

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан физического факультета



С.Н. Филимонов

2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Рентгеноструктурный анализ

по направлению подготовки

03.03.02 – Физика

Направленность (профиль) подготовки:

«Фундаментальная физика»

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр

Год приема

2021

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.07.03

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск – 2021

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий;

ОПК-2. Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования ;

ИОПК 2.2. Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования.

2. Задачи освоения дисциплины

Освоить физические представления о природе и свойствах рентгеновского излучения, кинематическую и динамические теории рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах, основные методы рентгеноструктурного анализа.

– Научиться применять физические представления и методы рентгеноструктурного анализа в решении практических и теоретических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, входит в модуль по выбору "Физика металлов".

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 5, зачет; Семестр 6, зачет с оценкой.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: математический анализ; линейная алгебра и аналитическая геометрия; дифференциальные уравнения.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часа, из которых:

– лекции: 80 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Часть I. Теория дифракции рентгеновских лучей и методы наблюдения.

Раздел 1. Природа и свойства рентгеновского излучения.

Тема 1.1. Природа рентгеновского излучения.

Введение (историческая справка). Природа рентгеновских лучей. Преломление, отражение, поляризация. Источники и интенсивность рентгеновского излучения. Процесс образования рентгеновских лучей. Непрерывные спектры (спектры тормозного излучения).

Характеристические (линейчатые) спектры. Закон Мозли. Роль структурного анализа в исследовании кристаллов.

Тема 1.2. Прохождение рентгеновских лучей через вещество.

Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Коэффициенты ослабления рентгеновских лучей. Линейный коэффициент ослабления РЛ. Массовый коэффициент ослабления РЛ. Атомный коэффициент ослабления РЛ. Электронный коэффициент ослабления РЛ. Зависимость поглощения РЛ от длины волны и природы (атомного номера) элемента. Некоторые приложения (Устранение линии К β . Выделение узкой спектральной полосы при помощи «двойного фильтра Россса»)..

Раздел 2. Кинематическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах.

Тема 2.1. Функция атомного рассеяния.

Рассеяние лучей свободным электроном. Формула Томсона. Когерентное и некогерентное рассеяние лучей. Фактор атомного рассеяния (атомный фактор): рассеяние атомами решетки; рассеяние беспорядочным скоплением атомов (разреженный газ).

Тема 2.2. Рассеяние рентгеновских лучей кристаллом.

Введение (цель, основные допущения теории Лауэ). Интерференция рентгеновских лучей. Уравнение Вульфа – Брэгга. Амплитуда рассеяния рентгеновских лучей кристаллом малого размера. Уравнение Лауэ. Интерференционная функция для рассеяния рентгеновских лучей кристаллом. Свойства интерференционной функции Лауэ. Интерференционная функция в обратном пространстве. Сфера Эвальда и ее построение. Связь размера и формы узла обратной решетки с размером и формой кристалла.

Тема 2.3. Дифракция на сложной решетке.

Структурная амплитуда и структурный множитель. Примеры расчета структурного множителя. Примитивная решетка. Объемно-центрированная решетка. Гранецентрированная решетка. Решетка алмаза. Погасания отражений, характеризующие пространственные группы. Интегральные погасания. Сериальные погасания. Зональные погасания. Структурный фактор, как Фурье-образ распределения электронной плотности в ячейке кристалла.

Тема 2.4. Основополагающие принципы методов рентгеноструктурного анализа.

Принципы методов рентгеноструктурного анализа. Метод Лауэ. Метод вращения. Метод Косселя. Метод порошка (метод Дебая — Шеррера). Рентгеновская дифрактометрия. Дифрактометрия монокристаллов. Дифрактометрия поликристаллов. Обзор современного оборудования и возможных методов дифрактометрии.

Тема 2.5. Интегральная отражательная способность.

Интегральное отражение, как мера рассеивающей способности кристалла. Мозаичный кристалл. Допущения кинематической теории рассеяния рентгеновских лучей. Интегральное отражение для идеально мозаичного кристалла. Интегральное отражение от поликристалла (кристаллических порошков). Учет поглощения. Абсорбционный фактор. Частные случаи конкретных форм образцов. Образец в форме плоской бесконечно протяженной пластинки толщиной d . Съемка на отражение (геометрия Брэгга), случай симметричного отражения. (б) съемка на отражение (геометрия Брэгга), случай несимметричного отражения. (в) съемка на просвет (геометрия Лауэ), случай симметричного отражения. (г) съемка на просвет (геометрия Лауэ), случай несимметричного отражения. Цилиндрические и сферические образцы. Влияние температурных колебаний узлов решетки на рассеяние рентгеновских лучей. Вычисление температурного множителя для кубического кристалла по методу Дебая.

