

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д. И. Менделеева»



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе

С.Н. Филатов

« 25 » 05 2021 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Элементы кристаллографии»

Направление подготовки 28.04.03 Наноматериалы

Магистерская программа «Химическая технология наноматериалов»

Квалификация «магистр»

РАССМОТРЕНО И ОДОБРЕНО

На заседании Методической комиссии

Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

« 25 » мая 2021 г.

Председатель  Н.А. Макаров

Москва 2021

Программа составлена:

старшим преподавателем кафедры наноматериалов и нанотехнологии Шарапаевым А.И.  
и.о. заведующего кафедрой наноматериалов и нанотехнологии д.х.н. проф. Королевой  
М.Ю.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры наноматериалов и  
нанотехнологии «28» апреля 2021 г., протокол №11.

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **28.04.03 «Наноматериалы»**, рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой наноматериалов и нанотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина *«Элементы кристаллографии»* относится к вариативной части блока обязательных дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области линейной алгебры и аналитической геометрии.

**Цель дисциплины** – приобретение знаний, умений и формирование компетенций в области теории и практики использования кристаллографии и смежных дисциплин, применения кристаллографических знаний для направленного проектирования наноматериалов.

**Задачи дисциплины** – подготовка к использованию симметричного подхода в разработке и химической технологии наноматериалов путём изучения способов описания строения идеальных и реальных кристаллических структур, ознакомления с основными положениями теории роста нанокристаллов, связи их формы и структуры с симметрией физического и химического окружения; подготовка к самостоятельному анализу и использованию в практической деятельности результатов структурных исследований.

Дисциплина *«Элементы кристаллографии»* преподается в 1 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>				
<p>– проведение самостоятельных научно-исследовательских работ в области нанотехнологий, требующих широкой фундаментальной междисциплинарной подготовки и владения навыками современных экспериментальных методов;</p> <p>– исследование свойств наносистем и наноматериалов с помощью современных методов анализа;</p> <p>– самостоятельная эксплуатация современного аналитического и синтетического оборудования и приборов в</p>	<p>– основные типы наноматериалов: различной размерности (0, 1, 2, 3-мерные, фрактальные кластеры), природы (неорганические, органические, смешанные); агрегатного состояния (жидкие, твердые, смешанного типа (гели, суспензии и пр.));</p> <p>– все виды исследовательского, контрольного, аналитического и испытательного оборудования для изучения структуры и свойств наноматериалов; компьютерное</p>	<p><b>ПК-1</b> Способен диагностировать структуру материала на микро и наноуровне</p>	<p><b>ПК-1.1</b> Знает методы исследования структуры материала на микро- и наноуровне</p> <p><b>ПК-1.2</b> Умеет использовать методы электронной, сканирующей зондовой микроскопии, дифракционных, спектральных и термических исследований структуры материалов на микро- и наноуровне</p>	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки. Профессиональный стандарт «26.006 Специалист по разработке наноструктурированных композиционных материалов», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «8» сентября 2015 г. № 604н</p> <p>D Управление методами и средствами проведения исследований и разработок наноструктурированных</p>

соответствии с квалификацией.	программное обеспечение для обработки экспериментальных данных по исследованию наноматериалов и наносистем.			композиционных материалов (уровень квалификации – 7)
– анализ и обобщение результатов научно-исследовательских работ, поиск и анализ научной и технической информации в области нанотехнологий и смежных дисциплин для научной, патентной и маркетинговой поддержки проводимых фундаментальных исследований и технологических разработок, – составление аналитических обзоров, самостоятельная подготовка публикаций в	– основные типы наноматериалов: различной размерности (0, 1, 2, 3-мерные, фрактальные кластеры), природы (неорганические, органические, смешанные) агрегатного состояния (жидкие, твердые, смешанного типа (гели, суспензии и пр.)); – компьютерное программное обеспечение для обработки экспериментальных данных по исследованию наноматериалов и	<b>ПК-3</b> Способен самостоятельно проводить научно-исследовательские работы по созданию, исследованию и применению наносистем и наноматериалов	<b>ПК-3.1</b> Знает требования к экспериментальным образцам наноматериалов и наносистем и результатам научно-исследовательских работ по их разработке <b>ПК-3.3</b> Владеет навыками решения научных и технических задач в области работ по созданию, исследованию и применению наносистем и наноматериалов	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт «26.006 Специалист по разработке наноструктурированных композиционных материалов», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «8» сентября 2015 г. № 604н D Управление методами и

