

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

Физический факультет



Рабочая программа дисциплины

**Кристаллография**

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.01.07.04

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 фундаментальные основы кристаллографии, представления об атомно-кристаллическом строении и симметрии твердых тел.

– Научиться применять основные физические представления об атомной периодической структуре твердых тел, классах, пространственных группах симметрии при 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.

## **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 2 з.е., 72 часа, из которых:

– лекции: 16 ч.;

– практические занятия: 16 ч.

в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Введение в теорию о кристаллах.

Введение (историческая справка). Предмет и задачи кристаллографии. Понятие кристаллического состояния и кристаллической решетки. Понятие о природе сил связи в решетке.

Тема 2. Аналитическое описание пространственной решетки.

Способы описания кристаллических решеток. Индексы узлов, рядов и плоскостей кристаллической решетки. Межплоскостное расстояние, период идентичности. Системы координатных осей. Особенности индцирования гексагональных кристаллов. Кристаллографическая зона.

Свойства плоскостей и осей, принадлежащих одной кристаллографической зоне.

Тема 3. Способы изображения кристаллов (кристаллографические проекции).

Понятие кристаллического многогранника. Типы кристаллографических проекций. Понятия планарного и полярного комплексов. Аксонометрические и ортогональные проекции. Сферическая проекция. Стереографическая проекция. Гномостереографическая проекция. Гномоническая проекция. Стереографические сетки. Сетка Вульфа. Формулы соответствия между полярными координатами  $(\rho, \phi)$  направлений в кристаллах и их координатными углами  $(\lambda, \mu, \nu)$ .

Тема 4. Обратное пространство и обратная решетка.

Обратная решетка. Базисные вектора и элементарные трансляции обратной решетки. Свойства радиус-вектора обратной решетки. Применение обратной решетки для решения некоторых кристаллографических задач. Примеры обратных решеток.

Тема 5. Способы выбора элементарных ячеек.

Понятия примитивной ячейки, ячейки с базисом. Преобразования элементарных трансляций при изменении ячейки. Преобразование системы координат в пространстве объекта. Преобразование векторов обратной решетки. Преобразование индексов узлов кристаллической решетки. Преобразование индексов плоскостей кристаллической решетки. Примеры использования других координатных осей.

Тема 6. Симметрия кристаллов.

Элементы симметрии кристаллических многогранников. Понятие о простых формах и комбинациях простых форм. Простые и комбинированные операции симметрии. Теоремы о сочетании элементов симметрии. Правила о возможных комбинациях элементов симметрии и об ограничении их числа. Классы симметрии, кристаллографические категории, сингонии и системы осей координат. Кристаллографические категории. Системы обозначений классов симметрии. Вывод и описание классов симметрии.

Тема 7. Симметрия структуры кристаллов.

Решетки Бравэ. Элементы симметрии кристаллических структур. Трансляции. Взаимодействие плоскости симметрии и параллельной ей трансляции. Плоскости скользящего отражения. Взаимодействие оси симметрии и параллельной ей трансляции. Винтовые оси симметрии. Теоремы о сочетании элементов симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии. Символ пространственной группы симметрии. Примеры пространственных групп симметрии.

Тема 8. Основные понятия кристаллохимии.

Введение в кристаллохимию. Эффективные радиусы атомов и ионов. Плотнейшие шаровые упаковки. Координационный полиэдр и координационное число. Стехиометрическая формула. Коэффициент компактности. Кристаллическая структура и структурный тип.

## **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 билетам. Билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу. Продолжительность зачета 1,5 часа.

На промежуточную аттестацию планируется не более 50 баллов.

Зачет включает 2 вопроса по 10 баллов из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих сформированность компетенции ПК-1 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИОПК-2.2 в соответствии с индикаторами ИОПК-2.2. Ответы даются в развернутой форме.

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

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Индексы узла решетки, узловой прямой, узловой плоскости
2. Закрытые элементы симметрии. Международные символы. Изображение на проекции.
3. Понятие обратного пространства и обратной решетки. Соотношения между основными векторами.
4. Кристаллическая структура и структурный тип.

Примеры задач:

1. Найти ось кристаллографической зоны по известным координатам двух плоскостей, принадлежащих этой зоне.
2. Найти координаты плоскости по известным координатам двух осей зон, лежащих в этой плоскости.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=21906>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Перечень вопросов, выносимых на зачет.

