

Федеральное государственное учреждение  
«Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и  
фотоника» Российской академии наук»

Принято на Ученом совете ИК РАН  
Протокол № 5 от 22.09.2020 г.

«Утверждаю»

Директор



 О.А. Алексеева

« 22 »  2020г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

### ДИСЦИПЛИНЫ

«Кристаллография, физика кристаллов»  
(наименование дисциплины)

**Направление подготовки:** 03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность:** «Кристаллография, физика кристаллов» (01.04.18)

**Квалификация выпускника:** Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения:** очная

**Срок обучения:** 4 года

Москва 2020 г.

Программа дисциплины «Кристаллография, физика кристаллов» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 876 от «30» июля 2014 г. по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015г;
- Программа кандидатского минимума и паспорт научной специальности 01.04.18 – Кристаллография, физика кристаллов, разработанный экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 23 октября 2017 г. №1027 «Об утверждении Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени».

Составители: к.ф.-м.н. Алексеева О.А.

д.ф.-м.н., профессор Клечковская В.В.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения аспирантами дисциплины «Кристаллография, физика кристаллов» является приобретение знаний в области кристаллографии и физики реальных кристаллов, включая природные кристаллы (минералы), синтетические (искусственно выращенные) кристаллы, жидкие кристаллы и квазикристаллы. Кристаллография, физика кристаллов – область знаний о симметрии, структуре, образовании и физических свойствах кристаллов.

### **Задачами данного курса являются:**

- изучение теоретических и методологических основ физики кристаллов;
- формирование базовых представлений о симметрии и операциях симметрии, атомной и электронной структуре кристаллической решетки, физических свойствах кристаллов и других анизотропных материалов;
- формирование базовых знаний о методах выращивания кристаллов и пленок, методах структурного анализа.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

2.1. Учебная дисциплина «Кристаллография, физика кристаллов» входит в Блок 1 (Обязательные дисциплины) и относится к вариативной части ООП по направлению подготовки 03.06.01 - Физика и астрономия, направленность «Кристаллография, физика кристаллов» (01.04.18). Индекс дисциплины по учебному плану – Б1.В.ОД.3.

2.2. Актуальность курса обусловлена междисциплинарностью кристаллографии в сочетании возможностей и достижений геологии, химии, физики и биологии, в возможности получения новых кристаллических и функциональных материалов.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах подготовки бакалавров, специалистов или магистров: «Физика»; «Химия»; «Кристаллография»; «Физика твердого тела»; «Информатика»; «Программирование».

## 3. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

## 4. ГОД И СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ (если есть)

Третий год, первый и второй семестры обучения.

## 5. ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ.

Процесс обучения по дисциплине «Кристаллография, физика кристаллов» включает в себя:

- аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения)
- самостоятельная работа аспирантов
- контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончании
- экзамен кандидатского минимума

Обучение по дисциплине ведется с применением как традиционных методов, так и с

использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах, представление докладов на научные конференции, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе и по теме диссертации, освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

<b>Вариативная часть, в т.ч.:</b>	<u>4</u> зач. ед.
Лекции	<u>24</u> часа
Семинары и практические занятия	<u>16</u> часов
Лабораторные работы	<u>нет</u> часов
индивидуальные занятия с преподавателем	<u>нет</u> часов
Самостоятельные занятия	<u>96</u> часов
Экзамен/зачет	<u>8</u> часов
<b>ВСЕГО</b>	<b>4 зач. ед., 144 часа</b>

## **6. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Освоение дисциплины «Кристаллография, физика кристаллов» направлено на формирование следующих универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций аспиранта:

а) универсальные (УК):

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- готовностью использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
- способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

б) общепрофессиональные (ОПК)

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)

в) профессиональные (ПК)

- в) профессиональные (ПК)

- способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы с применением современных и перспективных методов исследования и решению профессиональных задач с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы (ПК-1);
- способность анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, готовность применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно-технической документации (ПК-2);
- способность использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов (ПК-3);
- способность к планированию и организации теоретических и экспериментальных исследований реальной структуры неорганических, органических и биоорганических материалов, а также планированию и организации работы по проектам в области управляемого синтеза кристаллических материалов с заданными свойствами; способность к планированию и организации работы по модернизации современных и созданию новых методов изучения реальной структуры природных и искусственно выращенных кристаллов и поликристаллических материалов, в том числе с пониженной размерностью, микро- и нанодисперсных (ПК-4).

Профессиональные компетенции выпускника программы аспирантуры по направлению подготовки «Физика и астрономия» осваивается в течение всего периода обучения в рамках дисциплин вариативной части и научно-исследовательской практики независимо от формирования других компетенций, и обеспечивают реализацию обобщенной трудовой функции «Проводить научные исследования и реализовывать проекты». Для того чтобы формирование профессиональных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры должен:

**ЗНАТЬ:** физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, основные тенденции развития кристаллографии

**УМЕТЬ:** осуществлять отбор материала, характеризующего область кристаллографии, с учетом конкретной научной или технической задачи.

**ВЛАДЕТЬ:** навыками работы в научном коллективе; приемами целеполагания, планирования, реализации необходимых видов деятельности, оценки и самооценки результатов деятельности по решению задач кристаллографии.

## **7. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины «Кристаллография, физика кристаллов» обучающийся должен:

### **знать:**

- основы учения о симметрии;
- основные понятия о физических свойствах веществ;
- основы процесса кристаллизации;
- методы выращивания кристаллов и кристаллических пленок;
- принципы получения основных форм органических и биоорганических материалов и систем;
- основы различных методов электронно-микроскопического анализа при исследовании структуры объектов;
- методы обработки полученных дифракционных данных;
- принципы анализа взаимосвязи между структурой, условиями образования и свой-

ствами перспективных кристаллических материалов.