<p>отечественных и зарубежных изданиях; – способность к составлению методических документов при проведении научно-исследовательских и лабораторных работ; – участие в экспериментальной и технико-проектной оптимизации существующих наукоемких методик создания наносистем и наноматериалов для успешной конкуренции на рынке идей и технологий.</p>	<p>наносистем; – отчеты по научной работе, научные публикации в российских и зарубежных изданиях; – аналитические обзоры в области производства и исследования наноматериалов.</p>			<p>средствами проведения исследований и разработок наноструктурированных композиционных материалов (уровень квалификации – 7) Профессиональный стандарт «40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «4» марта 2014 г. № 121н. D Осуществление научного руководства в соответствующей области знаний (уровень квалификации – 7)</p>
---	--	--	--	---

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- современное состояние и перспективные направления работ в области кристаллографии;
- методы представления симметрических операций и особенности взаимодействия элементов симметрии;
- способы задания узлов, рядов и плоскостей кристаллической решётки;
- типы пространственных решёток, способы построения графиков пространственных групп;
- связь формы кристаллов с их структурой и способы управления формой кристаллов.

*Уметь:*

- представлять симметрические операции, строить графики пространственных и точечных групп симметрии;
- задавать индексы узлов, рядов и плоскостей кристаллической решётки, осуществлять преобразования индексов;
- проводить анализ результатов экспериментальных исследований структуры кристаллических материалов, в том числе наноматериалов;
- формулировать требования к форме кристаллов и условиям их образования для достижения требуемых физических свойств материала;
- проводить анализ научно-технической информации, затрагивающей проблему применения кристаллографических знаний к разработке новых и перспективных наноматериалов;
- применять теоретические знания кристаллографии для решения исследовательских и прикладных задач, в том числе в области науки о наноматериалах и нанотехнологии.

*Владеть:*

- навыками использования кристаллографического формализма для описания реальной структуры кристаллов;
- навыками работы с научно-технической, справочной литературой и электронными ресурсами, затрагивающими фундаментальные и практические аспекты применения кристаллографии и смежных дисциплин;
- методологическими подходами и навыками выявления взаимосвязей структуры, свойств и технологии получения кристаллических материалов, в том числе наноматериалов;
- навыками освоения и применения новых методов исследования внутреннего строения кристаллических материалов.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>108</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1,42</b>	<b>51</b>	<b>38</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	<b>0,11</b>	<b>4</b>	<b>3</b>
Практические занятия (ПЗ)	1,42	51	38
в том числе в форме практической подготовки	0,11	4	3
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2,58</b>	<b>93</b>	<b>70</b>
Контактная самостоятельная работа	2,58	0,4	0,3
Самостоятельное изучение разделов дисциплины		92,6	69,7
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>Зачет с оценкой</b>		

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов						
		Всего	в т.ч. в форме пр. подг.	Лекции	Прак. зан.	в т.ч. в форме пр. подг.	Лаб. работы	Сам. работа
<b>1.</b>	<b>Раздел 1. Точечные группы симметрии</b>	<b>40</b>	-	-	<b>15</b>	-	-	<b>25</b>
1.1	Основные понятия и проецирование кристаллов	6	-	-	3	-	-	3
1.2	Симметрия кристаллов	12	-	-	4	-	-	8
1.3	Элементы теории групп и точечные группы симметрии	22	-	-	8	-	-	14
<b>2.</b>	<b>Раздел 2. Простые формы и морфогенез кристаллов</b>	<b>49</b>	-	-	<b>17</b>	-	-	<b>32</b>
2.1	Методы кристаллографического индицирования	10	-	-	4	-	-	6
2.2	Простые формы кристаллов и комбинации простых форм	24	-	-	8	-	-	16
2.3	Основные элементы роста кристаллов	15	-	-	5	-	-	10
<b>3.</b>	<b>Раздел 3. Основы кристаллохимии и физические свойства кристаллов</b>	<b>55</b>	-	-	<b>19</b>	-	-	<b>36</b>
3.1	Симметрия кристаллической структуры	18	-	-	6	-	-	12
3.2	Основы кристаллохимии	13	-	-	3	-	-	10
3.3	Несовершенные кристаллы	9	-	-	3	-	-	6
3.4	Физические свойства кристаллов	7	-	-	3	-	-	4
3.5	Методы исследования внутреннего строения кристаллов	8	4	-	4	4	-	4
	<b>ИТОГО</b>	<b>144</b>	<b>4</b>	-	<b>51</b>	<b>4</b>	-	<b>93</b>

### 4.2 Содержание разделов дисциплины

#### Раздел 1. Точечные группы симметрии

**Основные понятия и проецирование кристаллов.** Значение и задачи кристаллографии в применении к наукам о наноматериалах и нанотехнологии. Виды проекций, используемые в кристаллографии, их построение. Преимущества и недостатки способов проецирования.

