

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО  
решением  
Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«31» мая 2023 г. №6

**Рабочая программа дисциплины**

**Кристаллография**

(наименование дисциплины (модуля))

**Уровень высшего образования**

**бакалавриат**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

**Направление подготовки / специальность**

**03.03.02 Физика**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

**Направленность образовательной программы**

**профиль "Физика конденсированного состояния"**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

**Квалификация (степень)**

**бакалавр**

(бакалавр / магистр / специалист)

**Форма обучения**

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

**Год начала обучения**

**2023**

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижегород

## **1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Кристаллография» относится к вариативной части Б1.В блока Б1 «Дисциплины (модули)», является обязательной для освоения, преподается на третьем году обучения, в пятом семестре. Освоению дисциплины предшествует освоение дисциплин «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Векторный и тензорный анализ».

Целями освоения дисциплины «Кристаллография» являются:

- знакомство студентов с современными взглядами на атомное строение твердых тел, методами описания симметрии, атомного строения и внешней огранки кристаллов;
- формирование достаточно полного представления об основных методах аналитической геометрии кристаллического пространства, теории точечной и пространственной симметрии кристаллов и кристаллохимии.

## **2. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Кристаллография» составляет 6 зачетных единиц, всего 216 часов, из которых 66 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 32 часа занятия лекционного типа, 32 часа занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 150 часов составляет самостоятельная работа обучающегося (114 часов самостоятельная работа в течение семестра, 36 часов самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

## Содержание дисциплины «Кристаллография»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<b>1. Введение.</b> Определение и основные свойства кристаллов, их роль в науке, технике и технологии.	2	2	—	—	2	—
<b>2. Аналитическая геометрия кристаллического пространства.</b> Трансляции. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Кристаллографические системы координат Узлы и их индексы. Узловые прямые и их описание. Индексы узловых прямых. Узловые плоскости. Индексы плоскостей. Первая основная теорема решетчатой кристаллографии. Обратная решетка и ее свойства. Вторая основная теорема решетчатой кристаллографии. Применение обратной решетки для описания дифракции волн на кристаллических решетках. Преобразование индексов плоскостей и координат точек кристаллического пространства при изменении базиса кристаллографической системы координат. Основные расчетные формулы решетчатой кристаллографии. Кристаллографические проекции.	46	7	9	—	16	30
<b>3. Точечная симметрия кристаллов.</b> Понятие о симметрии физических систем. Основные положения теории групп. Понятие о точечной симметрии кристаллов. Матричный метод описания симметрии кристаллов. Умножение операций точечной симметрии кристаллов. Точечные группы симметрии (некубические).	44	7	7	—	14	30

Теорема Эйлера. Кубические точечные группы симметрии кристаллов. Сингонии. Международные обозначения точечных групп симметрии. Кристаллические многогранники и их свойства. Простые формы кристаллов. Влияние точечной симметрии кристаллов на геометрию кристаллической решетки. Предельные группы симметрии. Принципы суперпозиции Кюри и Неймана.						
<b>4. Пространственная симметрия кристаллических структур.</b> Решетки Бравэ. Операции пространственной симметрии атомных структур кристаллов и операторный метод их описания. Умножение операций пространственной симметрии атомных структур кристаллов. Пространственные группы симметрии кристаллических структур. Правильные системы точек пространственных групп.	44	7	7	—	14	30
<b>5. Основы кристаллохимии.</b> Химические связи в кристаллах. Принцип плотнейшей упаковки. Двухслойная и трехслойная упаковки одинаковых шаров. Пустоты. Симметрия двухслойной и трехслойной упаковок. Координаты шаров и пустот в двухслойной и трехслойной упаковках. Плотнейшие упаковки шаров двух сортов. Полиэдрический метод описания атомных структур кристаллов. Понятие о структурном типе. Структурные типы кристаллов химических элементов. Структурные типы с общей формулой АХ. Полиморфизм, изоморфизм, морфотропия. Элементы кристаллохимии молекулярных кристаллов. Псевдосимметрия кристаллических структур.	40	7	9	—	16	24
<b>6. Заключение.</b> Новые материалы. Фуллерены. Квазикристаллы. Углеродные нанотрубки. Кристаллы белковых веществ.	2	2	—	—	2	—
<b>В т.ч. текущий контроль</b>	2	2				—
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>						

### 3. Образовательные технологии

- 1) Чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) методика «вопросы и ответы»;
- 4) выполнение практического задания у доски;
- 5) индивидуальная работа над практическим заданием;
- 6) работа в парах над практическим заданием;
- 7) работа в малых группах над практическим заданием;
- 8) методика «мозговой штурм».

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примеры практических заданий приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

### 5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	(ПК-1) <b>Знать</b> основные постулаты строения кристаллов. (ПК-1) <b>Уметь</b> определять тип исследуемых объектов – твердых тел. (ПК-1) <b>Владеть</b> методологией описания структуры кристаллов.

### 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

#### 6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Кристаллография» является **экзамен**.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

## 6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

**«Плохо»** – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Неудовлетворительно»** – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Удовлетворительно»** – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

**«Хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Очень хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Отлично»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

**«Превосходно»** – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1. При проведении промежуточной аттестации обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Кристаллография»:

1. Каковы основные постулаты кристаллического пространства?
2. Определите понятия трансляций и кристаллической решетки.
3. Как преобразуются индексы узловых рядов и узловых плоскостей при изменении базиса кристаллографической системы координат?
4. Сформулируйте Первую Основную теорему решетчатой кристаллографии.
5. Сформулируйте Вторую Основную теорему решетчатой кристаллографии.
6. Сформулируйте основные свойства обратной решетки.
7. Приведите основные расчетные формулы решетчатой кристаллографии.
8. Сформулируйте основные принципы построения кристаллографических проекций.
9. Приведите основные положения теории групп.
10. В чем заключается матричный метод описания симметрии кристаллов.
11. Сформулируйте теоремы умножения операций микросимметрии кристаллов.
12. Приведите примеры точечных групп симметрии кристаллов.
13. Как связаны понятия: особые направления в кристалле и сингонии?
14. Определите свойства кристаллических многогранников.
15. Сформулируйте теорему о взаимном расположении особых направлений и узловых рядов и узловых плоскостей в кристалле.
16. Каковы возможные решетки Бравэ для кристаллов низших сингоний.