Раздел 3. Динамические теории рассеяния рентгеновских лучей.

Тема 3.1. Динамическая теория Дарвина.

Введение. (1) Динамическая теория Дарвина. (2) Динамическая теория Эвальда. Основы динамической теории Дарвина. Поправка на преломление. Отклонения от закона Вульфа-Брэгга. Отражение от семейства кристаллических плоскостей с учетом многократных отражений. Отражение от семейства плоскостей по Дарвину без учета поглощения лучей.

Область полного отражения от грани малопоглощающего кристалла. Интегральная отражательная способность идеального кристалла.

Тема 3.2. Основы динамической теории Эвальда-Лауэ.

Поправка на первичную экстинкцию в динамической теории Дарвина. Основные положения теории Эвальда – Лауэ. Одноволновой случай в динамической теории. Дисперсионные поверхности. Двухволновой случай: два узла обратной решетки на сфере Эвальда. Уравнение поверхностей дисперсии. Неограниченный кристалл. Положение центров распространения. Ограниченный кристалл. Случай Лауэ. Соотношения между амплитудами и фазами волн, принадлежащих одному центру распространения.

Часть II. Применение рентгеноструктурного анализа к исследованию кристаллических материалов.

Раздел 4. Применение рентгеноструктурного анализа к исследованию кристаллических материалов.

Тема 4.1. Связь узлов обратной решетки с размером и формой кристалла.

Амплитуда волны, рассеянной ограниченным кристаллом. Интенсивность волны, рассеянной ограниченным объектом. Профиль линии идеального поликристалла, обусловленный размерами областей когерентного рассеяния.

Тема 4.2. Дифракция на малых кристаллах.

Реальный кристалл. Области когерентного рассеяния. Дифракция на кристаллах с малыми размерами областей когерентного рассеяния. Ширина области отражения. Способы определения ширины рентгеновской линии. Ширина рентгеновской линии на $\frac{1}{2}$ высоты максимума. Интегральная ширина рентгеновской линии. Размытие линии поликристаллического материала, обусловленное микродеформацией решетки.

Тема 4.3. Анализ профиля и ширины рентгеновской линии.

Связь между интегральными ширинами линий исследуемого образца и эталона. Метод аппроксимаций. Анализ формы интерференционной линии (гармонический анализ). Случай размытия, обусловленного мелкодисперсностью. Случай размытия, обусловленного только наличием микронапряжений в образце. Алгоритм метода Экспериментальное использование метода ГАФРЛ. Условия экспериментального использования метода ГАФРЛ. Разделение Ка- дублета: Графический метод. Метод Речингера. Метод моментов. Момент функции первого порядка, его геометрический (физический смысл). Момент функции второго порядка, его геометрический (физический смысл). Частные случаи формул для моментов: Уширение профиля РЛ за счет малости блоков; Уширение профиля РЛ за счет микроискажений. Инструментальное уширение профиля РЛ. Методики нахождения размеров ОКР и величины микроискажений, основанные на методе моментов: Метод моментов второго порядка по двум порядкам отражений от одного семейства плоскостей. Метод четвертого момента.

Тема 4.4. Общая теория дифракции лучей в несовершенном кристалле.

Кристаллические несовершенства 1-го и 2-го рода. Общие формулы дифракции несовершенным кристаллом, выводимые из представлений о средней решетке. Несовершенства, вызывающие расширение областей отражения. Выражение для профиля дифракционных порошковых линий. Интенсивность диффузного рассеяния. Интерпретация результатов диффузного рассеяния от несовершенных кристаллов.

Тема 4.5. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах с дефектами упаковки.

Исследование кристаллов с дефектами упаковки. Дефекты упаковки в ГЦК кристаллах. Общие закономерности диффузного рассеяния, связанные с наличием ДУ. Дефекты упаковки в ОЦК кристаллах. Дефекты упаковки в ГПУ кристаллах.

