

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Декан геологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова
чл.-корр. РАН Еремин Н.Н.



«25» сентября 2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Вар – Антисимметрия и цветная симметрия

**Уровень высшего образования:
магистратура**

Направление подготовки/ специальность:

05.04.01 Геология

Профиль программы магистратуры:

Геохимия

Магистерская программа:

Кристаллография и кристаллохимия

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № 6 от 08 сентября 2025 г.)

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 05.03.01 Геология, утвержденным приказом по МГУ от 21.12.2021 № 1404 (в действующей редакции).

Год приема на обучение: 2025

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса является получение знаний о симметричных законах с введением нового качества – цвета – для групп бордюров, обоев и трехмерных шубниковских групп. Знание черно-белых и многоцветных групп позволяет по-новому провести анализ строения кристаллов и широко применяется при описании свойств кристаллов, в особенности магнитных. Знание черно-белых групп симметрии – раритет в нынешнем образовании, в частности за рубежом сведения и них недостаточны, в то время как работы отечественных кристаллографов основополагающие в данной области знания.

Задачи курса - подготовить кристаллографов и кристаллохимиков, разбирающихся в черно-белых шубниковских группах, знающих специфику взаимодействий черно-белых (двухцветных) элементов симметрии по сравнению с обычными элементами симметрии; освоить приемы построения графиков черно-белых пространственных групп, понимать и свободно использовать Таблицы групп Шубникова и соответствующие разделы последнего издания Интернациональных Таблиц, видеть недочеты в последнем представлении черно-белых групп (Литвин) по сравнению с классическими отечественными. Познакомиться с многоцветной симметрией Белова

Краткое содержание дисциплины (аннотация)

Антисимметрия включает исследования симметрии кристаллических структур, дополненной новым качеством (цвет, знак, спин):

-Шубниковские группы антисимметрии: точечные, одномерные, двумерные и трехмерные, их вывод, графическое представление, применение при описании симметрии двойников кристаллов и магнитных кристаллов. Атлас шубниковских групп В.Копчика.

-Группы многоцветной симметрии Н.В.Белова, мозаики (двумерные группы) и точечные группы, решения некоторых вопросов кристаллофизики

-Кристаллоструктурные иллюстрации шубниковских групп антисимметрии

-Икосаэдрические точечные группы симметрии и простые формы. Фуллерены, нанотрубки, квазикристаллы.

-Преобразование кристаллографических координатных систем

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП - относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: высшая математика в блоке общенаучной подготовки, знания в блоке профессиональной подготовки по кристаллографии, кристаллохимии и минералогии, знания по теории симметрии кристаллов.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

| Компетенции выпускников (коды) | Индикаторы (показатели) достижения компетенций | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-2.М Способен применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки | М.ОПК-2. И-1. Использует на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки, | <i>Знать:</i> базовые симметричные законы взаимодействия операций с расширением параметров до четырехмерных <i>Уметь:</i> применять их для анализа конкретных объектов при исследовании морфологии |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>при решении задач профессиональной деятельности.</p> | <p>при решении исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности.</p> | <p>кристаллов, также плоских и трехмерных групп, описывающих структуры</p> |
| <p>ОПК-4. М Способен в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их практическому использованию.</p> | <p>М.ОПК-4. И-1. Владеет навыками самостоятельного получения результатов при решении задач профессиональной деятельности. М.ОПК-4. И-2. Объективно оценивает полученные результаты, обобщает их, формулирует выводы. М.ОПК-4. И-3. Использует полученные результаты для выработки рекомендаций по их практическому использованию.</p> | <p>Знать: как выявить группу антисимметрии, как с ее использованием проинтерпретировать магнитные свойства, дать рекомендации физикам</p> |
| <p>ПК-2.М Способен самостоятельно проводить научные исследования с помощью современного оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;</p> | <p>М.ПК-2. И-1. Критически анализирует новейший отечественный и зарубежный опыт научно-исследовательских работ по тематике собственного исследования. М.ПК-2. И-2. Самостоятельно проводит научные исследования с помощью современного оборудования. М.ПК-2. И-3. Обрабатывает полученные результаты, формулирует выводы и рекомендации по</p> | <p>уметь: описать структуру с использованием дополнительного качества – цвета как свойства, построить график двуцветной группы или узора и связать группу с упорядочением спинов в структуре, преобразовать оси и координаты атомов структур</p> |