**Симметрия кристаллов.** Элементы и операции симметрии. Элементы симметрии первого рода. Элементы симметрии второго рода. Сложные оси симметрии. Обозначение элементов симметрии. Способы представления симметрических операций. Взаимодействие элементов симметрии; осевая теорема Эйлера.

**Элементы теории групп и точечные группы симметрии.** Групповые аксиомы, построение таблицы (квадрата) Кейли; групповые свойства. Вывод точечных групп

симметрии. Обозначение точечных групп симметрии в символике Браве, Шэнфлиса и Германа-Могена. Координатные системы в кристаллографии. Категории и сингонии кристаллов. Установка кристаллов.

## **Раздел 2. Простые формы и морфогенез кристаллов**

**Методы кристаллографического индцирования.** Индексы и символы узлов, ребер и плоскостей (граней) кристаллов. Параметры Вейсса и символы Миллера. Четырехиндексные оси гексагональной сингонии, индексы Браве; символы ребер гексагональных кристаллов. Единичная грань в кристаллах разных сингоний. Закон зон.

**Простые формы кристаллов и комбинации простых форм.** Простые формы в классах с единичным направлением. Простые формы в классах без единичных направлений. Основы гониометрии.

**Основные элементы роста кристаллов.** Причины и условия образования кристаллов. Механизмы роста кристаллов. Факторы, влияющие на облик кристаллов. Морфологические особенности реальных кристаллов: скульптура граней кристалла, формы роста кристаллов, сrostки кристаллов, симметрия двойников. Краткие сведения о способах выращивания кристаллов и управления их внешним обликом в приложении к наноматериалам.

## **Раздел 3. Основы кристаллохимии и физические свойства кристаллов**

**Симметрия кристаллической структуры.** Пространственная решётка, ячейки Браве. Открытые элементы симметрии: винтовые оси, плоскости скользящего отражения. Взаимодействие закрытых и открытых элементов симметрии. Пространственные группы симметрии; обозначение и вывод пространственных групп симметрии. Построение графиков пространственных групп. Правильные системы точек и их характеристики.

**Основы кристаллохимии.** Координационные числа, координационные полиэдры, число формульных единиц. Типы химической связи в кристаллах. Плотнейшие шаровые упаковки в кристаллах. Изоструктурность, изотипия, гетеротипия. Основные категории кристаллохимии: морфотропия, полиморфизм, политипия, изоморфизм. Коллоидные кристаллы как частный пример плотнейшей шаровой упаковки.

**Несовершенные кристаллы.** Напряжения, деформации и упругость кристаллов. Скольжение, элементы и независимые системы скольжения. Дефекты упаковки и частичные дислокации. Дислокации в наиболее характерных кристаллографических структурах. Точечные дефекты. Двойникование. Особенности проявления структурного несовершенства в нанокристаллических материалах и коллоидных кристаллах.

**Физические свойства кристаллов.** Скалярные, векторные и тензорные свойства. Связь оптических, электрических и магнитных свойств со структурой кристалла.

**Методы исследования внутреннего строения кристаллов.** Методы исследования структуры кристаллов. Дифракционные и спектроскопические методы в приложении к исследованию наноматериалов. Анализ данных дифракции рентгеновских лучей и нейтронов.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
	<b>Знает:</b>			
1	– современное состояние и перспективные направления работ в области кристаллографии;	+	+	+
2	– методы представления симметрических операций и особенности взаимодействия элементов симметрии;	+	+	+
3	– способы задания узлов, рядов и плоскостей кристаллической решётки;		+	
4	– типы пространственных решёток, способы построения графиков пространственных групп;			+
5	– связь формы кристаллов с их структурой и способы управления формой кристаллов;		+	+
	<b>Умеет:</b>			
6	– представлять симметрические операции, строить графики пространственных и точечных групп симметрии;	+	+	+
7	– задавать индексы узлов, рядов и плоскостей кристаллической решётки, осуществлять преобразования индексов;		+	+
8	– проводить анализ результатов экспериментальных исследований структуры кристаллических материалов, в том числе наноматериалов;			+
9	– формулировать требования к форме кристаллов и условиям их образования для достижения требуемых физических свойств материала;		+	+
10	– проводить анализ научно-технической информации, затрагивающей проблему применения кристаллографических знаний к разработке новых и перспективных наноматериалов;		+	+
11	– применять теоретические знания кристаллографии для решения исследовательских и прикладных задач, в том числе в области науки о наноматериалах и нанотехнологии.	+	+	+
	<b>Владеет</b>			
12	– навыками использования кристаллографического формализма для описания реальной структуры кристаллов;	+	+	+

