

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 »

2020 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена
по дисциплине «Кристаллография, физика кристаллов» (01.04.18)

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность: « Кристаллография, физика кристаллов» (01.04.18)

Москва

2020

«Кристаллография, физика кристаллов» (01.04.18)

по физико-математическим, техническим
и химическим наукам

Введение

В основу программы положены следующие дисциплины: кристаллография, физика кристаллов, физика кристаллов с дефектами, основы физики твердого тела, рентгеноструктурный анализ, кристаллохимия (атомная структура кристаллов), образование и рост кристаллов. Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по физике при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института металлургии им. Байкова РАН и Института кристаллографии им. Шубникова РАН (программа утверждена приказом Минобрнауки Российской Федерации № 274 от 08.10.2007 г.).

1. Историко-философские аспекты кристаллографии и кристаллофизики

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.

2. Основы учения о симметрии и теории групп

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. Кристаллографические обозначения (индексы плоскостей и направлений, номенклатуры групп).

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

3. Атомная структура кристаллов

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.

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.

Понятие о квазикристаллах. Особенности структуры и симметрии и их отражение в дифракционных картинах.

4. Фазовые переходы и динамика решетки

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 несоразмерную 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.

5. Структурный анализ кристаллов

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.

Дифракция на совершенных кристаллах. Основы динамической теории: эффекты экстинкции, аномального прохождения, маятниковое решение. 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. Мессбауэрография. Дифракция протонов и эффектней.

Электронная микроскопия кристаллов.

6. Выращивание кристаллов

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.

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.

7. Кристаллы как сплошная однородная анизотропная среда

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.

8. Кристаллы с особыми физическими свойствами

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.

9. Прочность кристаллических тел

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

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

10. Структура и свойства реальных кристаллов

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.

Дополнительная программа
промежуточного (кандидатского) экзамена
по дисциплине «Кристаллография, физика кристаллов»

«Поверхностно-чувствительные и спектрально-селективные рентгеновские методы анализа»

Рентгеновское, синхротронное излучение – получение и свойства. Лазеры на свободных электронах (FEL) – получение и свойства. Теоретические основы дифракции и рассеяния рентгеновского излучения. Устройства коллимации и монохроматизации рентгеновского излучения, типы детекторов. Методы регистрации ионизирующих излучений. Экспериментальная база структурных исследований - лабораторные дифрактометры, синхротронные и FEL станции.

Двух и трехкристальные схемы. Угловая и спектральная расходимость. Коллимация и монохроматизация рентгеновского пучка. Однокристалльный и многокристалльный монохроматор. Параллельная, непараллельная и антипараллельная геометрия. Двукристалльная кривая дифракционного отражения (КДО). Трехкристалльная КДО. Многоволновая КДО.

Рентгеноакустика. Классификация рентгеноакустических взаимодействий. Особенности коротковолнового, средневолнового, длинноволнового диапазона взаимодействий. Типы деформаций, рентгеноакустические резонаторы. Свойства рентгеноакустических резонаторов. Управление параметрами рентгеновского излучения: интенсивность, длина волны, угол. Стробоскопическая техника и методы регистрации.

Вторичные процессы при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом. Характеристический спектр атомов. Рентгенофлуоресцентный анализ.

Отражение, преломление и поглощение рентгеновского излучения, явление полного внешнего отражения. Условия формирования волнового поля стоячей рентгеновской волны в области полного внешнего отражения и в условиях брегговской дифракции. Схема экспериментальной реализации метода стоячих рентгеновских волн. Возможности применения метода стоячих рентгеновских волн.

«Методы электронной микроскопии для визуализации и анализа структуры микро- и наносистем»

Преимущества использования ПЭМ, по сравнению с другими методиками исследования. Радиационные повреждения образцов в ПЭМ. Полупроводниковые детекторы, сцинтилляторы-ФЭУ и их преимущества и недостатки. Получение изображений кристаллической решетки. Картины Муара.

Электронная томография. Энергодисперсионный спектрометр. Волновой спектрометр. Принципы работы растрового микроскопа. Системы растрового микроскопа.

Устройство ионных источников ФИП. Применение ФИП в исследованиях материалов.