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | использованию полученных результатов. М.ПК-2. И-4. Представляет результаты своей научной деятельности в письменной и устной форме (отчеты, статьи, доклады и презентации). | |
| СПК-4.М Способен обобщать и использовать результаты исследований для выявления новых явлений, закономерностей, законов и теоретических положений в области кристаллографии и кристаллохимии | СПК-4, И-1 Знает основы современной химии и физики твердого тела СПК-4, И-2 Владеет структурной систематикой неорганических кристаллов, методическими приемами кристаллохимического прогноза СПК-4, И-3 Владеет современными методами сравнительного кристаллохимического анализа | Знать принципы расширения поля обычных (полярных) пространственных групп за счет введения нового качества – цвета (спина, заряда и т.д.) и понимать вытекающие из этого новые большие возможности для кристаллохимии; иметь базовые представления о квазикристаллах и пятерной симметрии, новейших находках ее проявлений в кристаллах; разнообразие установок кристаллов и переходы между ними; Владеть: пониманием таблиц Шубникова и представленными в них графиками групп, |

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе, 72/28 в академических часах, отведенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (28 часов – занятия лекционного типа, 44 часов на самостоятельную работу обучающихся).

Форма промежуточной аттестации – экзамен

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

| № п/п | Раздел дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (трудоемкость в часах) | | | | Формы текущего контроля успеваемости и (по неделям семестра) Форма промежуточ ной аттестации (по семестрам) |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | лекции | семинары | практ. заня-тия, лаб. работы | самост. работа | |
| 1 | Антисимметрия-основные понятия, Хееш и Шубников, $A^*A = K$ и соотношение группа-подгруппа, вывод точечных групп антисимметрии и двойники. | 9 | 1 | 2 | | | 3 | |
| 2 | Одномерные классические группы и вывод групп антисимметрии с цветными элементами симметрии и с антипереносами. Эквивалентные группы с переворачивающими элементами | | 2 | 2 | | | 3 | |
| 3 | Классические двумер-ные (17) группы, узоры Бюргера, цветные решетки | | 3 | 2 | | | 3 | |
| 4 | Вывод двумерных групп зацветиванием подрешеточных элементов симметрии и антипереносами. Разбор примеров узоров (плакат) | | 4 | 2 | | | 3 | |
| 5 | Чертежи двуцветных групп $mm2$ с p - и c -решетками. Работа с атласами Шубникова. Группы с переворачивающими и двухуровневыми элементами. | | 5 | 2 | | | 3 | |
| 6 | Цветные решетки Браве, вывод шубниковских групп $mm2$ с решеткой P и построение чертежей групп | | 6 | 2 | | | 3 | |
| 7 | Построение чертежей групп с C , A , F -решетками. Вывод групп 222. | | 7 | 2 | | | 3 | |
| 8 | Работа с Шубниковскими таблицами. | | 8 | 2 | | | 3 | |