13	– навыками работы с научно-технической, справочной литературой и электронными ресурсами, затрагивающими фундаментальные и практические аспекты применения кристаллографии и смежных дисциплин;		+	+	+
14	– методологическими подходами и навыками выявления взаимосвязей структуры, свойств и технологии получения кристаллических материалов, в том числе наноматериалов;			+	+
15	– навыками освоения и применения новых методов исследования внутреннего строения кристаллических материалов.				+
<b>В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:</b>					
	<b>Код и наименование ПК</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК</b>			
16	<b>ПК-1</b> Способен диагностировать структуру материала на микро и наноуровне	<b>ПК-1.1</b> Знает методы исследования структуры материала на микро- и наноуровне			+
17		<b>ПК-1.2</b> Умеет использовать методы электронной, сканирующей зондовой микроскопии, дифракционных, спектральных и термических исследований структуры материалов на микро- и наноуровне			+
18	<b>ПК-3</b> Способен самостоятельно проводить научно-исследовательские работы по созданию, исследованию и применению наносистем и наноматериалов	<b>ПК-3.1</b> Знает требования к экспериментальным образцам наноматериалов и наносистем и результатам научно-исследовательских работ по их разработке	+	+	+
19		<b>ПК-3.3</b> Владеет навыками решения научных и технических задач в области работ по созданию, исследованию и применению наносистем и наноматериалов	+	+	+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

Учебным планом подготовки магистров по направлению 28.04.03 предусмотрено проведение практических занятий по дисциплине «Элементы кристаллографии» в объеме 51 часа (1,42 зач. ед.). Практические занятия проводятся под руководством преподавателя и направлены на углубление теоретических знаний и приобретение навыков применения теоретических знаний в практической работе.

#### Примерный перечень практических занятий

№	Раздел	Темы практических занятий	Часы
1	Раздел 1	Основные понятия и проецирование кристаллов	3
		Симметрия кристаллов	4
		Элементы теории групп и точечные группы симметрии	8
2	Раздел 2	Методы кристаллографического индирования	4
		Простые формы кристаллов и комбинации простых форм	8
		Основные элементы роста кристаллов	5
3	Раздел 3	Симметрия кристаллической структуры	6
		Основы кристаллохимии	3
		Несовершенные кристаллы	3
		Физические свойства кристаллов	3
		Методы исследования внутреннего строения кристаллов	4

### 6.2 Лабораторные занятия

Лабораторные занятия по дисциплине не предусмотрены.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Учебной программой дисциплины «Элементы кристаллографии» предусмотрена самостоятельная работа обучающегося в объеме 93 часов (2,58 зач. ед.). Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на практических занятиях учебного материала;
- подготовку к контрольным работам по материалу курса;
- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок, семинаров и конференций;
- участие в семинарах РХТУ им. Д.И. Менделеева по тематике курса;
- подготовку к сдаче зачета по курсу.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в учебной программе. При работе с

указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## **8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрено 3 контрольных работы (по одной контрольной работе по каждому разделу). Максимальная оценка за контрольные работы составляет по 20 баллов за каждую.

Изучение материала каждого раздела заканчивается контролем его освоения в форме контрольной работы. Результаты выполнения контрольных работ оцениваются в соответствии с принятой в университете рейтинговой системой оценки знаний. Максимальная оценка контрольной работы составляет 20 баллов.

Каждая контрольная работа представляет собой набор из 8-10 контрольных заданий и вопросов, затрагивающих темы, рассмотренные в рамках раздела, а также служащие закреплению ранее пройденного материала.

**Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе № 1. Максимальная оценка – 20 баллов. Контрольная работа содержит 10 вопросов. Для учёта различной сложности контрольных вопросов используется следующая шкала оценивания:**

№ вопроса	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Балл	2	2	1	1	3	2	3	1	2	3

1. Определите какой элемент симметрии получится при взаимодействии элементов симметрии, приведённых на рисунке 1.
2. Постройте схему точечной группы, генератор которой задан графически (Рис. 2). Запишите обозначение группы по Шенфлису.
3. Запишите символами Браве элементы симметрии, содержащиеся в группе  $D_{2h}$ .
4. Нарисуйте стереографическую проекцию группы  $C_2$ .
5. Перечислите элементы симметрии молекулы азулена (бицикло-[5.3.0]-дека-1,3,5,7,9-пентаена).
6. Постройте матрицу преобразования кристаллографической системы координат для симметрической операции  $2_{xz}^{-1}$ .
7. Определите какому симметрическому преобразованию соответствует матрица, приведённая ниже.