«Органические и биоорганические материалы: получение, структура и свойства»

Типы и принципы формирования органических капсул и упорядоченных пленок. Молекулярная организация и свойства биологических мембран.

Физико-химические свойства белковых растворов. Получение органических и биоорганических материалов и систем

Способы создания полимерных капсул. Методы получения упорядоченных органических пленок. Основные методы кристаллизации белков. Кристаллизация белков методом диффузии паров растворителя в висячей капле. Кристаллизация белков методом встречной диффузии. Свойства белковых кристаллов.

Методы исследования устойчивости органических, биоорганических и гибридных систем

Оптические, рентгеновские и электронографические методы структурной диагностики.

Особенности организации органических пленок на поверхности жидкости.

Белки, их строение, свойства, функции. Для чего необходимо знать трехмерные структуры белков.

Основные этапы исследования пространственной структуры белков методом рентгеноструктурного анализа.

Методы исследования функциональных свойств фоточувствительных органических систем.

Комплексы программ для решения задач белковой кристаллографии на ЭВМ. Возможности программ Mosfilm, Phaser, Refmac, Coot, PyMol.

«Рентгеновские методы исследования не полностью упорядоченных систем»

Диапазон рентгеновских длин волн и энергий. Отличительные особенности рентгеновского излучения. Основные виды взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Основные методы рентгеновских исследований.

Виды источников рентгеновского излучения. Принцип работы рентгеновской трубки. Принцип работы синхротронного источника. Принцип работы сцинтилляционного детектора.

Преимущества и недостатки рентгеновского рассеяния перед атомно-силовой микроскопией. Сущность PSD-функции и её связь с рельефом поверхности. Сущность эффекта Ионеды (аномальное рассеяние).

Сущность типов томографии (РКТ, МРТ и др.), их сходства и различия. Недостатки обычной рентгенографии. Закон Бэра.

Достоинства и ограничения метода малоуглового рассеяния.
Основные особенности конструкции малоугловых дифрактометров.
Преимущества и недостатки используемых в дифракционных экспериментах источников излучения, рентгеновских и нейтронных.

«Когерентное взаимодействие ультракоротких рентгеновских импульсов с веществом»

Современные экспериментальные методики для импульсных источников рентгеновского излучения (pump – probe, imaging).

Детекторы и методы обработки данных эксперимента с РЛСЭ (рентгеновскими лазерами на свободных электронах).

Общее описание станций РЛСЭ для жесткого и мягкого рентгена.

Рентгеновская оптика для сверхярких импульсных источников.

«Рост кристаллов»

Движущая сила кристаллизации. Критерий Джексона. Кинетика дислокационного роста и двумерного образования зародышей. Методы кристаллизации из растворов, расплавов, паровой фазы. Методы эпитаксии.

Образование дислокаций при росте кристаллов из растворов и расплава. Захват примесей: механизмы релаксации кристалла. Зонарное и секториальное строение кристалла. Механизмы захвата включений различной природы.

Уравнение конвективной диффузии. Конвекция Марангони. Свойства диаграмм Скрейнемакерса. Критерий объемно-дефицитного и объемно-избыточного замещения. Причины, определяющие зонарность смешанных кристаллов.

«Рост, структура и современные методы исследования поверхности тонких пленок»

Методы роста тонких пленок. Технология молекулярно-лучевой эпитаксии. Основные узлы установки для проведения молекулярно-лучевой эпитаксии.

Механизм послойного роста (Франка–ван дер Мерве). Механизм островкового роста (Вольмера–Вебера). Механизм Странского - Крастанова.

Построение модели роста.

Основы метода дифракция быстрых электронов на отражение.

Слежение в реальном времени за следующими параметрами роста: чистота поверхности; температура образца; ориентация подложки; скорость роста.

Основы метода СЗМ. Контактная и полуконтактная СЗМ.

Методика фазового контраста. Применение методики фазового контраста для идентификации фаз.

«Современные методы моделирования структуры и свойств неорганических и органических материалов »

Симметрия кристаллов и их наблюдаемые свойства. Принципы Неймана и Кюри. Фазовые переходы в кристаллических средах. Переходы первого и второго рода в жидких кристаллах.