Тема 4.6. Рассеяние лучей твердыми растворами.

Исследование сверхструктуры в решетке твердого раствора. Определение параметра ближнего порядка в твердых растворах. Эффекты диффузного рассеяния, обусловленные

наличием ближнего порядка в твердых растворах. Особенности экспериментального исследования диффузного рассеяния.

Тема 4.7. Рассеяние рентгеновских лучей стареющими сплавами.

Эффекты диффузного рассеяния в стареющих сплавах. Методы наблюдения эффектов диффузного рассеяния в стареющих сплавах.

Тема 4.8. Применение рентгеноструктурного анализа для изучения физических свойств материалов.

Рентгеновские методы определения остаточных напряжений: Одноосное растяжение. Объемно – напряженное состояние. Плосконапряженное состояние. Раздельное определение главных напряжений σ_1 и σ_2 . Рентгеноструктурный анализ поверхностных слоев материалов методом скользящего пучка. Рентгеновская дилатометрия, определение коэффициентов теплового расширения для изучения фазовых переходов, алгоритм метода. Исследование процессов рекристаллизации. Определение толщины покрытия на кристаллической подложке. Рентгеновский анализ текстур. Виды текстур. Метод Харриса исследования текстур. Нормировка А. Вильсона с учетом фактора повторяемости. Нормировка П. Морриса. Методы определения ориентировки кристаллов. Определение ориентировки в методе Лауэ. Определение ориентировки на дифрактометре. Метод микрополусных фигур. Прецизионное определение параметров решетки. Определение остаточных напряжений.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения заданий по материалам курса (выступление и работа на практических занятиях), и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение заданий по материалам курса – 40. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в 5 семестре проводится в письменной форме по экзаменационным билетам. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации: оценка «зачтено» – от 60 баллов.

Дифференцированный зачет в 6 семестре проводится в письменной форме по экзаменационным билетам. Продолжительность зачета 1,5 часа.

На промежуточную аттестацию планируется не более 50 баллов.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено» («отлично», «хорошо», «удовлетворительно»), «не зачтено» («неудовлетворительно»).

Оценка (дифференцированного зачета) определяется исходя из результатов зачета и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 100-86 – «отлично»; 85-66 – «хорошо»; 65-50 – «удовлетворительно», менее 50 – «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет включает 2 вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих сформированность компетенций ПК-1 и ОПК-2 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИОПК 2.2. Ответы даются в развернутой форме.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Роль структурного анализа в исследовании кристаллов. Развитие теории дифракции рентгеновских лучей.

2. Тормозное рентгеновское излучение, его природа и закономерности.
3. Характеристическое рентгеновское излучение, его происхождение и спектр. Влияние напряжения, силы тока, порядкового номера материала анода.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - РСА, часть 1: <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21970>
РСА, часть 2: <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21969>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
Перечень вопросов, выносимых на зачет.

Рентгеноструктурный анализ. Часть I. Теория дифракции рентгеновских лучей и методы наблюдения.

4. Роль структурного анализа в исследовании кристаллов. Развитие теории дифракции рентгеновских лучей.
5. Тормозное рентгеновское излучение, его природа и закономерности.
6. Характеристическое рентгеновское излучение, его происхождение и спектр. Влияние напряжения, силы тока, порядкового номера материала анода.
7. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Основной закон ослабления лучей в веществе. Коэффициенты ослабления, зависимость коэффициентов ослабления от длины волны излучения.
8. Выбор излучения при съемке. Фильтрация излучения.
9. Рассеяние лучей свободным электроном. Формула Томсона.
10. Когерентное и некогерентное рассеяние лучей. Когерентное рассеяние атомов в кристалле, функция атомного рассеяния.
11. Расчет функции атомного рассеяния для атомов газа. Когерентная и некогерентная части рассеяния.
12. Классический расчет функции атомного рассеяния для атомов в кристалле. Зависимость $f\left(\frac{\sin \theta}{\lambda}\right)$.
13. Кинематическая теория дифракции лучей на простой решетке. Интерференционная функция и ее анализ.
14. Условия дифракции в обратном пространстве. Ширина дифракционного максимума и его зависимость от размера кристалла.
15. Интерференционная функция в обратном пространстве. Ширина дифракционного максимума и его зависимость от размера кристалла.
16. Сфера Эвальда. Правило Эвальда. Пример применения.
17. Сфера Эвальда, условие наблюдения главных максимумов.
18. Дифракция на сложной решетке. Структурная амплитуда. Структурный множитель. Примеры расчета. Структурный фактор, как Фурье-образ распределения электронной плотности в ячейке кристалла.
19. Интегральные, сериальные, зональные погасания отражений.
20. Сфера ограничения. Метод вращения и колебания.