5. Индексы узла решетки, узловой прямой, узловой плоскости
6. Закрытые элементы симметрии. Международные символы. Изображение на проекции.
7. Понятие обратного пространства и обратной решетки. Соотношения между основными векторами.
8. Группы трансляций. Решетки Браве. Распределение решеток Браве по сингониям.
9. Винтовые оси, международные символы. Изображение на чертежах.
10. Решение задач с помощью сетки Вульфа.
11. Теоремы об открытых симметрических преобразованиях.
12. Кристаллографические системы координат.
13. Кристаллографические проекции. Сетка Вульфа.
14. Ступени (виды) симметрии. Классы симметрии с осью 3-го порядка.
15. Свойства радиуса-вектора  $\vec{r}_{HKL}^*$  обратной решетки.
16. Понятие кристаллографической категории. Понятие сингонии и класса симметрии.
17. Изменение плоскости гномостереографической проекции с помощью сетки Вульфа.
18. Плоскости скользящего отражения, международный символ и изображение на чертежах.
19. Ступени (виды) симметрии. Классы симметрии с осью 4-го порядка.

20. Понятие зоны плоскостей. Уравнение зоны (получить с помощью обратной решетки).
21. Четвертый индекс плоскости в гексагональной системе.
22. Понятие "простой формы", общие и частные простые формы. Привести примеры.
23. Закрытые элементы симметрии. Международные символы. Изображение на проекции.
24. Главные кристаллографические направления во всех сингониях.
25. Примеры применения обратной решетки для решения кристаллографических задач.
26. Понятие пространственной группы, символ пространственной группы.
27. Инверсионные и зеркальные оси симметрии.
28. Изображение зоны плоскостей в различных кристаллографических проекциях.
29. Кристаллографические проекции, типы. Стереографические проекции кристаллографических плоскостей и направлений.
30. Применение обратной решетки для нахождения квадратичной формы. Квадратичная форма кубического кристалла.
31. Преобразование векторов обратной решетки.
32. Теоремы о сочетании элементов симметрии кристаллических структур.
33. Атомные и ионные радиусы. Координационное число, полиэдр, сфера.
34. Взаимодействие плоскости симметрии и параллельной ей трансляции. Плоскости скользящего отражения
35. Взаимодействие оси симметрии и параллельной ей трансляции. Винтовые оси симметрии.
36. Пространственные группы симметрии. Символ пространственной группы.
37. Плотнейшие шаровые упаковки. Коэффициент компактности.
38. Стехиометрическая формула.
39. Кристаллическая структура и структурный тип.

Перечень задач, выносимых на зачет.

1. Найти ось кристаллографической зоны по известным координатам двух плоскостей, принадлежащих этой зоне.
2. Найти координаты плоскости по известным координатам двух осей зон, лежащих в этой плоскости.
3. Методом кристаллографического умножения определить координаты плоскости по известным координатам двух кристаллографических направлений, лежащих в этой плоскости.
4. Методом кристаллографического умножения определить координаты плоскости по известным координатам двух кристаллографических направлений, лежащих в этой плоскости.
5. Определить 4-й индекс плоскости гексагонального кристалла.
6. Найти индексы  $(hkl)$  плоскости, принадлежащей одновременно 2-м зонам.
7. Построить стереографическую проекцию (СП) направления в кристалле, заданного координатами.
8. Определить полярные координаты направления в кристалле по его стереографической проекции.
9. Определить углы между парами направлений в кристалле по заданным стереографическим проекциям.
10. Построить СП направления в кристалле по заданным координатным углам.
11. Построить СП плоскости по заданной СП ее нормали.
12. Построить зону и найти ось зоны, если даны гномостереографические проекции двух граней, принадлежащих этой зоне.

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. М.П. Шаскольская. Кристаллография. М., «Высш.Шк.», 1976, 391 с.
2. Ю.И. Сиротин, м.П. Шаскольская. Основы кристаллофизики. М. «Наука», 1975, 680 с.
3. Я.С. Уманский, Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия 375 с.
4. К.М. Розин. Практическая кристаллография. М. «Мисис», 2005, 490 с.

б) дополнительная литература:

1. Завьялов Е. Кристаллология. Основные представления о кристаллах, кристаллических веществах и методах их изучения. Задачи по геометрической кристаллографии и анализ их решений. Учебное пособие / Е. Завьялов. – КДУ, 2016. – 314 с.
2. Физика твердого тела для инженеров: учеб. пособие, издание 2 испр. и доп. / Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. – Москва: Техносфера, 2012. – 560 с.
3. Гегузин Я. Живой кристалл / Я. Гегузин. – Интеллект, 2014. – 216 с.

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 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**

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.