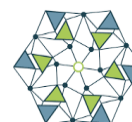


N* Новосибирский
государственный
университет
*НАСТОЯЩАЯ НАУКА



УНИВЕРСИТЕТ
ЛОБАЧЕВСКОГО



ФИЦ
КНЦ
РАН



МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА



Санкт-Петербургский
государственный
университет

«Первая всероссийская конференция преподавателей кристаллографии»



19-21 сентября 2022

Москва, МГУ им. Ломоносова

УДК 548:378.147

Сборник тезисов первой всероссийской конференции преподавателей кристаллографии: [электронное издание сетевого распространения]. М.: «КДУ», «Добросвет», МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. – 62 с. – URL: <https://bookonlime.ru/node/47702> – doi: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1252-5-2022-62.

ISBN 978-5-7913-1252-5

В сборнике представлены тезисы докладов участников Первой Всероссийской конференции преподавателей кристаллографии (19-21 сентября 2022 года). Тезисы содержат различные аспекты преподавания кристаллографических дисциплин в высшей школе для естественно-научных специальностей. Тезисы приведены в редакции авторов.

Ответственный редактор: Л.В. Шванская.

Члены редколлегии: Марченко Е.И., Манохина Е.А.

Оргкомитет

Председатель: Н.Н. Еремин (член – корр. РАН, д.х.н.).

Ученый секретарь: Е.И. Марченко (к.х.н.).

Члены оргкомитета: Пушаровский Д.Ю. (Геологический факультет МГУ), Шванская Л.В. (Геологический факультет МГУ), Марченко Е.И. (Геологический факультет МГУ), Гаврюшкин П.Н. (Геолого-геофизический факультет НГУ), Аксенов С.М. (КНЦ РАН), Банару А.М. (Химический факультет МГУ).

Программный комитет

Члены программного комитета: Еремин Н.Н., чл.-корр. РАН, д.х.н., и.о. декана Геологического факультета МГУ; Пушаровский Д.Ю., академик РАН, д.г.-м.н., президент Геологического факультета МГУ; Белоконова Е.Л., профессор, Геологический факультет МГУ; Кривовичев С.В., академик РАН, д.г.-м.н., генеральный директор ФИЦ КНЦ РАН; Словохотов Ю.Л., д.х.н., в.н.с. ИПУ РАН; Болдырева Е.В., д.х.н., профессор, НГУ; Чупрунов Е.В., д.ф.-м.н., профессор, ННГУ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

МАТЕРИАЛЫ ПЛЕНАРНОГО ЗАСЕДАНИЯ

ОБУЧЕНИЕ ПРИЕМАМ РЕНТГЕНОВСКОЙ КРИСТАЛЛОГРАФИИ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ ХИМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ <i>Асланов Л.А.</i>	7
РЕТИКУЛЯРНАЯ КРИСТАЛЛОХИМИЯ - НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ <i>Блатов В.А.</i>	8
ПРЕПОДАВАНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ В РАМКАХ ОБЩЕГО КУРСА ХИМИИ ТВЕРДОГО СОСТОЯНИЯ В НОВОСИБИРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ <i>Болдырева Е.В., Захаров Б.А.</i>	9
МЕХАНИКО-ВОЛНОВАЯ ПРИРОДА ТРАНСЛЯЦИОННОЙ СИММЕТРИИ КРИСТАЛЛОВ. КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ <i>Борисов С.В.</i>	10
ТЕЗИСЫ О ПРЕПОДАВАНИИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ ГОРНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ <i>Войтеховский Ю.Л.</i>	13
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ, ТРИ ЧЕТВЕРТИ ВЕКА – ИСТОРИЯ ПРЕПОДАВАНИЯ КРИСТАЛЛОГРАФИИ В ДЕТАЛЯХ <i>Еремин Н.Н., Шванская Л.В.</i>	14
ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ С ЭЛЕМЕНТАМИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ. ПЕРВЫЕ ВПЕЧАТЛЕНИЯ. УСПЕХИ И ОШИБКИ <i>Кузьмичева Г.М.</i>	16
ЧЕМУ МЕНЯ НАУЧИЛО ПРЕПОДАВАНИЕ <i>Оганов А.Р.</i>	20
КРИСТАЛЛОГРАФИЯ ДЛЯ ГЕОЛОГОВ В КЛАССИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ <i>Пуцаровский Д.Ю., Гричук Д.В.</i>	21
КУРС КРИСТАЛЛОХИМИИ В ПРОГРАММЕ ХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ <i>Словохотов Ю.Л.</i>	22
КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ГОРЬКОВСКОМ (НИЖЕГОРОДСКОМ) КЛАССЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ АКАДЕМИКА Н.В.БЕЛОВА <i>Чупрунов Е.В.</i>	23