**уметь:**

- осуществлять сбор, обработку и систематизацию научной информации по заданному направлению профессиональной деятельности, применять для этого современные информационные технологии;
- выбирать адекватные методы и подходы для решения конкретных исследовательских задач;
- планировать, проводить физический эксперимент;
- интерпретировать полученные результаты и оформлять их в виде научных публикаций или докладов на конференциях;
- критически анализировать накопленный опыт и совершенствовать свои подходы к изучению свойств вещества.

**владеть:**

- опытом понимания качества исследований, относящихся к области кристаллографии;
- опытом самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами кристаллографии и физики природных и синтетических кристаллов;
- навыками практического определения кристаллографических структур по внешнему облику кристалла.

**8. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (модулю),**  
соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы  
(заполняется в соответствии с картами компетенций)

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1	<p>З1 (УК-1) - <b>Знать</b> методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>У1 (УК-1)- <b>Уметь</b> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.</p> <p>У2 (УК-1) – <b>Уметь</b> при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации исходя из наличных ресурсов и ограничений.</p> <p>В1 (УК-1)- <b>Владеть</b> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>В2 (УК-1)- <b>Владеть</b> навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</p>

УК-3	<p>31 (УК-3) - <b>Знать</b> особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах.</p> <p>У1 (УК-3)- <b>Уметь</b> следовать нормам проведения научно-исследовательской деятельности, принятым в научном общении при работе в российских и международных исследовательских коллективах с целью решения научных и научно-образовательных задач.</p> <p>У2 (УК-3)- <b>Уметь</b> осуществлять личностный выбор в процессе работы в российских и международных исследовательских коллективах, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой, коллегами и обществом.</p> <p>В1 (УК-3)- <b>Владеть</b> навыками анализа основных мировоззренческих и методологических проблем, в т.ч. междисциплинарного характера, возникающих при работе по решению научных и научно-образовательных задач в российских или международных исследовательских коллективах</p> <p>В2 (УК-3)- <b>Владеть</b> технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке</p>
УК-4	<p>31 (УК-4) - <b>Знать</b> современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках.</p> <p>32 (УК-4) – <b>Знать</b> стилистические особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме на государственном и иностранном языках</p> <p>У1 (УК-4)- <b>Уметь</b> следовать основным нормам, принятым в научном общении на государственном и иностранном языках</p> <p>В1 (УК-4)- <b>Владеть</b> навыками анализа научных текстов на государственном и иностранном языках.</p> <p>В2 (УК-4)- <b>Владеть</b> навыками критической оценки эффективности различных методов и технологий научной коммуникации на государственном и иностранном языках</p> <p>В3 (УК-4)- <b>Владеть</b> различными методами, технологиями и типами коммуникаций при осуществлении профессиональной деятельности на государственном и иностранном языках.</p>
ОПК-1	<p>31 (ОПК-1)- <b>Знать</b> современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.</p> <p>У1 (ОПК-1)- <b>Уметь</b> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования.</p> <p>В1 (ОПК-1)- <b>Владеть</b> навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике прово-</p>

	<p>димых исследований.</p> <p><b>V2 (ОПК-1)- Владеть</b> навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов</p> <p><b>V3 (ОПК-1)- Владеть</b> навыками представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности</p>
ПК-1	<p><b>31 (ПК-1)- Знать</b> современное состояние науки в соответствии с направленностью подготовки</p> <p><b>У1 (ПК-1)- Уметь</b> рационально и эффективно использовать фундаментальные знания для постановки и осуществления теоретических и экспериментальных исследований.</p> <p><b>V1 (ПК-1)- Владеть</b> методами планирования, подготовки, проведения научных исследований, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности подготовки.</p>
ПК-2	<p><b>31 (ПК-2)- Знать</b> особенности составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, статей и докладов.</p> <p><b>У1 (ПК-2)- Уметь</b> применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей.</p> <p><b>V1 (ПК-2)- Владеть</b> навыками составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей.</p>
ПК-3	<p><b>31 (ПК-3)- Знать</b> информационные технологии, программное обеспечение и ресурсы сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов.</p> <p><b>У1 (ПК-3)- Уметь</b> использовать профессионально-профилированные знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов.</p> <p><b>V1 (ПК-3)- Владеть</b> знаниями в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов.</p>
ПК-4	<p><b>31 (ПК-4)-1 Знать</b> теоретические основы и экспериментальные методы исследований реальной структуры неорганических, органических и биоорганических материалов.</p> <p><b>32 (ПК-4)-2 Знать</b> принципы планирования, организации работы по проектам в области управляемого синтеза кристаллических материалов с заданными свойствами, модернизации современных и созданию новых методов изучения реальной структуры природных и искусственно выращенных кристаллов, поликристаллических материалов, в том числе с пониженной размерностью, микро- и нанодисперсных.</p> <p><b>У1 (ПК-4)-1 Уметь</b> применять теоретические знания и планировать экспериментальные методы исследований реальной структуры неорганических, органических и биоорганических материалов для решения</p>



