

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Рентгеноструктурный анализ (лабораторный практикум)**

по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки :  
**Фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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

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

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

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.

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

## **2. Задачи освоения дисциплины**

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

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Седьмой семестр, дифференцированный зачет

## **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; основы рентгеноструктурного анализа; кристаллография.

## **6. Язык реализации**

Русский.

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

- лабораторные: 64 ч.

в том числе практическая подготовка: 64 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Рентгенотехника. Техника безопасности.

Краткое содержание темы. Правила работы на лабораторном оборудовании. Общие требования охраны труда с электрооборудованием.

Тема 2. Получение и расчет рентгенограммы кубического поликристалла.

Краткое содержание темы. Расчет рентгенограммы кубического поликристалла. Оценка точности измерения параметров решетки.

Тема 3. Получение и расчет рентгенограммы поликристаллов средних сингоний.

Краткое содержание темы. Расчет рентгенограммы поликристаллов средних сингоний. Определение параметров тетрагональной или гексагональной решетки.

Тема 4. Рентгеновский анализ аксиальной текстуры.

Краткое содержание темы. Рентгеновский анализ аксиальной текстуры. Определение индексов оси текстуры.

Тема 5. Определение ориентировки монокристалла методом Лауэ.

Краткое содержание темы. Определение ориентировки монокристалла методом Лауэ. Сетка Вульфа. Построение гномостереографической проекции кристалла по лауэграмме.

Тема 6. Расчет рентгенограммы вращения монокристалла.

Краткое содержание темы. Расчет рентгенограммы вращения монокристалла. Период идентичности для кристаллографического направления.

Тема 7. Определение размеров областей когерентного рассеяния по эффекту экстинкции.

Краткое содержание темы. Определение размеров областей когерентного рассеяния по эффекту экстинкции. Явления первичной и вторичной экстинкций.

Тема 8. Определение размера блоков и микроискажений решетки методом моментов.

Краткое содержание темы. Определение размера блоков и микроискажений решетки методом моментов. Факторы, влияющие на уширение линий рентгенограммы.

Тема 9. Определение кристаллографической ориентации монокристалла методом дифрактометра.

Краткое содержание темы. Определение кристаллографической ориентации монокристалла методом дифрактометра. Метод фокусировки по Брэггу-Брентано. Причина основных ошибок в определении ориентации монокристаллов.

Тема 10. Количественный фазовый анализ.

Краткое содержание темы. Количественный фазовый анализ. Метод градуировочной кривой. Метод подмешивания эталонного вещества. Метод гомологических пар.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения задания по материалам курса, и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение 9 заданий по материалам курса – 90. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

Максимальный бал за каждое задание (лабораторную работу) – 10. Контроль проводится в виде собеседования с целью выяснения знаний студентов по теоретическим основам выполняемой работы, методам проведения эксперимента и обработки результатов.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Аттестация в седьмом семестре проводится в форме дифференцированного зачета, который предусматривает написание отчетов по проведенным лабораторным работам. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Критерии выставления зачета:

«Зачет» выставляется студенту, сдавшему отчеты по всем работам;

«Не зачет» выставляется студенту, не сдавшему отчеты по всем работам.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и аттестации. Результаты определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка 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».

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21971>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. Перечень вопросов для текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Правила работы на лабораторном оборудовании. Общие требования охраны труда с электрооборудованием.
2. Расчет рентгенограммы кубического поликристалла. Оценка точности измерения параметров решетки.
3. Расчет рентгенограммы поликристаллов средних сингоний. Определение параметров тетрагональной или гексагональной решетки.
4. Рентгеновский анализ аксиальной текстуры. Определение индексов оси текстуры.
5. Определение ориентировки монокристалла методом Лауэ. Сетка Вульфа. Построение гномостереографической проекции кристалла по лауэграмме.
6. Расчет рентгенограммы вращения монокристалла. Период идентичности для кристаллографического направления.
7. Определение размеров областей когерентного рассеяния по эффекту экстинкции. Явления первичной и вторичной экстинкции.
8. Определение размера блоков и микроискажений решетки методом моментов. Факторы, влияющие на уширение линий рентгенограммы.
9. Определение кристаллографической ориентации монокристалла методом дифрактометра. Метод фокусировки по Брэггу-Брентано. Причина основных ошибок в определении ориентации монокристаллов.
10. Количественный фазовый анализ. Метод градуировочной кривой. Метод подмешивания эталонного вещества. Метод гомологических пар.

в) План практических занятий по дисциплине.

1. Получение и расчет рентгенограммы кубического поликристалла.
2. Получение и расчет рентгенограммы поликристаллов средних сингоний.
3. Рентгеновский анализ аксиальной текстуры.
4. Определение ориентировки монокристалла методом Лауэ.
5. Расчет рентгенограммы вращения монокристалла.
6. Определение размеров областей когерентного рассеяния по эффекту экстинкции.
7. Определение размера блоков и микроискажений решетки методом моментов.
8. Определение кристаллографической ориентации монокристалла методом дифрактометра.
9. Количественный фазовый анализ.

г) Методические указания по проведению лабораторных работ.

Методические указания представлены в электронном учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21971> и в виде пособий для лабораторных занятий в соответствии с планом практических занятий по дисциплине.

- д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.
- основная и дополнительная учебная литература, информационные ресурсы в сети Интернет (см. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет);
  - пособия для лабораторных занятий.

## **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:

1. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М.: Metallurgiya, 1973. - 584 с.
2. Калитиевский Н.И. Волновая оптика. М.: Наука, 1971. - 373 с.
3. Фульц Б. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов / Б. Фульц, М. Хау Дж. – Москва: Техносфера, 2011. – 904 с.
4. Китайгородский А.И. Рентгеноструктурный анализ / А.И. Китайгородский. – М. : Книга по Требованию. 2012.
5. 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/minicryst/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 On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки 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**

Помещения для лабораторных работ, оснащенные лабораторно-исследовательским оборудованием.

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 разработчиках**

Гриняев Константин Вадимович, старший преподаватель кафедры физики металлов физического факультета ТГУ.