания сформированности компетенций по дисциплине «Кристаллохимия» приведено в таблице.

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценки сформированности компетенций	Индикаторы компетенции (знания, навыки, умения)		
	Полнота знаний	Наличие умений	Наличие навыков
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний из-за отказа обучающегося от ответа.	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений из-за отказа обучающегося от ответа.	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков из-за отказа обучающегося от ответа.
неудовлетворительно	Объем знаний ниже минимальных требований (менее 40 % от объема дисциплины).	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний (более 40 % от объема дисциплины).	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки (не менее 60 % от объема дисциплины).	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания с рядом недочетов.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.

отлично	Уровень знаний в объеме (не менее 80 % от объема дисциплины), соответствующем программе подготовки.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с мелкими недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
превосходно	Уровень знаний в объеме (не менее 90 % от объема дисциплины), соответствующем программе подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме.	Продemonстрирован творческий подход к решению стандартных и нестандартных задач.

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Пользуясь таблицей характеров неприводимых представлений групп, перечислите возможные типы гибридизации атомных орбиталей центрального атома в конкретной молекуле или ионе (молекула и центральный атом в ней указываются в каждом билете)	ОПК-1
2. Пользуясь таблицей характеров неприводимых представлений групп, предскажите возможность электронного перехода из одного состояния в другое состояние в конкретной молекуле или ионе (симметрия исходного и конечного состояний и химическая формула молекулы или иона указываются в каждом билете).	ОПК-1
3. Пользуясь таблицей характеров неприводимых представлений групп, установите число характеристических частот колебаний, активных в ИК- и КР-спектрах конкретной молекулы или иона, и число совпадающих мод (химическая формула молекулы или иона указываются в каждом билете).	ОПК-1
4. Охарактеризуйте кристалл по его внешней форме. Приведите название простой формы. Определите точечную группу, соответствующую голоэдрическому классу симметрии. Приведите обозначения точечной группы по Шенфлису и Герману-Могену, формулу симметрии, сингонию и категорию. Изобразите стереографическую проекцию элементов симметрии этой формы.	ОПК-6
5. Кристаллическая решетка некоторого кристалла характеризуется заданной пространственной группой. Напишите, что обозначает каждый из символов в этой записи. Назовите тип решетки Бравэ, сингонию и точечную группу, соответствующую простой форме этой пространственной группы. Укажите, какие параметры элементарной ячейки принимают тривиальные и нетривиальные значения, какие из них равны друг другу (пространственная группа указывается в каждом билете).	ОПК-6

5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ОПК-1, ОПК-6. Задания контрольной работы для оценки компетенций «ОПК-1».

1. Пользуясь таблицей характеров неприводимых представлений групп, перечислите возможные типы гибридизации атомных орбиталей центрального атома в конкретной молекуле или ионе (молекула и центральный атом в ней указываются преподавателем).

2. Пользуясь таблицей характеров неприводимых представлений групп, предскажите возможность электронного перехода из одного состояния в другое состояние в конкретной молекуле или ионе (симметрия исходного и конечного состояний и химическая формула молекулы или иона указываются преподавателем).

3. Пользуясь таблицей характеров неприводимых представлений групп, установите число характеристических частот колебаний, активных в ИК- и КР-спектрах конкретной молекулы или иона, и число совпадающих мод (химическая формула молекулы или иона указываются преподавателем).

Задания контрольной работы для оценки компетенций «ОПК-6».

1. Охарактеризуйте кристалл по его внешней форме. Приведите название простой формы. Определите точечную группу, соответствующую голоэдрическому классу симметрии. Приведите обозначения точечной группы по Шенфлису и Герману-Могену, формулу симметрии, сингонию и категорию. Изобразите стереографическую проекцию элементов симметрии этой формы.