	<p>задач профессиональной деятельности.</p> <p>У2 (ПК-4)-2 <b>Уметь</b> разрабатывать методы и приёмы для выращивания кристаллов с заданными свойствами, планировать и организовывать работу по проектам в области управляемого синтеза кристаллических материалов с заданными свойствами, модернизации современных и созданию новых методов изучения реальной структуры природных и искусственно выращенных кристаллов, поликристаллических материалов, в том числе с пониженной размерностью, микро- и нанодисперсных.</p> <p>В1 (ПК-4)-1 <b>Владеть</b> методами планирования и организации теоретических и экспериментальных исследований реальной структуры неорганических, органических и биоорганических материалов для решения задач профессиональной деятельности.</p> <p>В2 (ПК-4)-2 <b>Владеть</b> навыками разработки методов и приемов для выращивания кристаллов с заданными свойствами, организации работы по проектам в области управляемого синтеза кристаллических материалов с заданными свойствами, модернизации современных и созданию новых методов изучения реальной структуры природных и искусственно выращенных кристаллов, поликристаллических материалов, в том числе с пониженной размерностью, микро- и нанодисперсных.</p>
--	---

## 9. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Структура дисциплины

#### **Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам:**

№ темы и название	Количество часов
1 Кристаллография и её место среди других наук в современном мире	4
2. Основы учения о симметрии	20
3. Основы кристаллохимии	22
4. Динамика решетки и фазовые переходы	18
5. Структурный анализ кристаллов	26
6. Выращивание кристаллов	14
7. Физические свойства кристаллов	14
8. Прочность кристаллических тел	8
9. Структура и свойства реальных кристаллов	10
10. Экзамен/зачет	8
<b>ВСЕГО (часов)</b>	<b>144</b>

## Вид занятий

### Лекции:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	Введение. История кристаллографии и кристаллофизики.	2
2	Основы тензорного и симметричного описания физических свойств кристаллов	2
3	Фазовые переходы, динамика решетки - основные понятия	2
4	Основы теории дифракции в кристаллах	2
5	Геометрическая кристаллография	2
6	Силы химической связи в твердых телах. Общая и описательная кристаллохимия	2
7	Методы анализа кристаллической структуры	2
8	Дефекты в кристаллах, динамика дислокаций, механизмы пластичности	2
9	Взаимодействие дефектов в кристаллах	2
10	Термодинамика, кинетика и механизмы кристаллизации	2
11	Образование дефектов при росте кристаллов и взаимосвязь между условиями роста и реальной структурой кристаллов	2
12	Методы выращивания кристаллов	2
ВСЕГО (часов)		24 часа

### Практические занятия:

№ темы и название	Количество часов
Простые формы кристаллов	4
Методы дифракции электронов в структурном анализе наноматериалов	4
Некоторые практические примеры применения метода поликристалла	4
Методы анализа кристаллической структуры	4
ВСЕГО (часов)	16 часов

### Самостоятельная работа:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым аспирантом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, методические пособия.	52
2	- выполнение тестовых заданий – выполняются задания, выданные преподавателем	26

	лем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.	
3	Подготовка к экзамену	18
ВСЕГО (часов)		96 часов

### Содержание разделов дисциплины

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Объем	
			Ауди-тор-ная работа (часы)	Самостоя-тельная ра-бота (часы)
1.	Кристаллография и её место среди других наук в современном мире.	Основные понятия кристаллографии и кристаллофизики. Место кристаллографии и кристаллофизики среди других наук. Основные понятия трансляционно-го и ориентационного дальнего порядка, дискретности, периодичности, симметрии и анизотропии, как методологическая основа физики кристаллов. История формирования и развития кристаллографии и кристаллофизики.	2	2
2.	Основы учения о симметрии.	<p><u>Геометрическая кристаллография. Симметрия и операции симметрии. Точечные группы симметрии</u></p> <p>Определение симметрии. Аналитическая запись преобразований симметрии в пространственной решетке кристалла. Точечные и предельные группы симметрии кристаллов. Системы и сингонии. Кристаллографические обозначения (индексы плоскостей и направлений, номенклатуры групп).</p> <p><u>Элементы симметрии и точечные группы</u></p> <p><u>Пространственные группы симметрии</u> Симметрия структуры кристаллов. Трансляционные группы. Пространственные группы. Обобщенная симметрия кристаллов. Понятия о точечных и пространственных группах антисимметрии и цветной симметрии.</p> <p><u>Простые формы кристаллов.</u></p>	8	12

3	Основы кристаллохимии	<p><u>Строение и свойства атомов. Атомы в кристалле. Системы кристаллохимических радиусов</u></p> <p>Геометрические закономерности атомного строения кристаллов. Правильные системы точек. Связь симметрии структурных единиц с симметрией кристалла. Атомные и ионные радиусы.</p> <hr/> <p><u>Химическая связь атомов в кристалле и энергия кристаллической решетки.</u></p> <p>Классификация структур по типам химической связи. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии. Металлическая связь. Ковалентная связь. Ионная связь. Ван-дер-ваальсова связь.</p> <hr/> <p><u>Основные типы кристаллических структур неорганических соединений</u></p> <p>Интерметаллические соединения. Электронные соединения. Упорядочение. Кристаллические структуры простых веществ. Изоморфизм и твердые растворы. Структура полупроводниковых соединений.</p> <hr/> <p><u>Структурные типы неорганических структур и способы их описания и изображения.</u></p>	8	14
4	Динамика решетки и фазовые переходы	<p><u>Энергетическая кристаллохимия. Фазовые переходы</u></p> <p>Термодинамика фазовых переходов в твердом состоянии. Переходы первого и второго рода. Фазовые диаграммы. Изменение симметрии при фазовых переходах. Фазовые переходы типа смещения и типа порядок–беспорядок. Переходы через несоизмерную фазу. Мартенситные превращения. Принцип Кюри и сохранение симметрии в полидоменном кристалле (явление структурной памяти). Теория Ландау фазовых переходов второго рода, её ограничения и обобщения. Её применение для описания сегнетоэлектриков и ферромагнетиков. Поведение температурных зависимостей физических свойств в окрестности точки фазового перехода. Критические индексы и роль флуктуаций. Акустические и оптические фононы. Теплоемкость, тепловое расширение и теплопроводность кристаллов.</p>	4	14

