

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 15 от 24.12.2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Кристаллография

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Физика конденсированного состояния

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2026 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.1.03 Кристаллография относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	ИД ПК-1: Демонстрация способности использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	ИД ПК-1: Знать основные постулаты строения кристаллов. Уметь определять тип исследуемых объектов – твердых тел. Владеть методологией описания структуры кристаллов.	Коллоквиум	Экзамен: Контрольные вопросы Задачи Практическое задание

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	78
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
1. Введение.	2	2		2	
2. Аналитическая геометрия кристаллического пространства.	36	7	9	16	20
3. Точечная симметрия кристаллов.	34	7	7	14	20
4. Пространственная симметрия кристаллических структур.	34	7	7	14	20
5. Основы кристаллохимии.	34	7	9	16	18
6. Заключение.	2	2		2	
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	180	32	32	66	78

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение.

Определение и основные свойства кристаллов, их роль в науке, технике и технологии.

2. Аналитическая геометрия кристаллического пространства.

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.

3. Точечная симметрия кристаллов.

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). 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.

4. Пространственная симметрия кристаллических структур.

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.

5. Основы кристаллохимии.

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 $AХ$. Полиморфизм, изоморфизм, морфотропия. Элементы кристаллохимии молекулярных кристаллов. Псевдосимметрия кристаллических структур.

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 $AХ$. Полиморфизм, изоморфизм, морфотропия. Элементы кристаллохимии молекулярных кристаллов. Псевдосимметрия кристаллических структур.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:
Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

Кристаллография, <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=3888>.

Иные учебно-методические материалы:

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.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Коллоквиум) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Кристаллографическое описание модели кристаллического многогранника, определение точечной группы кристалла, запись группового множества, построение гномостереографической проекции, определение простых форм кристалла.

Критерии оценивания (оценочное средство - Коллоквиум)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить точки активного роста нового знания, успешное выполнение практических заданий, выданных преподавателем
не зачтено	полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, невыполнение практических заданий, выданных преподавателем

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков.	При решении стандартных задач не	Имеется минимальный набор	Продemonстрированы базовые	Продemonстрированы базовые	Продemonстрированы навыки	Продemonстрирован творческий

	Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	подход к решению нестандартных задач
--	--	--	--	---	---	--	--------------------------------------

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

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?

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне

Оценка	Критерии оценивания
	«удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

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 a, b, 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) $2x \times 2y = 2y \times 2x$; 2) $mx \times my = my \times mx$; 3) $2z \times mz = mz \times 2z$; 4) $3z \times 1 \times mz = mz \times 3z \times 1$.
7. Какие координаты получит точка с координатами x, y, z после действия следующей операции симметрии: 1) my ; 2) $2z$; 3) $2xz$; 4) $2yz$; 5) $4x \times 1$; 6) $4y \times 1$; 7) $4z \times 1$; 8) $4z \times -1$; 9) $4z \times -1$; 10) $3z \times -1$?
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° .
9. Вывести точечные группы и записать их символы по Шенфлису и Герману-Могену. Генераторы заданы элементами симметрии: 1) $4z$ и $2x$; 2) $2z$, $2x$ и -1 ; 3) $6z$, $2x$ и -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 ; $y-x, x, z$; $y, x-y, z$; $x, y, 1/2+z$; $x-y, x, 1/2+z$; $y, y-x, 1/2+z$.
Записать символ пространственной группы, нарисовать график и указать частные правильные системы точек.

12. Нарисовать график и записать общую правильную систему точек для пространственных групп: $P212121$; $I222$; $Cmm2$; $Aba2$.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Кристаллографическое описание модели кристаллического многогранника, определение точечной группы кристалла, запись группового множества, построение гномостереографической проекции, определение простых форм кристалла.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим

Оценка	Критерии оценивания
	компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Чупрунов Евгений Владимирович. Кристаллография : учеб. для студентов вузов, обучающихся по физ. и хим. специальностям. - М. : Физматлит, 2000. - 496 с. - В надзаг.: Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997 - 2000 годы. - ISBN 5-94052-020-0 : 70.00., 74 экз.
2. Бокий Георгий Борисович. Кристаллохимия / АН СССР, Ин-т радиотехники и электроники. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1971. - 400 с., 1 л. табл. : ил. - 2.34., 41 экз.

Дополнительная литература:

1. Костов Иван. Кристаллография / пер. с болг. Г. П. Литвинской ; под ред. [и с предисл.] Н. В. Белова. - М. : Мир, 1965. - 528 с., 2 л. табл. : ил. - 2.00., 19 экз.
2. Загальская Юдифь Герцевна. Геометрическая микрокристаллография : практический курс : [для геол. специальностей вузов] / под ред. Н. В. Белова. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. - 238 с. : ил. - 0.64., 38 экз.
3. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : учебник. - 3-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2000. - 494 с. - 78.54., 33 экз.
4. Урусов Вадим Сергеевич. Теоретическая кристаллохимия : [учеб. для геохим. и хим. специальностей вузов]. - М. : Изд-во МГУ, 1987. - 272, [3] с. : ил. - 0.85., 111 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, специализированным оборудованием: Набор моделей кристаллических многогранников.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Овсецина Татьяна Ивановна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Чупрунов Евгений Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 23.12.2025, протокол № б/н.