МАТЕРИАЛЫ УСТНЫХ ДОКЛАДОВ

ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО КРИСТАЛЛОГРАФИИ В РАМКАХ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА И ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОХИМИИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ БАКАЛАВРИАТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ, КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАНОМАТЕРИАЛЫ» <i>Александров Е.В., Блатов В.А.</i>	25
КРИСТАЛЛОХИМИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ ПО ЗРЕНИЮ <i>Банару А.М.</i>	27
ПРЕПОДАВАНИЕ КУРСА «ТЕОРИЯ СИММЕТРИИ КРИСТАЛЛОВ» НА КАФЕДРЕ КРИСТАЛЛОГРАФИИ МГУ: ТРАДИЦИИ И СОВРЕМЕННОСТЬ <i>Белоконева Е.Л.</i>	29
ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КРИСТАЛЛОХИМИИ НА ХИМИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МГУ <i>Богдан Т.В., Миняйлов В.В., Гринева О.В.</i>	30
ТОЧЕЧНАЯ СИММЕТРИЯ В КУРСЕ КРИСТАЛЛОХИМИИ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПЕРЕХОДА К ОПИСАНИЮ СИММЕТРИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР <i>Богдан Т.В., Абрамович А.И., Засурская Л.А.</i>	32
ПЕЧАТЬ И СБОРКА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР В РАМКАХ БАЗОВЫХ КУРСОВ ПО КРИСТАЛЛОХИМИИ <i>Гаврюшкин П.Н., Сагатов Н.Е., Сагатова Д.Н., Доских К., Банаев М.В.</i>	34
ПРЕПОДАВАНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В ЭПОХУ ПАНДЕМИИ: ОСОБЕННОСТИ, ТРУДНОСТИ И ПРЕОБРЕТЕННЫЙ ОПЫТ <i>Еремин Н.Н., Марченко Е.И., Еремина Т.А.</i>	36
ПРЕПОДАВАНИЕ КРИСТАЛЛОХИМИИ НА ХИМИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МГУ. ИСТОРИЯ И ТРАДИЦИИ. <i>Засурская Л.А.</i>	39
ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ КАК УЧЕБНЫЙ КУРС ДЛЯ БАКАЛАВРОВ-ФИЗИКОВ <i>Ким Е.Л., Чупрунов Е.В.</i>	41
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОЛЛЕКЦИИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МАКРОКРИСТАЛЛОГРАФИИ <i>Марченко Е.И., Еремина Т.А.</i>	42
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ПРЕПОДАВАНИИ КРИСТАЛЛОХИМИИ <i>Миняйлов В.В., Миняйлова С.В., Богдан Т.В.</i>	43

ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ КУРСА «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ» БАКАЛАВРАМ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ «ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ» Носков Ф.М.....	45
ФОРМЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРЕПОДАВАНИИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ Нуриева Е.М.....	48
О ПРЕПОДАВАНИИ КУРСА КРИСТАЛЛОГРАФИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО <u>Овсецина Т.И., Марычев М.О.</u>	51
КУРСЫ «КРИСТАЛЛОХИМИЯ» И «ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ КРИСТАЛЛОХИМИИ» НА ХИМИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА <u>Пушкин Д.В., Серезжкин В.Н., Абдульмянов А.Р., Карасев М.О., Савченков А.В., Шилова М.Ю.</u>	53
НАБОР МОДЕЛЕЙ МОЛЕКУЛ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СИММЕТРИИ Савченков А.В.....	54
КРИСТАЛЛОГРАФИЯ В МГРИ Сизых Т.В.....	55
КРИСТАЛЛОХИМИЯ АНИОНОЦЕНТРИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ: НОВЫЕ ДАННЫЕ, РАЗВИТИЕ И ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ Сийдра О.И.....	56
ОСОБЕННОСТИ КУРСА «РЕНТГЕНОГРАФИЯ КРИСТАЛЛОВ», ДЛЯ СТУДЕНТОВ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО Сомов Н.В.....	57
АДАПТИВНЫЙ КУРС «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ – ПЕРВАЯ НАУКА О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ» Фролов К.В.....	58
ОСОБЕННОСТИ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ БАЗОВОГО КУРСА КРИСТАЛЛОГРАФИИ НА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ НГУ <u>Шемелина О.В., Мирошниченко Л.В., Гаврюшкина О.А.</u>	59
СПИСОК УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ.....	61