5	Структурный анализ кристаллов	<p><u>Основы теории дифракции. Дифракция от кристалла.</u>          Геометрическая теория дифракции на трехмерной решетке. Уравнение Лауэ. Уравнение Вульфа—Брегга. Обратная решетка. Основные рентгendifракционные схемы в представлении обратной решетки. Интенсивность рентгеновских рефлексов. Атомная амплитуда. Структурная амплитуда. Интерференционная функция. Интегральная интенсивность. Связь симметрии кристалла и его дифракционной картины. Законы погасания.</p> <p><u>Рентгеноструктурный анализ монокристаллов. Эксперимент и поиск структуры.</u>          Основные экспериментальные задачи рентгеноструктурного анализа. Определение ранее неизвестной структуры. Синтез Фурье как принципиальный метод анализа атомной структуры кристаллов. Особенности постановки задач структурного анализа на ЭВМ. Автоматизация структурного анализа.</p> <p><u>Рентгеноструктурный анализ поликристаллов.</u>          Определение кристаллографических параметров на монокристаллических объектах. Фазовый анализ, структура реального кристалла. Рентгеновская дифракционная микроскопия.</p> <p><u>Динамическая теория.</u>          Дифракция на совершенных кристаллах. Основы динамической теории: эффекты экстинкции, аномального прохождения, маятниковое решение. Рентгеновская интерферометрия.</p> <p><u>Структурная электронография</u>          Дифракция электронов. Основные задачи структурной электронографии.</p>	6	20
---	-------------------------------	---	---	----

		<p><u>Основы дифракции нейтронов. Специфические задачи нейтронографии в исследовании атомной и магнитной структуры кристаллов.</u></p>		
		<p><u>Электронная микроскопия.</u></p>		
6	Выращивание кристаллов	<p><u>Теория роста кристаллов</u> Фазовые равновесия с учетом поверхностной энергии. Гомогенное и гетерогенное образование зародышей. Форма роста, источники слоев и скорости роста граней. Эпитаксия. Экспериментальные методы исследования реальной структуры кристаллов, поверхностей, кристаллизационных сред и процессов. Оптические, рентгеновские, электронномикроскопические методы.</p> <p><u>Кристаллизация из газовой фазы</u> Выращивание кристаллов из газовой фазы. Общие физико-химические закономерности. Методы молекулярных пучков, объемной паровой фазы. Методы химического транспорта. Механизм роста пар-жидкость-кристалл (ПЖК)</p> <p><u>Кристаллизация из расплава</u> Основные методы выращивания кристаллов из расплава. Методы Киропулоса и Чохральского, Стокбаргера—Бриджмена, Вернейля. Зонная плавка.</p> <p><u>Кристаллизация из растворов. Гидротермальный синтез</u> Выращивание кристаллов из растворов. Гидротермальный синтез. Выращивание кристаллов из раствора в расплаве. Механизмы рекристаллизации при отжиге кристаллов.</p>	4	10
7	Физические свойства кристаллов	<p><u>Основы тензорного и симметричного описания физических свойств кристаллов</u></p> <p>Симметричные принципы в кристаллофизике. Связь симметрии кристаллов с симметрией их физических свойств. Использование тензоров для описания физических свойств кристаллов. Полярные и аксиальные тензоры. Наглядное описа-</p>	4	10

		<p>ние тензоров и симметрия указательных поверхностей. Векторы и тензоры, описывающие электрические свойства кристаллов (поляризация, диэлектрическая восприимчивость, индукция). Векторы и тензоры, описывающие магнитные свойства кристаллов. Тензоры, описывающие упругие свойства кристаллов (напряжения, деформации, упругие константы) и их представление в виде матриц.</p> <p><u>Электрические и оптические свойства кристаллов</u></p> <p>Пьезоэлектрические явления. Кристаллографические критерии пьезоэлектричества. Примеры пьезокристаллов. Пироэлектрические явления. Кристаллографические критерии, примеры пироэлектрических кристаллов. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики: доменное строение и особенности электрических свойств. Одноосные и двуосные кристаллы, плоская волна в анизотропной среде, двойное лучепреломление. Нелинейные кристаллы. Оптическая активность кристаллов: электро-магнито-акустооптические явления.</p> <p><u>Магнитные свойства кристаллов</u></p> <p>Упорядоченные магнетики. Типы магнитных структур, магнитная симметрия. Обменное взаимодействие, точки Кюри и Нееля.</p>		
8	Прочность кристаллических тел	<p><u>Механические свойства кристаллов. Дефекты строения кристаллических тел</u></p> <p>Силы межатомной связи. Теоретическая прочность идеальной решетки. Диаграмма деформации кристалла. Дислокационное описание пластической деформации. Анизотропия механических свойств. Процессы разрушения.</p>	2	6
9	Структура и свойства реальных кристаллов	<p><u>Апериодические кристаллы</u></p> <p>Понятие о модулированных фазах в кристаллах. Физические механизмы модуляции. Соразмерная и несоразмерная модуляция. Сателлитные рефлексы. Понятие о группах сверхпространственной (n-мерной) симметрии несоразмерных фаз в кристаллах.</p>	2	8

## 10. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ АСПИРАНТОВ

Цель контроля – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

Предусмотрены следующие виды контроля и аттестации обучающихся при освоении дисциплины:

- текущий контроль успеваемости;
- промежуточная аттестация по завершению периода обучения;

**Текущий контроль успеваемости** обеспечивает оценивание хода освоения дисциплины, может проводиться в виде оценки участия обучающихся в научных и научно-методических мероприятиях, в т.ч. семинарах, дискуссиях, конференциях, исследовательской и публикационной активности, результативности исследовательской и преподавательской деятельности и т.д.