| | | | | | | | | |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----|-----|--|--|-----|---------|
| 9 | Многоцветные группы Белова, понятие многих уровней и возможные оси, точечные группы (плакат). | | 9 | 2 | | | 3 | |
| 10 | Орнаменты из плаката и практикум с набором многоцветных орнаментов. Альбом Эшера для многоцветных групп | | 10 | 2 | | | 3 | |
| 11 | Кристаллоструктурные иллюстрации двуцветных групп и модели бинарных соединений- анализ структур | | 11 | 2 | | | 3 | |
| 12 | Пятерные оси и их многогранники, фуллерены, трубки, квазикристаллы, типы треугольников и узоры Пенроуза. | | 12 | 2 | | | 3 | |
| 13 | Преобразование осей, ковариантный и контравариантный законы. Связь осей и координат. Шеелит и кальцит. | | 13 | 2 | | | 3 | |
| 14 | Гипсовая задача, решение задач на переходы в установках | | 14 | 2 | | | 5 | |
| | Промежуточная аттестация | | | | | | | ЭКЗАМЕН |
| | | | | Σ28 | | | Σ44 | |

Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Группы антисимметрии – шубниковские группы симметрии.

- (1) Общие сведения об антисимметрических операциях.
- (2) Вывод точечных групп антисимметрии – 58-м групп смешанной полярности, 122 точечные группы антисимметрии. Использование теории антисимметрии при описании симметрии двойников кристаллов.
- (3) Вывод 17-ти одномерных групп смешанной полярности на основе зацвечивания подрешеточных элементов симметрии и введения цветной трансляции (антипереноса), 31 одномерная группа антисимметрии.
- (4) Вывод 46-ти двумерных групп антисимметрии, вывод цветных плоских решеток, вывод 26-ти групп с цветными элементами и 20-ти с антипереносами, построение таблицы всех 80 двумерных групп антисимметрии односторонних слоев.
- (5) Работа с Атласом кристаллографических групп Шубникова
- (6) Вывод «цветных» решеток Бравэ – решеток антисимметрии. Примеры вывода пространственных (шубниковских, 1651) групп антисимметрии классов C_{2v} и D_2 .
- (7) Приемы построения графиков групп антисимметрии.
- (8) Работа с Таблицами шубниковских групп Копчика, изд. МГУ, с альбомом рисунков Эшера.
- (9) Кристаллоструктурные иллюстрации шубниковских групп - определение групп антисимметрии и цветной симметрии на моделях структур и цветных мозаиках. Работа с моделями структур. (NaCl (галит), CsCl, CuAu, BN (борнитрид), III, ZnS (сфалерит), ZnS (вюрцит), CdI₂ (3 политипных модификации), CdCl₂, CaF₂ (флюорит) в шариковом и полиэдрическом представлении как иллюстраций черной и белой симметрии.
Модели двойников минералов: рутил, гипс, кальцит, кварц, пирит, шпинель.

Тема 2. Группы многоцветной симметрии

- (1) Общие сведения. Требования к элементам симметрии с возможностью для многократного зацвечивания.
- (2) 15 двумерных цветных беловских групп, мозаики.
- (3) Цветные точечные группы (18).
- (4) Решение кристаллографических и физических задач.

Тема 3. Пятерные оси в кристаллографии.

- (1) Икосаэдрические точечные группы симметрии и простые формы.
- (2) Фуллерены, фуллериты, нанотрубки и их применение в современных технологиях
- (3) Квазикристаллы – открытие и нобелевская премия Шехтмана, основные особенности и описание узоров Пенроуза двумя типами треугольников Робинсона, понятие ближнего порядка и нового типа симметрии. Исследование квазикристаллов в МГУ

Тема 4. Преобразование кристаллографических координатных систем.

- (1) Прямая и обратная матрицы, ковариантное и контравариантное преобразования

- (2) Преобразование осей, координат, индексов отражений на примере шеелита, кальцита. Гипсовая задача.
- (3) Решение задач на преобразования осей и координат атомов для различных установок кристаллов (минералогических и международных).

6. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Формы текущего контроля: решение графических задач совместно в аудитории, анализ симметрии одномерных узоров на ряде рисунков-графиков, анализ симметрии слоев на ряде рисунков-графиков, в том числе Бюргера и Эшера, анализ симметрии слоев по альбому Шубникова, построение графиков групп класса $mm2$ с разными решетками, анализ многоцветной симметрии по плакату и картам с рисунками-графиками, рассмотрение совместно моделей в двуцветных описаниях

Формы текущего контроля: проверка домашних работ с индивидуальной оценкой, устные ответы и решение задач на семинарских занятиях,

Текущий контроль осуществляется путем непосредственного контакта преподавателя с каждым студентом во время семинарских и индивидуальных занятий, путем проверки, анализа и обсуждения домашних работ.

1. Анализ симметрии одномерных узоров на ряде рисунков-графиков
2. Анализ симметрии слоев на ряде рисунков-графиков, в том числе Бюргера и Эшера
3. Определение черно-белых групп слоев по атласу Шубникова (15 задач).
4. Определение черно-белых групп симметрии узоров Эшера (10 задач)
5. Построения черно-белых ромбических групп класса $mm2$ и анализ графиков тех же групп симметрии по Шубниковским таблицам (10 графиков)
6. Определение многоцветных групп симметрии узоров Белова по специальным рисункам (12 графиков)
7. Описание 10 основополагающих структур типа АВ в терминах черно-белой симметрии

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

1. Анализ симметрии двуцветной Шубникова для плоских групп орнаментов
2. Анализ двуцветной симметрии плоских групп Шубникова на узорах Эшера
3. Описание многоцветных групп Белова на мозаиках
4. Анализ графиков групп Шубникова из атласа с выведением двуцветной группы
5. Построение графиков двуцветных шубниковских групп из ромбических классов симметрии с решетками примитивными и центрированными различными способами
6. Построение графиков двуцветных шубниковских групп из ромбических классов симметрии с зацветенными подрешеточными элементами симметрии

| Результаты обучения | «неудовлетворительно» | «удовлетворительно» | «хорошо» | «отлично» |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Знания: : принципы расширения поля обычных (полярных) пространственных групп за счет введения нового качества – цвета | Знания отсутствуют или весьма фрагментарны | Знания есть, но отсутствует их систематичность | Знания систематические, но имеются пробелы | Систематические знания в достаточном объеме |

| | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(спина, заряда и т.д.) и понимать вытекающие из этого новые большие возможности для кристаллохимии; иметь базовые представления о квазикристаллах и пятерной симметрии, новейших находках ее проявлений в кристаллах; знать разнообразие установок кристаллов и переходы между ними</p> | | | | |
| <p>Умение: описать структуру с использованием дополнительного качества – цвета как свойства, построить график двуцветной группы или узора и связать группу с упорядочением спинов в структуре, преобразовать оси и координаты атомов структур</p> | <p>Умения отсутствуют</p> | <p>Имеются трудности принципиального характера</p> | <p>В целом успешное умение описать кристаллы, имеются затруднения</p> | <p>Успешное использование полученных знаний для описания кристаллов и их структур</p> |
| <p>Владения: таблицами Шубникова и представленными в них графиками групп, а также новейшими таблицами, представленными в Интернете.</p> | <p>Навыки владения отсутствуют</p> | <p>Наличие отдельных навыков, фрагментарное владение</p> | <p>В целом успешное владение материалом, но имеются затруднения в описании симметрии</p> | <p>Успешное использование полученных знаний для описания кристаллов и их структур в новых терминах</p> |

7. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы

-основная

Оба учебника (1. 2.) имеются в количестве более 100 экземпляров;

Пособие (3) в количестве 20 экземпляров;

Уникальных атласов (4) имеется 20 экземпляров;

На кафедре хранятся 5 экземпляров уникальных Таблиц шубниковских групп (5), собранных из различных лабораторий Академии Наук при их закрытии, и это достаточно для работы студентов;

На кафедре имеются 4 экземпляра издания Интертаблиц (7), а также 1 экземпляр нового издания, что достаточно для студентов;

Доступ в интернет есть в компьютерном классе кафедры.

Осуществляется предоставление моделей и атласов для самостоятельной работы.