21. Метод вращения монокристалла. Образование слоевых линий на рентгенограмме. Определение периода идентичности.
22. Полихроматический метод Лауэ. Схемы съемки. Объяснение дифракционной картины.
23. Метод Дебая (порошка). Объяснение дифракционной картины. Схемы Съемки.
24. Метод Косселя.
25. Рентгеновская дифрактометрия. Условия фокусировки.
26. Интегральная отражательная способность, вычисление по кинематической теории.
27. Интегральная отражательная способность. Вывод интегрального отражения с использованием обратного пространства
28. Интегральное отражение от кристаллического порошка.
29. Учет поглощения лучей в формулах интегральной интенсивности.
30. Влияние температуры на рассеяние рентгеновских лучей.
31. Основы динамической теории Дарвина. Показатель преломления кристалла.
32. Отражение от семейства плоскостей по теории Дарвина. Область полного отражения. Сравнение интегрального отражения для идеального и мозаичного кристаллов.
33. Явление первичной экстинкции.
34. Первичная экстинкция. Поправка Дарвина в формуле интегральной отражательной способности.
35. Основы динамической теории Эвальда-Лауэ. Основное уравнение динамической теории, его анализ. Одноволновой случай. Понятие дисперсионных поверхностей.
36. Понятие дисперсионной поверхности в динамической теории Эвальда –Лауэ. Дисперсионные поверхности в двухволновом случае.
37. Амплитуда волны, рассеянной ограниченным кристаллом.
38. Соотношения между амплитудами и фазами волн, принадлежащим одному центру распространения в динамической теории Эвальда-Лауэ.
39. Сложение волновых полей по динамической теории Эвальда-Лауэ. Маятниковое решение.
40. Эффект Бормана в динамической теории Эвальда-Лауэ.

Рентгеноструктурный анализ. Часть II. Применение рентгеноструктурного анализа к исследованию кристаллических материалов.

1. Амплитуда и интенсивность волны, рассеянной ограниченным кристаллом.
2. Профиль линии идеального поликристалла, обусловленный размерами областей когерентного рассеяния.
3. Реальный кристалл. Области когерентного рассеяния. Дифракция на кристаллах с малыми размерами областей когерентного рассеяния.
4. Ширина области отражения. Способы определения ширины рентгеновской линии.
5. Размытие линии поликристаллического материала, обусловленное микродеформацией решетки.
6. Метод аппроксимаций

7. Анализ формы интерференционной линии (гармонический анализ). Случай размытия, обусловленного мелкодисперсностью.
8. Анализ формы интерференционной линии (гармонический анализ). Случай размытия, обусловленного только наличием микронапряжений в образце.
9. Экспериментальное использование метода ГАФРЛ.
10. Метод моментов.
11. Кристаллические несовершенства 1-го и 2-го рода.
12. Общие формулы дифракции несовершенным кристаллом, выводимые из представлений о средней решетке.
13. Несовершенства, вызывающие расширение областей отражения. Выражение для профиля дифракционных порошковых линий.
14. Интенсивность диффузного рассеяния. Интерпретация результатов диффузного рассеяния от несовершенных кристаллов.
15. Исследование кристаллов с дефектами упаковки. Дефекты упаковки в ОЦК кристаллах
16. Дефекты упаковки в ГЦК кристаллах. Закономерности диффузного рассеяния, связанные с наличием ДУ.
17. Исследование кристаллов с дефектами упаковки. Дефекты упаковки в ГПУ кристаллах.
18. Исследование сверхструктуры в решетке твердого раствора
19. Определение параметра ближнего порядка в твердых растворах. Эффекты диффузного рассеяния, обусловленные наличием ближнего порядка в твердых растворах.
20. Особенности экспериментального исследования диффузного рассеяния.
21. Эффекты диффузного рассеяния в стареющих сплавах. Методы наблюдения эффектов диффузного рассеяния в стареющих сплавах.
22. Рентгеновские методы определения остаточных напряжений. Одноосное растяжение.
23. Рентгеновские методы определения остаточных напряжений. Объемно – напряженное состояние
24. Рентгеновские методы определения остаточных напряжений. Плосконапряженное состояние
25. Рентгеноструктурный анализ поверхностных слоев материалов методом скользящего пучка.
26. Рентгеновская дилатометрия, определение коэффициентов теплового расширения для изучения фазовых переходов.
27. Исследование процессов рекристаллизации.
28. Определение толщины покрытия на кристаллической подложке.
29. Виды текстур. Рентгеновский анализ текстур. Метод Харриса исследования текстур.
30. Методы определения ориентировки кристаллов.
31. Прецизионное определение параметров решетки.
32. Определение остаточных напряжений.