По ПК-4 контроль проводится, в основном, в виде оценки подготовленных по промежуточным результатам проведенных исследований материалов для участия в научных семинарах и конференциях, собственно участия в научных семинарах и конференциях, а также в виде оценки публикационной активности и результативности исследовательской деятельности.

**Промежуточная аттестация** имеет целью определить степень достижения запланированных результатов обучения по дисциплине и предусмотрена в форме экзамена кандидатского минимума.

**10.1** Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина (модуль), и их «карты»

Вид дисциплины		Компетенции  Наименование дисциплины	Универсальные компетенции					Общепрофессиональные компетенции		Профессиональные компетенции				
			УК-1	УК-2	УК-3	УК-4	УК-5	ОПК-1	ОПК-2	ПК-1	ПК-2	ПК-3	ПК-4	ПК-5
Вариативная часть	Обязательная дисциплина	«Кристаллография, физика кристаллов»	+		+	+		+		+	+	+	+	

Критерии оценивания компетенций приведены в ООП по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность «Кристаллография, физика кристаллов» (01.04.18).

**10.2** Контрольные вопросы для проведения текущего контроля

**Тема 1.** Кристаллография и её место среди других наук в современном мире  
Основные вопросы темы



Основные понятия кристаллографии и кристаллофизики. Место кристаллографии и кристаллофизики среди других наук.

Основные понятия трансляционного и ориентационного дальнего порядка, дискретности, периодичности, симметрии и анизотропии, как методологическая основа физики кристаллов.

История формирования и развития кристаллографии и кристаллофизики. Работы Гаюи, Браве, Федорова, Лауэ, Брегга, Вульфа, Кюри, Шубникова и Белова.

## **Тема 2. Основы учения о симметрии**

### Основные вопросы темы

Определение симметрии. Аналитическая запись преобразований симметрии в пространственной решетке кристалла.

Точечные и предельные группы симметрии кристаллов.

Симметрия структуры кристаллов. Трансляционные группы. Пространственные группы. Системы и сингонии, простые формы кристаллов и их комбинации. Кристаллографические обозначения (индексы плоскостей и направлений, номенклатуры групп).

Обобщенная симметрия кристаллов. Понятия о точечных и пространственных группах антисимметрии и цветной симметрии.

## **Тема 3. Основы кристаллохимии**

### Основные вопросы темы

Геометрические закономерности атомного строения кристаллов.

Правильные системы точек. Связь симметрии структурных единиц с симметрией кристалла. Атомные и ионные радиусы. Координационные структуры. Принципы плотнейшей упаковки.

Кристаллические структуры простых веществ. Классификация структур. Изоморфизм и твердые растворы.

Интерметаллические соединения. Электронные соединения. Упорядочение.

Классификация структур по типам химической связи. Ионные структуры. Структура полупроводниковых соединений. Структура комплексных и элементоорганических соединений.

Принципы органической кристаллохимии. Строение органических молекул и их упаковка в кристалле. Кристаллы полимеров. Биологические структуры.

Жидкие кристаллы. Нематики, холестерики и смектики.

## **Тема 4. Динамика решетки и фазовые переходы**

### Основные вопросы темы

Термодинамика фазовых переходов в твердом состоянии. Переходы первого и второго рода. Фазовые диаграммы.

Изменение симметрии при фазовых переходах. Фазовые переходы типа смещения и типа порядок–беспорядок. Переходы через несоизмерную фазу. Мартенситные превращения. Принцип Кюри и сохранение симметрии в полидоменном кристалле (явление структурной памяти).

Теория Ландау фазовых переходов второго рода, её ограничения и обобщения.

Её применение для описания сегнетоэлектриков и ферромагнетиков. Поведение температурных зависимостей физических свойств в окрестности точки фазового перехода. Критические индексы и роль флуктуаций.

Акустические и оптические фононы. Теплоемкость, тепловое расширение и теплопроводность кристаллов.

## **Тема 5. Структурный анализ кристаллов**

### Основные вопросы темы

Геометрическая теория дифракции на трехмерной решетке. Уравнение Лауэ. Уравнение Вульфа—Брегга. Обратная решетка. Основные рентген-дифракционные схемы в представлении обратной решетки.

Интенсивность рентгеновских рефлексов. Атомная амплитуда. Структурная амплитуда. Интерференционная функция. Интегральная интенсивность. Связь симметрии кристалла и его дифракционной картины. Законы погасания.

Дифракция на совершенных кристаллах. Основы динамической теории: эффекты экстинкции, аномального прохождения. Рентгеновская интерферометрия.

Основные экспериментальные задачи рентгеноструктурного анализа:

- определение ранее неизвестной структуры. Синтез Фурье как принципиальный метод анализа атомной структуры кристаллов. Особенности постановки задач структурного анализа на ЭВМ. Автоматизация структурного анализа.
- определение кристаллографических параметров на монокристаллических объектах, фазовый анализ, структура реального кристалла.
- рентгеновская дифракционная микроскопия.

Дифракция электронов. Основные задачи структурной электронографии.

Специфические задачи нейтронографии в исследовании атомной и магнитной структуры кристаллов.