Материалы
Пленарного заседания

ОБУЧЕНИЕ ПРИЕМАМ РЕНТГЕНОВСКОЙ КРИСТАЛЛОГРАФИИ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ ХИМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Асланов Л.А.

Химический факультет,
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Самая сложная задача обучения – это мотивация обучаемых. На протяжении 10 лет мы ведем факультативное обучение основам рентгеноструктурного анализа студентов и аспирантов химического факультета, которые на расшифровках кристаллических структур синтезированных ими соединений убедились в полезности кристаллографических сведений и вознамерились освоить азы рентгеноструктурного анализа монокристаллов. Ежегодно семестровый курс слушают 15-20 студентов и аспирантов. В основном это студенты и аспиранты кафедр органической и неорганической химии, где химический синтез ведется в массовых масштабах.

Курс состоит из семинаров по пространственным группам, основам теории рентгеновской дифракции, а также изучения инструментальных методов рентгеновской кристаллографии и методов расшифровки и уточнения кристаллических структур. Ежегодно наибольшие трудности возникают при изучении пространственных групп, но в силу высокой мотивации обучающихся отсева не наблюдается.

Обучение ведут сотрудники лаборатории структурной химии, специализирующиеся на преподавании каждого из четырех вышеперечисленных разделов курса. К практическим занятиям привлекаются еще два сотрудника, так как практическая работа проводится в группах не более 4 человек.

Десятилетний опыт преподавания показал высокую эффективность обучения тех студентов и аспирантов, которые на собственном опыте убедились в полезности рентгеноструктурного анализа монокристаллов. Одновременно слушатели получают информацию о расшифровках кристаллических структур мелкокристаллических порошков.

РЕТИКУЛЯРНАЯ КРИСТАЛЛОХИМИЯ – НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ

Блатов В.А.

Кафедра общей и неорганической химии,
Самарский государственный технический университет (СамГТУ), Самара

Рассмотрены вопросы преподавания в рамках курса кристаллохимии нового раздела – ретикулярной («сеточной») кристаллохимии, в основе которого лежит представление кристаллической структуры в виде бесконечного периодического графа (сетки). В отличие от традиционного подхода к описанию кристаллических структур, в котором упор делается на геометрические параметры, такие как координаты атомов, межатомные расстояния, пространственная симметрия, в ретикулярной кристаллохимии рассматриваются топологические свойства атомных сеток, которые зависят от способа связывания атомов друг с другом. При этом геометрические искажения структуры играют вторичную роль и могут быть проигнорированы при сравнительном анализе. Кроме того, сетка может быть построена не только для атомов, но и для центров тяжести сложных структурных единиц (лигандов, кластеров, молекул, полостей и т.д.), тем самым представляя кристаллическую структуру на новом уровне организации. В результате оказывается возможным находить аналогии в строении кристаллических веществ различного химического состава, пространственной симметрии, степени деформации кристаллической решетки. Такой топологический подход является универсальным и позволяет рассмотреть все разделы структурной кристаллохимии с единых позиций и сформировать у студентов цельное представление об архитектуре различных классов кристаллов. Рассмотрены примеры топологического описания строения простых веществ, интерметаллидов, ионных неорганических и координационных соединений, молекулярных кристаллов, а также взаимосвязи между этими классами, проявляющиеся в топологических свойствах соответствующих сеток.

Методы ретикулярной кристаллохимии реализованы в комплексе компьютерных программ ToposPro, который развивается сотрудниками СамГТУ. ToposPro легко осваивается студентами, и практические занятия по курсу «Основы кристаллохимии», который читают сотрудники кафедры общей и неорганической химии, включают в себя приобретение навыков работы в ToposPro и проведение с его помощью топологического анализа различных классов кристаллических веществ. Полученные навыки практического топологического анализа кристаллических веществ студенты далее используют при проведении научных исследований в рамках курсовых, дипломных и диссертационных работ.

ПРЕПОДАВАНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ В РАМКАХ ОБЩЕГО КУРСА ХИМИИ ТВЕРДОГО СОСТОЯНИЯ В НОВОСИБИРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Болдырева Е.В., Захаров Б.А.

Кафедра химии твердого тела ФЕН НГУ (Новосибирск)

Знание строения объектов окружающего нас мира, а также синтетических соединений и рукотворных материалов невозможно переоценить. Понимаемая широко, как это принято сегодня, кристаллография включает изучение не только кристаллов и кристаллических веществ, но и аморфных твердых веществ, мезофаз и даже жидкостей, а также отдельных – обычно больших – молекул. Поэтому она справедливо заслуживает преподавания как большой самостоятельный общий курс для учащихся практически всех естественно-научных специальностей. Как общеобразовательный факультатив она была бы также полезна и студентам математических и гуманитарных направлений.

В силу исторических причин в Новосибирском государственном университете преподавание кристаллографии и кристаллохимии химикам традиционно встроено в курс химии твердого тела, читаемый как общий для всех студентов третьего курса. Преподавание выстроено в соответствии с особенностями аудитории и контекста, в котором идет преподавание. В предлагаемом докладе мы знакомим с общей логикой построения данного курса, приводим конкретные примеры того, как излагается лекционный материал, как он закрепляется в ходе практических занятий, как проходит аттестация. Опыт отражен в ряде публикаций [1-3]; также есть архив видеоматериалов к лекциям и практическим занятиям, РПД, включая ФОС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boldyreva E. V. Solid state chemistry: Taught as a comprehensive university course for chemistry students // *Journal of Chemical Education*, 1993, 70(7), 551.
2. Boldyreva E. Teaching general chemistry, solid-state chemistry and crystallography in one comprehensive undergraduate course: can the effect be synergistic? // *Journal of Applied Crystallography*, 2010, 43(5), 1172-1180.
3. Gražulis S., Sarjeant A. A., Moeck P., Stone-Sundberg J., Snyder T. J., Kaminsky W., Oliver A. G., Stern C. L., Dawe L. N., Rychkov D. A., Losev E. A., Boldyreva E. V., Tanski J. M., Bernstein J., Rabeh W. M., Kantardjieff, K. A. Crystallographic education in the 21st century // *Journal of Applied Crystallography*, 2015, 48(6), 1964-1975.

МЕХАНИКО-ВОЛНОВАЯ ПРИРОДА ТРАНСЛЯЦИОННОЙ СИММЕТРИИ КРИСТАЛЛОВ. КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.

Борисов С.В.

Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, г. Новосибирск

I. Динамика материальных частиц в конденсированной среде

В зависимости от уровня кинетической энергии материальные частицы: атомы, молекулы, конгломераты молекул – находятся либо в газообразном состоянии, когда эта энергия (иначе говоря, температура) выше сил взаимного притяжения частиц, либо в жидком, когда система частиц конденсируется, но она еще сохраняет свои индивидуальные степени свободы, либо в состоянии кристаллическом, когда все разнообразие конфигураций частиц ограничено повторяющейся во всем объеме элементарной ячейкой.

Температура кристаллизации – это тот уровень кинетической энергии частиц, когда их смещению из исходной позиции противодействуют силы, возвращающие их на место (силы взаимодействия с ближайшим окружением). В механике это среда с определенным тензором упругости, который определяет разнообразие колебательных движений в среде. Трех одинаковых частиц достаточно, чтобы реализовалась плоская бегущая волна с фронтом волны, параллельным плоскости, где лежат атомы. Массы атомов сконцентрированы в ядрах с размерами $\approx 10^{-13}$ см, между которыми на расстояниях $\approx 10^{-8}$ см только масса электронных облаков (для понимания масштаба атомы – это как сантиметровые горошины в километрах друг от друга).

Когда фронт плоской бегущей волны подходит к ближайшему атому, то из-за резкого увеличения величины функции массы происходит частичное отражение бегущей волны, которое, суммируясь с бегущей, дает компоненту так называемой стоячей волны. При встречах со следующими частицами интенсивность отраженной волны усиливается, и в итоге она сравнивается с прошедшей, образуя стоячую волну, у которой уже нет потока энергии и которая представляет собой стабильное во времени динамическое состояние системы. Амплитуды колебаний частиц в узловых плоскостях стоячей волны, разделенных на половину длины бегущей волны, равны нулю, между ними области пучности с максимальной амплитудой колебаний посередине.