$$\begin{pmatrix} \bar{1} & \bar{1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

8. Какую операцию симметрии необходимо добавить к перечисленным операциям симметрии, чтобы получилась группа:  $\{e, m, 3^1, 3^2, \bar{6}^{-1}, \dots\}$ ?
9. В сферу с нанесенной сеткой сферических координат вписан куб так, что одна из его вершин совмещена с северным полюсом, а другая лежит на нулевом меридиане. Определите сферические координаты вершин куба.
10. Определите какие фигуры могут получаться при проецировании правильного октаэдра на плоскость и нарисуйте их.

Рисунок 1

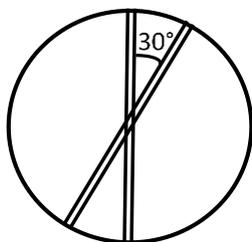
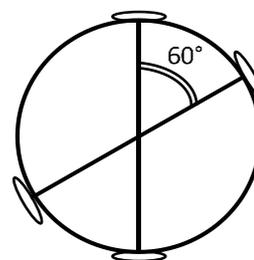


Рисунок 2



**Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2. Максимальная оценка – 20 баллов. Контрольная работа содержит 8 вопросов. Для учёта различной сложности контрольных вопросов используется следующая шкала оценивания:**

№ вопроса	1	2	3	4	5	6	7	8
Балл	2	3	2	2	3	2	2	4

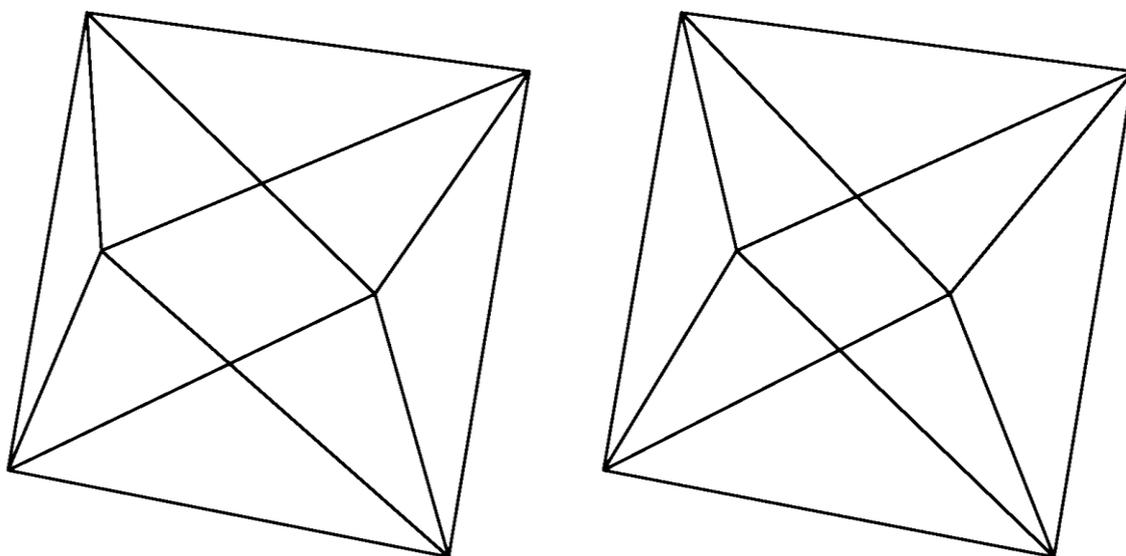
1. В кристаллическом пространстве с базисными векторами трансляций  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$  задан вектор  $\vec{R} = x\vec{a} + y\vec{b} + z\vec{c}$ . Является ли прямая, параллельная этому вектору, узловым рядом, если  $x, y, z$  являются иррациональными числами? Свой ответ обоснуйте.

2. Задан узловой ряд [320]. Записать индексы нескольких узлов, лежащих на параллельном узловом ряду, проходящем через узел [[113]].

3. Узловая плоскость отсекает по координатным осям отрезки равные  $1a, 3b, 4c$ . Каковы её индексы?

4. Постройте гномостереографическую проекцию и назовите общую простую форму в группе  $C_{2v}$ . Определите в какой группе эта форма окажется частной.