Электронная микроскопия кристаллов.

Степень кристалличности / аморфности природных и синтетических образований.

## **Тема 6. Выращивание кристаллов**

### Основные вопросы темы

Фазовые равновесия с учетом поверхностной энергии. Гомогенное и гетерогенное образование зародышей.

Форма роста, источники слоев и скорости роста граней. Эпитаксия.

Экспериментальные методы исследования реальной структуры кристаллов, поверхностей, кристаллизационных сред и процессов. Оптические, рентгеновские, электронно-микроскопические методы.

Выращивание кристаллов из газовой фазы. Общие физико-химические закономерности. Методы молекулярных пучков, объемной паровой фазы. Методы химического транспорта. Механизм роста пар–жидкость–кристалл (ПЖК).

Выращивание кристаллов из растворов. Гидротермальный синтез.

Выращивание кристаллов из раствора в расплаве.

Механизмы рекристаллизации при отжиге кристаллов.

Основные методы выращивания кристаллов из расплава. Методы Киропулоса и Чохральского, Стокбаргера—Бриджмена, Вернейля. Зонная плавка.

## **Тема 7. Физические свойства кристаллов**

Кристаллы как сплошная однородная анизотропная среда

### Основные вопросы

Симметричные принципы в кристаллофизике. Связь симметрии кристаллов с симметрией их физических свойств.

Использование тензоров для описания физических свойств кристаллов. Полярные и аксиальные тензоры. Наглядное описание тензоров и симметрия указательных поверхностей.

Векторы и тензоры, описывающие электрические свойства кристаллов (поляризация, диэлектрическая восприимчивость, индукция).

Векторы и тензоры, описывающие магнитные свойства кристаллов.

Тензоры, описывающие упругие свойства кристаллов (напряжения, деформации, упругие константы) и их представление в виде матриц.

Кристаллы с особыми физическими свойствами

### Основные вопросы

Пьезоэлектрические явления. Кристаллографические критерии пьезоэлектричества. Примеры пьезокристаллов.

Пироэлектрические явления. Кристаллографические критерии, примеры пироэлектрических кристаллов.

Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики: доменное строение и особенности электрических свойств. Структура и свойства титаната бария, гидрофосфата калия, сегнетовой соли.

Упорядоченные магнетики, типы магнитных структур, магнитная симметрия. Обменное взаимодействие, точки Кюри и Нееля.

Одноосные и двуосные кристаллы, плоская волна в анизотропной среде, двойное лучепреломление. Нелинейные кристаллы.

Оптическая активность кристаллов: электро-магнито-акустооптические явления. Лазерные кристаллы.

## **Тема 8. Прочность кристаллических тел**

### Основные вопросы темы

Силы межатомной связи. Теоретическая прочность идеальной решетки. Диаграмма деформации кристалла.

Дислокационное описание пластической деформации. Анизотропия механических свойств. Процессы разрушения.

## **Тема 9. Структура и свойства реальных кристаллов**

### Основные вопросы темы

Классификация дефектов кристаллического строения: точечные дефекты, дислокации, дефекты упаковки, кластеры. Вектор Бюргерса. Дислокационные реакции.

Субструктура кристаллов. Дислокационная структура границ, блоков и зерен.

Механическое двойникование. Двойники и фазовые превращения. Полисинтетические структуры.

Методы наблюдения дефектов кристаллической решетки: оптические, дифракционные, электрические.

Влияние дефектов кристаллической решетки на образование и физические свойства кристаллов. Структурно-чувствительные свойства полупроводниковых, диэлектрических и магнитных кристаллов.

### Методы исследования структуры кристаллов

#### Основные вопросы

Рентгеноструктурный анализ (получение и свойства рентгеновских лучей; сплошной и характеристический спектры рентгеновского излучения, их применение для структурного и фазового анализа; поглощение и рассеяние рентгеновского излучения монокристаллом; Уравнения Лауэ и Вульфа-Брэгга; интерференция рентгеновских лучей в поликристаллических веществах; современные методы съемки рентгенограмм: метод Лауэ, Дебая-Шерера, дифрактометрический, метод вращающегося кристалла; интерпретация данных и информационное обеспечение метода; идентификация минералов. возможности и недостатки метода рентгеноструктурного анализа.

Электроннография, нейтронография (исследование тонкодисперсных кристаллов и минералов с помощью дифракции электронов; изучение радиоактивных минералов методом радиографии).

Метод инфракрасной спектроскопии (исследование кристаллов методом инфракрасной спектроскопии; особенности методики измерений характеристических спектров минералов; современные инфракрасные спектрометры; идентификация минералов в полиминеральной пробе).

Электронный сканирующий микроскоп (исследование микроструктуры кристаллов в отражённых (обратно рассеянных) и вторичных электронах; исследование тонкодисперсных минералов нано- и микрокристаллов с помощью сканирующего электронного микроскопа).

### Методы исследования физических свойств кристаллов и минералов

#### Основные вопросы

Оптические свойства кристаллов и методы их изучения (Природа окраски кристаллов и минералов; влияние внешних воздействий на оптические свойства минералов и кристаллов.; колориметрический метод; закон Бугера-Ламберта-Бера; оптическая плотность; коэффициенты пропуска-

ния; спектры отражения; регистрация спектров оптического поглощения кристаллов в видимой и ультрафиолетовой области).

Люминесцентные свойства кристаллов и минералов (фотолюминесценция; рентгенолюминесценция; термолюминесценция; импульсная катодолюминесценция).

Электрические свойства кристаллов и минералов (проводники, диэлектрики и полупроводники; собственная и примесная проводимость; методы изучения электропроводности кристаллов и минералов).