Стоячая волна стабилизирует свою энергию, смещая наиболее массивные частицы ближе к узловым плоскостям, чтобы снизить уровень их энергии, и таким образом осуществляется *трансляционное упорядочение* частиц вдоль нормали к волне (с трансляцией, равной половине длины бегущей волны).

При достаточно умеренной скорости охлаждения (потере кинетической энергии частиц) в кристаллизующейся системе возникают стоячие волны разных направлений и размеров, создавая трансляционные упорядочения не только односортовых частиц, но и их комбинаций. Наибольший вклад в стабильность будут вносить стоячие волны (они же кристаллографические плоскости (hkl)) с более массивными атомами и такие, где эти атомы ближе к данным плоскостям. Любые три некопланарные системы узловых плоскостей стоячих волн образуют трансляционную решетку точек пересечений, к которым приближены позиции атомов, заполняющих эти плоскости.

Для понимания процесса кристаллизации принципиально важно следующее: если тензор упругости кристаллизующейся среды образуется за счет химических связей между атомами, то в образовании стоячих волн, то есть трансляционной симметрии, главную роль играют не химия, а массы и размеры атомов, дистанции до ближайших соседей. И главное: не трансляционная решетка образует плоскости (hkl), как пока утверждается в кристаллографии, а узловыe плоскости стоячих волн, фиксируя на себе позиции атомов, создают в итоге истинную трансляционную решетку всех атомов, для которой предыдущее упорядочения оказываются подрешетками ее узлов.

Стабильность кристаллической структуры обеспечена масштабным сокращением степеней свободы всех ее атомов до их ограниченного числа у атомов в объеме элементарной ячейки. Дальнейшее сокращение, а значит и минимализация энергии системы, реализуется локальной симметрией уже в объеме элементарной ячейки. Освобождаясь при сокращении степеней свободы энергия выделяется в форме теплоты кристаллизации.

Итак, для данного атомного состава процесс кристаллизации означает образование пространственной конфигурации позиций с максимальной внутренней симметрией (минимум степеней свободы) при минимальном объеме трансляционной ячейки. У реальных структур эквивалентные по геометрической симметрии позиции могут быть заняты разными сортами атомов, что классифицируется как *парасимметрия* (от греч. *пара* – «около»). Среди идеальных конфигураций атомных позиций известны кубические с F- и I-решетками (пространственные группы симметрии $Fm\bar{3}m$, $Im\bar{3}m$ и их подгруппы) и гексагональные ($R\bar{6}/m\bar{3}m$ и ее подгруппы). В них достигнута как плотная упаковка, так и предельная симметрия. Такие структуры имеют многие металлы и другие стабильные в широком диапазоне температур и давлений материалы.

II Кристаллографический анализ

Разработанный на базе изложенной выше концепции кристаллографического состояния метод кристаллографического анализа включает следующие логически связанные этапы:

1. Нахождение кристаллографических плоскостей с наибольшей плотностью заполнения как отдельными сортами атомов, (например, только катионами и только анионами), так и плоскостей с их взаимным упорядочением – «скелетных» плоскостей структуры. Особое внимание к роли тяжелых атомов.
2. Проверка подрешеток из трех «скелетных» плоскостей на близость их симметрии к идеальным вариантам. Рекомендуется использовать плоскости, связанные в структуре симметрией, например, (hkl) и $(-hkl)$, если есть зеркальная симметрия, перпендикулярная a -трансляции, плоскости (hkl) , связанные тройной осью, и тому подобные.
3. Кроме скелетных плоскостей (hkl) с d_{hkl} близкой к взаимным контактам данных атомов, которые, как правило, дают примитивные подъячейки с большой долей заполнения атомами узлов, анализируются и подрешетки на плоскостях с меньшими d_{hkl} , где возможны каналы и полости за счет упорядочения вакантных позиций.
4. Анализ локальной симметрии атомных группировок, существующих в предкристаллизационной среде и влияние их симметрии на симметрию образовавшейся структуры. Особое внимание к симметрии частных позиций и атомам, их занимающим. Можно предполагать, что такие фрагменты – это зародыши (темплеты), когерентная сборка которых создает трансляционную симметрию.
5. Классификация структур по симметрии или парасимметрии катионных, анионных или смешанных каркасов.