Основная литература

1. **Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П.** Теория симметрии кристаллов. М.: Изд-во ГЕОС, 2000, 394 с.
2. **Егоров-Тисменко Ю.К.,** Кристаллография и кристаллохимия. М.: Изд-во Университет, Книжный дом, 2005. 587 с.

Дополнительная литература

1. **Шубников А.В.** Симметрия и антисимметрия конечных фигур. М. :Изд-во АН СССР, 1951, 172 с.
2. **Шубников А.В., Копчик В.А.** Симметрия в науке и искусстве. Изд.2-е, М.: Наука, 1972. 339 с.
3. **Белов Н.В., Неронова Н.Н., Смирнова Т.С.** 1651 шубниковская группа. В сб. Труды Ин-та Кристаллографии АН СССР, 1955. Вып.11, С.33-67.
4. **Белов Н.В., Тархова Т.Н.** Группы цветной симметрии// Кристаллография. 1956. Т.1. №1, С.4-17.
5. **Белов Н.В., Неронова Н.Н., Кунцевич Т.С.** Кристаллоструктурные иллюстрации к шубниковским группам антисимметрии// Кристаллография. 1964. Т.9. №2. С.147-154.
6. **Заморзаев А.М., Палистрант А.Ф.** Двумерные шубниковские группы // Кристаллография. 1960. Т.5. №4. С.517-524.
7. **Заморзаев А.М.,** О 1651 шубниковской группе // Кристаллография. 1962. №7. С.813-821.
8. **Инденбом В.Л., Белов Н.В., Неронова Н.Н.** Точечные группы цветной симметрии (цветные классы) // Кристаллография. 1960. Т.5. №4. С.496-500.
9. **Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П.** Учебно-методическая разработка по курсу «Теории симметрии кристаллов», ч.1, Антисимметрия, М.1992, геолфак, 1-52 с., ч.2. Многоцветная симметрия, М.,1992, геолфак, 53-77 с.
10. **Шубников А.В.** Атлас кристаллографических групп симметрии. М.-Л. :Изд-во АН СССР, 1946, 55 с.
- 11 **Копчик В.А.** Шубниковские группы. М. : Изд-во МГУ, 1966. 723 с. **Мокиевский В.А.** Группы симметрии двойников. Сб. проблемы кристаллохимии и эндогенного минералообразования. Л. : Наука 1967.
- 12 **Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К.** Руководство к практическим занятиям по кристаллохимии. М. : Изд-во МГУ, 1983. 167 с.

- 13 **International Tables for X-ray crystallography. Vol.A.** 2th rew. edit., Dodrecht / Boston / London. 1989 –**Чупрунов Е.В., Хохлов. А.Ф., Фаддеев М.А.** Кристаллография. М. : Изд-во физ.-мат. литературы. 2000. 496 с.
- 14 **Современная кристаллография.** Т.1. М.; Наука. 1979. 283 с.

Перечень программного обеспечения

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Профессиональная база данных ICSD

Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

www.iucr.org International Tables for X-ray crystallography. Vol.A, A1.

www.ivcr2014.org/events/publications/magnetic-group/table

Д) Материально-техническое обеспечение дисциплины

- а) специализированная аудитория, рассчитанная на группу до 15 учащихся,
- б) проектор, компьютер, экран, доска для рисования групп симметрии и структур с использованием цветных мелов.
- в) уникальная в мире коллекция моделей структур минералов и неорганических соединений, шариковых и полиэдрических, которая является основой для обучения на кафедре кристаллографии; уникальный графический материал (плакаты) и модельный для пояснения ряда сложных разделов
- г) Альбомы Эшера, Таблицы Шубникова, Атласы Шубникова.
- д) уникальный плакат на двуцветную и многоцветную симметрию

8. Язык преподавания – русский

9. Преподаватель – Белоконева Е.Л.

10. Разработчики программы: Е.Л.Белоконева, профессор