5. Выведите частные простые формы в группе  $D_{3d}$ .
6. К какой группе симметрии может относиться пятигранный тригональный кристалл?
7. Могут ли в огранке кубического кристалла одновременно присутствовать два ромбододекаэдра? Ответ обоснуйте.
8. Какая простая форма кубической сингонии изображена на приведённом ниже рисунке? В каких группах возможны подобные кристаллы?



**Раздел 3. Примеры вопросов к контрольной работе № 3. Максимальная оценка – 20 баллов. Контрольная работа содержит 7 вопросов. Для учёта различной сложности контрольных вопросов используется следующая шкала оценивания:**

№ вопроса	1	2	3	4	5	6	7
Балл	2	3	2	2	3	2	2

**Элементы кристаллографии. Контрольная №3  
№18**

**Вариант**

1. Покажите с помощью чертежа, что не существует решётки с центрировкой только двух пар граней.
2. Координационное число атомов структуре простого вещества равно 8, а координационный многогранник - куб. Сделайте вывод о геометрическом характере структуры и типах реализованной в ней химической связи.
3. Плотность кристаллов золота (Au) равна  $19,32 \text{ г/см}^3$ . Вычислите металлический радиус Au, принимая во внимание, что структура золота описывается ГЦК решёткой. Атомная масса золота – 197,0 а.е.м.
4. Постройте график пространственной группы  $P4_2mc$ .
5. Дополните символ пространственной группы  $P \frac{2_1 2_1 2_1}{? c m}$  пропущенным элементом симметрии.
6. Определите симметрию кристалла магнетита (точечная группа  $O_h$ ) в однородном магнитном поле (предельная группа  $Cooh$ ), приложенном в направлении  $[100]$ .
7. Как следует вырезать пластинку из сфалерита ( $ZnS$ , точечная группа  $Td$ ), чтобы при приложении к её граням одноосного сжатия кристалл поляризовался?

## **8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (зачет с оценкой)**

Итоговый контроль проводится в форме устного опроса (зачет с оценкой). Билет для проведения зачета содержит 2 вопроса, максимальная оценка за каждый вопрос – 20 баллов, максимальная общая оценка – 40 баллов). Общая оценка зачета складывается путем суммирования оценок текущего контроля и ответа на зачете. Максимальная оценка зачета – 100 баллов.

### **8.2.1. Примеры контрольных вопросов для итогового контроля освоения дисциплины (Зачет с оценкой)**

**Максимальное количество баллов за зачет с оценкой – 40 баллов**

1. Кристаллическое состояние. Решетка и структура.
2. Элементы и операции симметрии.
3. Способы представления симметрических операций.
4. Кристаллографическая номенклатура.
5. Основные положения теории групп.
6. Взаимодействие симметрических операций.
7. Проецирование кристаллов.
8. Кристаллографические системы координат. Сингонии.
9. Точечные группы симметрии, их вывод.
10. Кристаллографическое индицирование.
11. Закон поясов (зон) Вейсса.
12. Простые формы кристаллов. Гониометрия.
13. Факторы, влияющие на облик кристаллов. Управление формой нанокристаллов.
14. Открытые элементы симметрии.
15. Пространственная решетка. Типы решеток Браве.
16. Пространственные группы симметрии.
17. Обратная решётка – физический смысл и возможности использования.
18. Плотнейшие шаровые упаковки в кристаллах.
19. Изоструктурность, изотипия, гетеротипия.
20. Морфотропия, полиморфизм, политипия, изоморфизм.
21. Физические свойства кристаллов. Принцип Кюри-Неймана.
22. Дифракционные методы исследования внутреннего строения кристаллов.
23. Спектроскопические методы исследования внутреннего строения кристаллов.
24. Дефекты кристаллической структуры.
25. Двойникование. Элементы двойникования. Морфология механических двойников.
26. Коллоидные кристаллы.
27. Скольжение – элементы скольжения, независимые системы скольжения. Максимальные касательные напряжения.
28. Дислокации в кристаллах основных типов. Дефекты решётки и частичные дислокации. Вектор Бюргерса.
29. Поверхности раздела в кристаллах и нанокристаллах.
30. Способы выращивания кристаллов.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

### **8.3. Структура и примеры билетов для итогового контроля (зачет с оценкой)**

*Зачет с оценкой* по дисциплине «*Элементы кристаллографии*» включает контрольные вопросы по всем разделам учебной программы дисциплины. Билет для *зачета с оценкой* состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам. Ответы на вопросы *зачета с оценкой* оцениваются из максимальной оценки 40 баллов следующим

образом: максимальное количество баллов за первый вопрос – 10 баллов, второй – 15 баллов, третий вопросы – 15 баллов.