III Методические советы

Для нахождения «скелетных» плоскостей можно пользоваться программами расчетов F_{hkl} амплитуд рассеяния рентгеновских лучей плоскостями (hkl) , так как интенсивные амплитуды означают высокую плотность соответствующих атомов в данных плоскостях. В расчет F_{hkl} включаются только те атомы, для которых надо найти «скелетные» плоскости. Крупные и массивные катионы часто образуют единые подрешетки с крупными анионами благодаря близким размерам.

Расчет параметров подрешеток делается по программе (см. ссылку 7), где кроме минимальной (примитивной) решетки выдаются производные от нее параметры F- и I-ячеек. Чтобы воспользоваться этими данными, исходная подрешетка должна быть близкой либо к ромбоэдру с тремя острыми углами, либо с тремя тупыми. Если выдалась ячейка с двумя тупыми и одним острым, или, наоборот, с двумя острыми и одним тупым, то надо поменять индексы плоскости, в которой лежит этот выпадающий угол, на обратные: (hkl) на $(-h-k-l)$. Заметим, что число узлов подрешеток в элементарной ячейке структуры численно

равно детерминанту третьего ранга из индексов h, k, l трех плоскостей, для которых рассчитывается подрешетка. Вектора подрешетки находятся с помощью матрицы перехода, выданной программой.

При анализе гексагональных и тригональных структур надо иметь в виду, что кроме R-решетки они имеют решетки кубические при $c/a=0,612; 1,225; 2,45$ (соответственно I-, P-, F- кубические решетки).

Литература

1. Г.С. Горелик. Колебания и волны. М. -Л., 1950.
2. Э. Дьелесан, Д. Руайе. Упругие волны в твердых телах. М.: Наука, 1982.
3. С.В. Борисов, С.А. Магарилл, Н.В. Первухина. Успехи химии. 2015. Т. 84, № 4, 393 – 421.
4. С.В. Борисов, С.А. Магарилл, Н.В. Первухина. Журнал структурной химии. 2019. Т. 60, № 8, 1243 – 1271.
5. С.В. Борисов, Н.В. Первухина, С.А. Магарилл. Журнал структурной химии. 2019. Т. 60, № 1, 81 – 86 (анализ структуру корунда).
6. С.В. Борисов, С.А. Магарилл, Н.В. Первухина. Кристаллография. 2012. Т. 57, № 5, 735 – 739.
7. С.А. Громилов, Е.А. Быкова, С.В. Борисов. Кристаллография. 2011. Т. 56, № 6.

ПРЕПОДАВАНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ ГОРНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Войтеховский Ю.Л.

Кафедра минералогии, кристаллографии и петрографии,
Санкт–Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Преподавание кристаллографии в Санкт–Петербургском горном университете имеет богатые традиции. Основателем кафедры кристаллографии был Е.С. Федоров (1905–1919). Традиция состоит уже в том, что курс построен на геометрических образах, то есть в стиле Е.С. Федорова при выводе им 230 пространственных групп симметрии. Базовым учебником для геологов и «малых специальностей» (гидрогеологов, инженерных геологов, металлургов, экологов) служит многократно переиздававшаяся «Кристаллография» Г.М. Попова и И.И. Шафрановского. Между тем, в курсе математики студенты проходят линейную алгебру и подготовлены к описанию симметрических преобразований в матрицах. Опрос показал, что почти половина студентов голосует за алгебраический подход.

Кристаллография – последняя дисциплина в образовании геологов, обучающая строгости мышления. Недостатком указанного учебника видится его шадящий описательный характер. Базовые теоремы кристаллографии должны доказываться неукоснительно и строго. Недостатки курсов математики и кристаллографии – отсутствие представлений о таких алгебраических структурах, как группоиды, полугруппы, группы... Студенты не научаются видеть их в природе. Так, некоммутативность геологических процессов, обеспечивающая саму возможность реконструкции истории земной коры, никак не отзывается в памяти студентов некоммутативностью произведения матриц... Обращения автора на кафедру высшей математики об изменении программы для геологов результата не дали.