17. В чем состоит операторный метод описания пространственных операций симметрии кристаллов?
18. Каковы принципы построения графиков пространственных групп кристаллов?
19. В чем состоит принцип плотнейших упаковок?

6.3.2. Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Найти индексы узловой плоскости, проходящей через три узла кристаллической решетки  $[[110]]$ ,  $[[101]]$ ,  $[[011]]$ .
2. Через две точки  $(x_1, y_1, z_1)$  и  $(x_2, y_2, z_2)$  кристаллического пространства с некоторым базисом  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$  проведена прямая. При каких условиях данная прямая параллельна какому-либо узловому ряду?
3. Для тетрагонального кристалла показать, что взаимное совпадение векторов прямой и обратной решеток имеет место только для зон плоскостей  $(hk0)$  и направлений с индексами  $[hk0]$ , а также  $(001)$  и  $[001]$ .
4. Найти индексы плоскости  $(hkl)$ , в которой лежат узловые ряды  $[110]$  и  $[111]$ .
5. Показать эквивалентность зеркально-поворотной оси третьего порядка и инверсионной оси шестого порядка.
6. Проверить, будут ли выполняться соотношения: 1)  $2_x \times 2_y = 2_y \times 2_x$ ; 2)  $m_x \times m_y = m_y \times m_x$ ; 3)  $2_z \times m_z = m_z \times 2_z$ ; 4)  $3_z^{-1} \times m_z = m_z \times 3_z^{-1}$ .
7. Какие координаты получит точка с координатами  $x, y, z$  после действия следующей операции симметрии: 1)  $m_y$ ; 2)  $2_z$ ; 3)  $2_{xz}$ ; 4)  $2_{yz}$ ; 5)  $4_x^{-1}$ ; 6)  $4_y^{-1}$ ; 7)  $4_z^{-1}$ ; 8)  $4_z^{-1}$ ; 9)  $\bar{4}_z^{-1}$ ; 10)  $3_z^{-1}$ ?
8. Вывести точечные группы симметрии и записать их символы двумя способами. Генераторы заданы следующими операциями симметрии:
  - 1) отражение в плоскости симметрии и поворот вокруг оси второго порядка, лежащей в этой плоскости;
  - 2) отражения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях симметрии и поворот вокруг оси второго порядка, лежащей в одной и перпендикулярной второй плоскости;
  - 3) поворот вокруг оси четвертого порядка и отражение в перпендикулярной ей плоскости симметрии;
  - 4) два последовательных поворота вокруг осей второго порядка, составляющих между собой угол  $45^\circ$ .
9. Вывести точечные группы и записать их символы по Шенфлису и Герману-Могену. Генераторы заданы элементами симметрии: 1)  $4_z$  и  $2_x$ ; 2)  $2_z$ ,  $2_x$  и  $\bar{1}$ ; 3)  $6_z$ ,  $2_x$  и  $\bar{1}$ .



10. К кристаллу с точечной группой симметрии  $T$  приложено однородное электрическое поле вдоль направления: 1)  $[100]$ ; 2)  $[110]$ ; 3)  $[111]$ ; 4)  $[hk0]$ ; 5)  $[hkk]$ ; 6)  $[hkl]$ . Найти симметрию кристалла в поле.
11. Задана правильная система точек:  $x, y, z$ ;  $y-x, \bar{x}, z$ ;  $\bar{y}, x-y, z$ ;  $\bar{x}, \bar{y}, 1/2+z$ ;  $x-y, x, 1/2+z$ ;  $y, y-x, 1/2+z$ . Записать символ пространственной группы, нарисовать график и указать частные правильные системы точек.
12. Нарисовать график и записать общую правильную систему точек для пространственных групп:  $P2_12_12_1$ ;  $I222$ ;  $Cmm2$ ;  $Aba2$ .

#### 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### а) основная литература:

1. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А. – Кристаллография. – М.: Изд. физ.-мат. лит. – 2000. – 496 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 25 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=222770>.
2. Бокий Г.Б. – Кристаллохимия. – М.: Наука. – 1971. – 400 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 25 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=405382>.

#### б) дополнительная литература:

1. Костов И. – Кристаллография. – М.: Мир, 1965. – 528 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 15 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=100118>.
2. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П. – Геометрическая микрокристаллография. – М.: Изд. МГУ, 1976. – 238 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 15 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=102107>.
3. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. – Физика твердого тела. (М.: Высшая школа, 2000. – 494 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 10 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=44686>;  
Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1993. – 491 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 20 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=288601>)

4. Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия. – М.: Изд. МГУ, 1987. – 272 с. – Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 15 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=99764>.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:  
ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Автор(ы):

доцент кафедры кристаллографии  
и экспериментальной физики  
физического факультета, к. ф.-м. н. \_\_\_\_\_ / Овсецина Т.И. /

Рецензент(ы):

Заведующий кафедрой:

Зав. кафедрой кристаллографии  
и экспериментальной физики  
физического факультета,  
д. ф.-м. н., профессор \_\_\_\_\_ / Чупрунов Е.В. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ от « 20 » мая 2023 года, протокол № б/н.

Председатель  
Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ \_\_\_\_\_ / Перов А.А. /