Пример билета для *зачета с оценкой*:

«Утверждаю» Руководитель магистерской программы  _____	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра наноматериалов и нанотехнологии</b>
	<b>28.04.03 «Наноматериалы» Магистерская программа – «Химическая технология наноматериалов»</b>
	<b>Элементы кристаллографии</b>
<b>Билет № 1</b>	
1. Элементы и операции симметрии.	
2. Плотнейшие шаровые упаковки в кристаллах.	
3. Дифракционные методы исследования внутреннего строения кристаллов.	

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### А. Основная литература

1. Шаскольская, М. П. Кристаллография: учебное пособие для вузов / М.П. Шаскольская. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984. - 376 с.
2. Минералогия и кристаллография: методические указания по выполнению контрольных работ: Учебное пособие / сост.: О. П. Баринаева, С. В. Кирсанова. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. - 51 с.

#### Б. Дополнительная литература

1. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П. Теория симметрии кристаллов. – М.: ГЕОС, 2000. – 410 с.
2. Келли А., Гровс Г. Кристаллография и дефекты в кристаллах. – М.: Мир, 1974. – 496 с.
3. Майер, А. А. Процессы роста кристаллов: учеб. пособие / А.А. Майер. - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1999. - 176 с.
4. Задачи по кристаллографии: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. Е.В. Чупрунова, А.Ф. Хохлова. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003. – 208 с.

### 9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.

Научно-технические журналы:

1. Журнал «Кристаллография», ISSN 0023-4761
2. Журнал «Журнал структурной химии», ISSN 0136-7463
3. Журнал «CrystEngComm», ISSN 1466-8033
4. Журнал «Journal of Chemical Crystallography», ISSN 1074-1542
5. Журнал «Journal of Crystal Growth», ISSN 0022-0248

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- [http:// www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [http:// www.scopus.com](http://www.scopus.com)

### **9.3. Средства обеспечения освоения дисциплины**

Для реализации данного курса подготовлены следующие средства обеспечения освоения дисциплины:

- банк заданий для текущего контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – более 25);
- банк заданий для итогового контроля освоения дисциплины (общее число вопросов – более 25).

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2021 составляет 1 716 243 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Элементы кристаллографии»* проводятся в форме практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Лекционная учебная аудитория, оборудованная электронными средствами демонстрации (компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран) и учебной мебелью.

Библиотека, имеющая рабочие места, оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и выходом в Интернет.

### **11.2. Учебно-наглядные пособия:**

Иллюстрации к практическим занятиям; иллюстрации моделей кристаллических структур и макетов закрытых простых форм.

### **11.3. Компьютеры, информационно-телекоммуникационные сети, аппаратно-программные и аудиовизуальные средства:**

Персональные компьютеры, укомплектованные проигрывателями CD и DVD, принтерами и программными средствами; проекторы и экраны; цифровые камеры; копирующие аппараты; локальная сеть с выходом в Интернет.

### **11.4. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Информационно-методические материалы: учебные пособия по дисциплине; раздаточный материал к разделам лекционного курса.

Электронные образовательные ресурсы: электронные презентации к разделам лекционного курса; учебно-методические разработки в электронном виде; справочные материалы в печатном и электронном виде; кафедральная библиотека электронных изданий.

### **11.5. Перечень лицензионного программного обеспечения:**

<b>№ п.п.</b>	<b>Наименование программного продукта</b>	<b>Реквизиты договора поставки</b>	<b>Количество лицензий</b>	<b>Срок окончания действия лицензии</b>
1.	Calculate Linux Desktop	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
2.	LibreOffice	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
3.	ABBYY FineReader	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
4.	7-Zip	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
5.	Google Chrome	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
6.	VLC Media Player	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
7.	Discord	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
8.	Autodesk AutoCAD	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
9.	IntelliJ IDEA	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
10.	FreeCAD	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
11.	SMath Studio	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно

12.	Corel Academic Site Standard	Контракт № 90-133ЭА/2021 от 07.09.2021	Лицензия для активации на рабочих станциях, покрывает все рабочие места в университете	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)
13.	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition.	Контракт № 90-133ЭА/2021 от 07.09.2021	500 лицензий	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)
14.	GIMP	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно
15.	OBS (Open Broadcaster Software) Studio	Свободно распространяемое ПО	Не ограничено	Бессрочно