2. Кристаллическая решетка некоторого кристалла характеризуется заданной пространственной группой. Напишите, что обозначает каждый из символов в этой записи. Назовите тип решетки Бравэ, сингонию и точечную группу, соответствующую простой форме этой пространственной группы. Укажите, какие параметры элементарной ячейки принимают тривиальные и нетривиальные значения, какие из них равны друг другу (пространственная группа указывается преподавателем).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Чупрунов Е. В., Хохлов А. Ф., Фаддеев М. А. Основы кристаллографии: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по физ. и хим. специальностям. - М.: Физматлит, 2006. - 500 с. Режим доступа: <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=377095&DB=1>.
2. Портнов В.Н., Чупрунов Е.В. Возникновение и рост кристаллов.-М., Физматлит, 2006.- 328 с.
Режим доступа: <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=227563&DB=1>.

б) дополнительная литература:

1. Задачи по кристаллографии: учеб. пособие для вузов по физ. и хим. специальностям / Головачев В. П., Сафьянов Ю. Н., Чупрунов Е. В., Фаддеев М. А., Хохлов А. Ф. - М.: Физматлит, 2003. - 208 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=59115&DB=1>.
2. Гусев А. И. Нестехиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твердом теле. - М.: Физматлит, 2007. - 856 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=248871&DB=1>; <http://e.lanbook.com/book/2681>.
3. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П., Загальская Ю.Г. Кристаллография: [учеб. для геол. спец. вузов]. - М.: Изд-во МГУ, 1992. - 287 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=11264&DB=1>.
4. Загальская Ю. Г., Литвинская Г. П., Егоров-Тисменко Ю. К. - Геометрическая кристаллография: [учеб. для геол. спец. вузов]. - М.: Изд-во МГУ, 1986. - 165, [1] с.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=102106&DB=1>.

5. Бокий Г.Б. Кристаллохимия.- М., 1971. – 400 с.
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=405382>
6. Загальская Ю. Г., Литвинская Г. П. Геометрическая микрокристаллография: практический курс : [для геол. спец. вузов]. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. - 238 с.
7. Гусев А.И. / Нестехиометрия и сверхструктуры // УФН. – 2014. – Т. 184. - С. 905–945.
DOI: [10.3367/UFNr.0184.201409a.0905](https://doi.org/10.3367/UFNr.0184.201409a.0905) URL: <http://ufn.ru/ru/articles/2014/9/a/>
8. Гусев А.И. Эффекты нанокристаллического состояния в компактных металлах и соединениях // УФН. –1998. Т. 168. – С. 55–83.
DOI: [10.3367/UFNr.0168.199801c.0055](https://doi.org/10.3367/UFNr.0168.199801c.0055) URL: <http://ufn.ru/ru/articles/1998/1/c/>
9. С.В. Борисов, С.А. Магарилл, Н.В. Первухина / Кристаллографический анализ ряда неорганических соединений // Успехи химии. – 2015. Т. 84, № 4. - С. 393-421.
10. В.К. Иванов, П.П. Федоров, А.Е. Баранчиков, В.В. Осико / Ориентированное сращивание частиц: 100 лет исследований неклассического механизма роста кристаллов // Успехи химии. – 2014. Т. 83, № 12. – С. 1204-1222.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

1. Платформа **Springer Materials**. Режим доступа: <http://materials.springer.com/>
Базы данных по физике, химии и технологиям. Экспертный отбор данных о 250000 веществ из 8000 рецензируемых журналов.

Landolt-Börnstein Database – справочник по химическим и физическим свойствам материалов в 400 томах.

Linus Pauling Files – 255000 документов по фазовым состояниям неорганических материалов.

2. Электронно-библиотечная система "Лань". Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>.
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com. Режим доступа: <http://www.znaniy.com/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Лекционная (вместимость 200 человек) и семинарская (вместимость до 40 человек) аудитории, оборудованные мультимедийным проектором, экраном, ноутбуком и выходом в сеть Интернет, а также доской и мелом (для разбора частных вопросов и детализации теоретических аспектов дисциплины и решения практических задач).

2. Модели многогранников.

3. Шаро-стержневые модели кристаллических структур.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО _____.

Авторы: к.х.н., доцент А.А.Сибиркин, к.х.н., преподаватель И.Г.Федотова

Рецензент: д.х.н., профессор Е.В.Сулейманов

Заведующий кафедрой к.х.н. _____ Д.А. Пермин