в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;

- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к зачету.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Гинье А. Рентгенография кристаллов. М.: Физматгиз, 1961. – 604 с.
2. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронографический анализ металлов. М.: Metallurgizdat, 1980. - 351 с.
3. Савицкая Л.К. Методы рентгеноструктурных исследований. Учебное пособие. Томск.: Иад-во Том.ун-та, 2003. – 255 с.
4. Джеймс Р. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей в кристаллах. М.: ИЛ, 1955. - 572 с.
5. Вишняков Я.Д. Современные методы исследования структуры деформированных кристаллов. М.: Metallurgiya, 1975. - 480 с.
6. Уманский Я.С. Рентгенография металлов. М.: Metallurgiya, 1967. – 235 с.
7. Уоррен Б. Рентгенографическое излучение деформированных металлов // Успехи физики металлов. М.: Metallurgizdat, 1963. - Т.5. - С. 172-237.
8. Лавров Л., Буфер М.Дж. Метод порошка в рентгенографии. М.: ИЛ., 1961. – 380 с.
9. Бородкина М.М., Спектор Э.М. Рентгенографический анализ текстуры металлов и сплавов. М.: Metallurgizdat, 1970. - 351 с.
10. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. М.: Госуд. изд-во техн. теор. литературы, 1957. – 518 с.
11. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, и рентгенография и электронная микроскопия. М.: Metallurgiya, 1982. – 632 с.
12. Иверонова В.И., Ревкевич П.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: Изд-во МГУ, 1972.

б) дополнительная литература:

13. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М.: Metallurgiya, 1973. - 584 с.
14. Калитиевский Н.И. Волновая оптика. М.: Наука, 1971. - 373 с.
15. Фульц Б. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов / Б. Фульц, М. Хау Дж. – Москва: Техносфера, 2011. – 904 с.
16. Китайгородский А.И. Рентгеноструктурный анализ / А.И. Китайгородский. – М. : Книга по Требованию. 2012.
17. Жданов Г. С. Основы рентгеновского структурного анализа / Г. С. Жданов. – М. : Книга по Требованию. 2012. – 448с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб., 2010- . – URL: <http://e.lanbook.com/>
2. Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013- . URL: <http://www.biblio-online.ru/>
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012- . URL: <http://znanium.com/>
4. Электронно-библиотечная система Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». - М, 2012- . – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
5. Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011-. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
6. Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. –

- Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?>
 8. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справ. правовая система. – Электрон. дан. – М., 1992- . – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
 9. Гарант [Электронный ресурс] : информ.-правовое обеспечение / НПП «Гарант-Сервис». – Электрон. дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
 10. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>
 11. SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>
 12. ProQuest Ebook Central [Electronic resource] / ProQuest LLC. – Electronic data. – Ann Arbor, MI, USA, [s. n.]. – URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tomskuniv-ebooks/home.action>
 13. <http://escher.epfl.ch/eCrystallography/>
 14. <http://www.iucr.org/>
 15. <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/index.php>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной верстки LaTeX; системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, Waterloo Maple; – публично доступные облачные технологии (GoogleDocs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Издательство «Лань» [Электронный ресурс]:/ – Электрон. дан. – СПб., 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». – М, 2012. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012. – URL: <http://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате, оснащенные системой «Актру».

Все виды материально-информационной базы Научной библиотеки ТГУ.

Мультимедийное оборудование физического факультета ТГУ.

Программное обеспечение курсов, предшествующих изучению представленной дисциплины.

15. Информация о разработчике

Мейснер Людмила Леонидовна, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, профессор.