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование раздела	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<b>Раздел 1.</b> Основы кристаллографического формализма	<b>Знает:</b> – современное состояние и перспективные направления работ в области кристаллографии; – методы представления симметрических операций и особенности взаимодействия элементов симметрии; <b>Умеет:</b> – представлять симметрические операции, строить графики пространственных и точечных групп симметрии. <b>Владеет:</b> – навыками использования кристаллографического формализма для описания реальной структуры кристаллов; – навыками работы с научно-технической, справочной литературой и электронными ресурсами, затрагивающими фундаментальные и практические аспекты применения кристаллографии и смежных дисциплин.	Оценка за контрольную работу № 1.  Оценка на зачёте.
<b>Раздел 2.</b> Методы кристаллографического индентирования и морфогенез кристаллов	<b>Знает:</b> – современное состояние и перспективные направления работ в области кристаллографии; – методы представления симметрических операций и особенности	Оценка за контрольную работу № 2.  Оценка на зачёте.

	<p>взаимодействия элементов симметрии;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– связь формы кристаллов с их структурой и способы управления формой кристаллов.</li> <li>– способы задания узлов, рядов и плоскостей кристаллической решётки;</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять теоретические знания кристаллографии для решения исследовательских и прикладных задач, в том числе в области науки о наноматериалах и нанотехнологии.</li> <li>– проводить анализ научно-технической информации, затрагивающей проблему применения кристаллографических знаний к разработке новых и перспективных наноматериалов;</li> <li>– формулировать требования к форме кристаллов и условиям их образования для достижения требуемых физических свойств материала;</li> <li>– представлять симметрические операции, строить графики пространственных и точечных групп симметрии.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методологическими подходами и навыками выявления взаимосвязей структуры, свойств и технологии получения кристаллических материалов, в том числе наноматериалов;</li> <li>– навыками работы с научно-технической, справочной литературой и электронными ресурсами, затрагивающими фундаментальные и практические аспекты применения кристаллографии и смежных дисциплин;</li> <li>– навыками использования кристаллографического формализма для описания реальной структуры кристаллов.</li> </ul>	
<p><b>Раздел 3.</b> Основа кристаллохимии и физические свойства кристаллов</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– современное состояние и перспективные направления работ в области кристаллографии;</li> <li>– методы представления симметрических операций и особенности взаимодействия элементов симметрии;</li> <li>– связь формы кристаллов с их структурой и способы управления формой кристаллов.</li> <li>– типы пространственных решёток,</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу № 3.</p> <p>Оценка на зачёте.</p>

	<p>способы построения графиков пространственных групп.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять теоретические знания кристаллографии для решения исследовательских и прикладных задач, в том числе в области науки о наноматериалах и нанотехнологии.</li> <li>– проводить анализ научно-технической информации, затрагивающей проблему применения кристаллографических знаний к разработке новых и перспективных наноматериалов;</li> <li>– формулировать требования к форме кристаллов и условиям их образования для достижения требуемых физических свойств материала;</li> <li>– проводить анализ результатов экспериментальных исследований структуры кристаллических материалов, в том числе наноматериалов;</li> <li>– представлять симметрические операции, строить графики пространственных и точечных групп симметрии.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками освоения и применения новых методов исследования внутреннего строения кристаллических материалов.</li> <li>– методологическими подходами и навыками выявления взаимосвязей структуры, свойств и технологии получения кристаллических материалов, в том числе наноматериалов;</li> <li>– навыками работы с научно-технической, справочной литературой и электронными ресурсами, затрагивающими фундаментальные и практические аспекты применения кристаллографии и смежных дисциплин;</li> <li>– навыками использования кристаллографического формализма для описания реальной структуры кристаллов;</li> <li>– навыками освоения и применения новых методов исследования внутреннего строения кристаллических материалов.</li> </ul>	
--	--	--

### 13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

– Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Минобрнауки РФ от 05.04.2017 № 301);

– Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программ бакалавриата, программ специалитета, программ магистратуры в РХТУ им. Д.И. Менделеева, принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 30.10.2019, протокол № 3, введенным в действие приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 14.11.2019 № 646А;

– Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины  
«Элементы кристаллографии»  
основной образовательной программы  
28.04.03 «Нanomатериалы»**

код и наименование направления подготовки (специальности)

**«Химическая технология наноматериалов»**

наименование ООП

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.	Изменение в части обновления лицензионного программного обеспечения	протокол заседания Ученого совета № 1 от «30» августа 2020 г.
2.	Изменение в части обновления договоров электронных ресурсов	протокол заседания Ученого совета № 2 от «30» сентября 2020 г.
3.	Изменения в части использования ЭО и ДОТ при реализации основных профессиональных образовательных программ	приказ ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева от 16.03.2020 № 163-А «О предупреждении распространения новой коронавирусной инфекции»
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от «___» _____ 20__ г.