Кинематическая и динамическая теория дифракции, пределы применимости. Двухволновое и многоволновое приближения. Сходство и различие поляризационных явлений для фотонов и нейтронов.

Классификация дефектов кристаллической решетки, полные и частичные дислокации. Дислокации: контур и вектор Бюргерса. Взаимодействие дислокаций с примесями. Упругое взаимодействие дислокаций и его связь с пластичностью кристаллов, дислокационные реакции, диссоциация дислокаций

Вариационный принцип Хоэнберга-Кона. Принципы построения нормосохраняющих потенциалов в теории функционала плотности

Механизм формирования оптических свойств конденсированных сред.

Принципы теории локального поля. Оптические свойства композитов на основе наноразмерных металлических частиц и структур.

Функциональные свойства метаматериалов и субволновых решеток.

Квазистатическое приближение для наноразмерных частиц

Эпсилон-метод и задача на собственные значения интегрального оператора. Программирование в среде Matlab.

Нетрадиционные магнетики, мультиферроники. Магнитная анизотропия кристаллов, магнитные явления, связанные с взаимодействием Дзялошинского-Мории. Пространственно неоднородные магнитные структуры: периодические и аperiodические

«Современные методы электронной кристаллографии для анализа структуры кристаллов, наносистем и нанокompозитов»

Теоретические основы структурных исследований методами дифракции электронов и электронной микроскопии. Методики структурных исследований. Сбор данных методом дифракционного и электронно-микроскопического исследования.

Первичная обработка экспериментальных данных, полученных методами дифракции электронов и электронной микроскопии. Математические методы обработки экспериментальных данных.

Пакеты программ структурного анализа для методов дифракции электронов и электронной микроскопии.

Методы построения моделей строения неорганических и органических кристаллов, наносистем и нанокompозитов.

«Современные методы анализа кристаллической структуры»

Теоретические основы рентгеноструктурного анализа. Экспериментальная база рентгеноструктурного анализа. Подготовка образцов, сбор рентгеновских дифракционных данных.

Первичная обработка рентгеновских дифракционных данных. Математические методы обработки рентгеновских дифракционных экспериментальных данных.

Пакеты программ для рентгеноструктурного анализа кристаллов.

Методы построения моделей строения кристаллов.

«Методы атомно-силовой микроскопии для исследования поверхности кристаллов и пленок»

Физические основы метода мультимодовой атомно-силовой микроскопии. Устройство и принципы работы атомно-силового микроскопа (контактный, неконтактный, прерывисто-контактный, режим боковых сил). Классификация артефактов. Методы учета и исключения артефактов в процессе эксперимента и при анализе экспериментальных данных.

Математический аппарат, используемый в методах обработки и анализа экспериментальных данных в АСМ. Система параметров, характеризующая топографию поверхности: метрические (амплитудные, функциональные, пространственные) и фрактальные.

Применение метода АСМ к исследованию сегнетоэлектриков. АСМ как инструмент нанотехнологий. Применение в области молекулярной биологии.

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 Бином. 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., Сэндс 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.:

РИНЦ	https://elibrary.ru/orgs.asp
Web of Science	http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&preferencesSaved=
Scopus	https://www.scopus.com/home.uri
Google Scholar citations	https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8AAAAJ&hl=ru
IOP Institute of Physics материалы компании IOP Publishing Limited, а именно, база	http://www.iop.org/

данных IOP Journal	
AIP материалы компании American Institute of Physics	https://www.aip.org/
CASC материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC	https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases
APS Журналы Американского физического общества база данных APS Online Journals	https://www.aps.org/
IEEE материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, а именно, база данных IEEE/IEL	http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
RSC материалы Royal Society of Chemistry	http://pubs.rsc.org/
Wiley материалы компании John Wiley & Sons Ltd., а именно база данных Wiley Journals	http://onlinelibrary.wiley.com/
Inspec материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных INSPEC	https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec
ProQuest материалы компании и PROQUEST LLC, а именно база данных Proquest Dissertations and Theses Global	https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html

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