Воздействие ионизирующего излучения на реальные кристаллы (Радиационные дефекты и центры окраски в кристаллах и минералах; эффект радиационной «памяти»; модификация свойств кристаллов с помощью ионизирующего излучения; радиационное спекание поликристаллов).

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

### **Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:**

При выполнении лабораторных работ используются компьютеры с характеристиками не ниже Pentium 4 - 3Гц/512Мб/80ГБ с 17-дюймовыми мониторами, объединенные в локальную сеть, подключенную через сеть ИК РАН к Интернет. Для получения необходимой информации используются Web-ресурсы Интернет и локальная библиотека электронных материалов.

Залы, оснащенные компьютером с проектором, обычной доской - для проведения семинаров, лекционных и практических занятий.

Современные спектрометры, лазерные источники, интерферометры, дифракционные решетки, осциллографы, фотоумножители, многоэлементные приёмники излучения.

### **Перечень оборудования:**

1. Просвечивающий электронный микроскоп FEI Osiris с X-FEG и SuperX детектором
2. Просвечивающий электронный микроскоп высокого разрешения Tecnai G30 STwin 300кВ Tecnai G30 ST 300кВ (FEI)
3. Исследовательский комплекс NTEGRA prima (HT-МДТ)
4. Высокоразрешающий автоэмиссионный растровый электронный микроскоп FEI Scios с ионной пушкой (FEI)
5. Рентгеновский дифрактометр Xcalibur S™ (Oxford)
6. Спектрофотометр Cary 5000 (Varian)
7. Порошковый рентгеновский дифрактометр X'PERT PROMPD (PANalytical)
8. Растровый электронный микроскоп FEI Quanta 200 3D FIB с ионной пушкой (FEI)
9. Рентгеновский дифрактометр SmartLab 9kW (Rigaku)
10. Растровый электронный микроскоп JSM-7401F с автоэмиссионным катодом (JEOL)
11. Рентгеновский малоугловой дифрактометр SAXS-2D (HECUS X-raysystem GmbH GRAZ) с двумя позиционно-чувствительными детекторами
12. Оптический лазерный конфокальный микроскоп Leica TCS SPE (Leica Microsystems)
13. Анализатор размера субмикронных частиц DelsaNano (BeckmanCoulter)
14. УФ-спектрофотометр Lambda 650 (PerkinElmer)
15. Атомно-силовой микроскоп SolverPro M (HT-МДТ)
16. Настольный рентгеновский дифрактометр Miniflex 600 (Rigaku)
17. Криогенный просвечивающий электронный микроскоп Tecnai G2 SPIRIT (FEI)
18. Установка молекулярно-лучевой эпитаксии Pfeiffer Vacuum
19. Масс-спектрометр на индуктивно связанной плазме ICapQ (ThermoScientific)
20. Нанотвердомер Nanoscan 3D (ТИСНУМ)

## **12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература:**

1. Современная кристаллография. В четырех томах. Вайнштейн Б.К. 1979 г. Издательства Наука.

2. Проблемы кристаллологии. Издательство Московского Университета. 1971 г.
3. Проблемы кристаллографии. 1987 г. Издательство «Наука».
4. Физика конденсированного состояния. Учебное пособие. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. 2014г. Издательство Бинوم. Лаборатория знаний. 293 с.
5. Павлов Павел Васильевич, Хохлов Александр Федорович  
Физика твердого тела: Учебник. Изд. 4-е. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 496с.
6. Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. Добросвет. Издательство «КДУ». Москва, 2014.
7. Наука и жизнь: моя конвергенция. Избранные научные труды. М.В. Ковальчук. 2011 г. Москва, ИКЦ «Академкнига». Тома 1 и 2.
8. Теоретическая физика. В 10-и томах. Том 5. Статистическая физика. В 2-х частях. Часть 1. Учебное пособие. Гриф МО РФ. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц 2013г. Издательство Физматлит, 293 с.
9. Теоретическая физика. Учебное пособие. В 10-и томах. Том IX: Статистическая физика. Часть 2: Теория конденсированного состояния. Гриф МО РФ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц 2015г. Издательство Физматлит, 440 с.
10. Дифракционный структурный анализ. А.С. Илюшин, А.П. Орешко. 2013 г. М.: физический факультет МГУ, Издательский дом «Крепостновъ». 616 с.
11. Хельтье Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтье, В. Зиппль, Д. Роньян, Г. Фолькерс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 318с.:
12. Хельтье Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтье, В. Зиппль, Д. Роньян, Г. Фолькерс; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 319с.
13. Кристаллография. Лабораторный практикум. Под редакцией Е.В. Чупрунова. Москва. Физматлит, 2005.

#### **Дополнительная литература:**

1. Структурные исследования кристаллов. 1996 г. Наука Физматлит.
2. Б. К. Вайнштейн. Кристаллография и жизнь. 2012 г. Москва Физматлит.
3. Жидкие кристаллы Структура и свойства Л. М. Блинов 2015 г. Издательство Либроком. 484 с.
4. Кристаллология. Основные представления о кристаллах, кристаллических веществах и методах их изучения. Задачи по геометрической кристаллографии и анализ их решений. Завьялов Е.Н. 2016г. Издательство Книжный дом «Университет» (КДУ), 314 с.
5. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью  
Фейнмановские лекции по физике: Вып.1, 2: Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 11-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 448с.; Вып.3: Излучение. Волны. Кванты: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 10-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. – 256с.; Вып.4: Кинетика. Теплота. Звук: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 10-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. - 272с.; Вып.5: Электричество и магнетизм: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. стереотип. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. - 304с.; Вып.6: Электродинамика: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 8-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. - 360с.; Вып.7: Физика сплошных сред: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 8-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. - 288с.; Вып.8, 9: Квантовая механика: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 8-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. - 528с.

6. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэнде Мэтью  
 Фейнмановские лекции по физике: Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 1-4: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. и с предисл. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. - 280с.; Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 5-9: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. - 272с.

**Периодические издания, электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.д.:**

<b>РИНЦ</b>	<a href="https://elibrary.ru/orgs.asp">https://elibrary.ru/orgs.asp</a>
<b>Web of Science</b>	<a href="http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&amp;search_mode=GeneralSearch&amp;SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&amp;preferencesSaved=">http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&amp;search_mode=GeneralSearch&amp;SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&amp;preferencesSaved=</a>
<b>Scopus</b>	<a href="https://www.scopus.com/home.uri">https://www.scopus.com/home.uri</a>
<b>Google Scholar citations</b>	<a href="https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8A-AAJ&amp;hl=ru">https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8A-AAJ&amp;hl=ru</a>
<b>IOP</b> Institute of Physics материалы компании IOP Publishing Limited, а именно, база данных IOP Journal	<a href="http://www.iop.org/">http://www.iop.org/</a>
<b>AIP</b> материалы компании American Institute of Physics	<a href="https://www.aip.org/">https://www.aip.org/</a>
<b>CASC</b> материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC	<a href="https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases">https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases</a>
<b>APS</b> Журналы Американского физического общества база данных APS Online Journals	<a href="https://www.aps.org/">https://www.aps.org/</a>
<b>IEEE</b> материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, а именно, база данных IEEE/IEL	<a href="http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp">http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp</a>
<b>RSC</b> материалы Royal Society of Chemistry	<a href="http://pubs.rsc.org/">http://pubs.rsc.org/</a>
<b>Wiley</b> материалы компании John Wiley & Sons Ltd., а именно база данных Wiley Journals	<a href="http://onlinelibrary.wiley.com/">http://onlinelibrary.wiley.com/</a>
<b>Inspec</b> материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных INSPEC	<a href="https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec">https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec</a>
<b>ProQuest</b> материалы компании и PROQUEST LLC, а именно база	<a href="https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html">https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html</a>

данных Proquest Dissertations and Theses Global	
<b>SpringerNature</b> Зарубежные электронные ресурсы издательства, а именно: Springer Journals Springer Protocols Springer Materials Springer Reference zbMATH Nature Journals Nano Database	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a> <a href="http://www.springerprotocols.com/">http://www.springerprotocols.com/</a> <a href="http://materials.springer.com/">http://materials.springer.com/</a> <a href="http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22">http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22</a> <a href="http://zbmath.org/">http://zbmath.org/</a> <a href="http://npg.com/">http://npg.com/</a> <a href="https://nano.nature.com">https://nano.nature.com</a>
<b>Elsevier B.V. Science Direct Complete Freedom Collection</b> зарубежные электронные ресурсы издательства Elsevier «Freedom Collection» и коллекция электронных книг «Freedom Collection eBook collection», размещенных на платформе Science Direct	<a href="https://www.elsevier.com/">https://www.elsevier.com/</a>
<b>CCDC - Cambridge Crystallographic Data Centre</b> Зарубежные электронные ресурсы Кембриджского центра структурных данных	<a href="https://www.ccdc.cam.ac.uk/">https://www.ccdc.cam.ac.uk/</a>
<b>Scifinder</b> База данных	<a href="https://scifinder.cas.org">https://scifinder.cas.org</a>

Программное обеспечение:

Наименование программного обеспечения	Официальный сайт
CrysAlisPro Software System, Version 1.171.39.46, Rigaku	Rigaku Oxford Diffraction, <i>CrysAlisPro Software System</i> , Version 1.171.39.46, Rigaku Corporation, Oxford, UK).
Crystallographic Computing System JANA2006 SHELX	Petricek, V.; Dusek, M.; Palatinus, L. Crystallographic Computing System JANA2006: General Features. // Z. Kristallogr. 229 (2014) 345-352.
Charge Flipping in Superspace	Palatinus, L. Ab Initio Determination of Incommensurately Modulated Structures by Charge Flipping in Superspace. // Acta Crystallogr. A60 (2004) 604-610.
GROMACS	<a href="http://www.gromacs.org">http://www.gromacs.org</a>
CCP4	<a href="http://www.ccp4.ac.uk/">http://www.ccp4.ac.uk/</a>
Phenix	<a href="https://www.phenix-online.org">https://www.phenix-online.org</a>



XDS	<a href="http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de">http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de</a>
Autodock Vina	<a href="http://vina.scripps.edu">http://vina.scripps.edu</a>
Pymol	<a href="https://pymol.org">https://pymol.org</a>
Nova Px	<a href="https://www.ntmdt-si.com/">https://www.ntmdt-si.com/</a>
JEMS (Java Electron Microscopy Simulation)	<a href="http://www.jems-saas.ch/Home/jemsWebSite/jems.html">http://www.jems-saas.ch/Home/jemsWebSite/jems.html</a>
АнНа (Анализатор Наночастиц)	<a href="https://crys.ras.ru/struktura-instituta/nauchnye-podrazdeleniya/otdel-elektronnoj-kristallografii/laboratoriya-elektronografii">https://crys.ras.ru/struktura-instituta/nauchnye-podrazdeleniya/otdel-elektronnoj-kristallografii/laboratoriya-elektronografii</a>

**13. Язык преподавания - русский.**