Переход от точечных групп симметрии к пространственным группам в указанном учебнике слишком быстр и почти неподъемен для студентов. Между ними следует вставлять не предусмотренное программой изложение симметрии бордюров и сетчатых орнаментов. В связи с включением в сферу кристаллографии квазикристаллов следует вводить в лекции и мозаики Пенроуза с объяснением концепции глобального, но не трансляционного порядка.

Имеет место проблема выстраивания преемственности учебных курсов для геологов: кристаллография – минералогия – петрография. Кроме очевидной линии «кристаллография идеального кристалла – минералогическая кристаллография – оптическая диагностика минералов в горных породах», кристаллография может сослужить методологическую помощь в определении категории «петрографическая структура». В согласии с принятыми в петрографии вербальными определениями, она должна быть инвариантна относительно некоторых вариаций модального состава и частот межзерновых контактов в горной породе. Автором она определена как каноническая форма симметрической матрицы вероятностей бинарных контактов. Систематика и номенклатура «петрографических структур» логично строится в русле теории алгебраических форм 2–го, 3–го и 4–го порядков.

Особенности преподавания кристаллографии и кристаллохимии органических соединений и биокристаллографии сегодня отчасти связаны с включением в круг этих дисциплин фуллеренов и подобных соединений, в том числе икосаэдрических (сферических) вирусов. Логика событий ведет к тому, чтобы узаконить в университетских курсах кристаллографии додекаэдро–икосаэдрическую сингонию с ее восемью простыми формами. Заметим, что Е.С. Федоров и В.В. Доливо–Добровольский еще в начале XX века держали ее в поле зрения в статусе «системы» при рассмотрении шести (затем семи) официальных сингоний.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ, ТРИ ЧЕТВЕРТИ ВЕКА – ИСТОРИЯ ПРЕПОДАВАНИЯ КРИСТАЛЛОГРАФИИ В ДЕТАЛЯХ

Еремин Н.Н., Шванская Л.В.

Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, Геологический факультет,
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Доклад посвящен эволюции и преемственности преподавания основных кристаллографических курсов сотрудниками кафедры кристаллографии и кристаллохимии Геологического факультета МГУ, начиная с ее создания в 1949 году и вплоть до наших дней. Основное внимание уделено двум базовым курсам, составляющим базис геохимического образования на факультете: «Кристаллография» и «Кристаллохимия». Эти курсы являются основой для последующего успешного освоения курсов минералогии, петрографии, геохимии, полезных ископаемых, литологии и других наук о веществе Земли, материаловедческих и структурно-химических дисциплин. Традиционно курсы читаются либо заведующим кафедрой, либо ведущим преподавателем по этой дисциплине. Так, за прошедшие десятилетия лекторами курса «Кристаллография» были Г.Б. Бокий, Г.М. Попов, Н.В. Белов, Г.П. Литвинская, Ю.К. Егоров-Тисменко, Н.Н. Еремин. Проблема этого курса связана с тем, что предмет «геология» не говоря уже о «кристаллографии» не преподается в средней школе. Отдельные мелкие части этих наук хаотически разрознены по урокам химии, биологии, физики, алгебры и геометрии. Поэтому для большинства студентов-геологов начальных курсов кристаллография предстает изящной, красивой, но крайне сложной и абсолютно незнакомой наукой, требующей хорошего пространственного воображения, углубленной математической и химической подготовки, что присутствует у большинства слушателей крайне редко. В этой связи материал усваивается традиционно тяжело и требует даже от мотивированных студентов систематических занятий и дополнительных консультаций.

Курс «кристаллохимия» читается студентам геохимического потока после курса «кристаллография», что достаточно логично. Этот курс в разные годы читали Ю.Г. Загальская, Г.Б. Бокий, Н.В. Белов, В.С. Урусов, Н.Н. Еремин. Каждый из них приносил что-то новое и оригинальное в программу курса.

Так, Г.Б. Бокий явился создателем в МГУ специальной мастерской, изготавливающей трехмерные модели атомных структур кристаллов. В ее штате работало 6 мастеров и математик, который рассчитывал, сколько надо брать шаров для того, чтобы модель была достаточной, под какими углами в каждом шаре необходимо сверлить отверстия и т.д. В результате появилась возможность изготавливать практически любую требуемую модель, как «шарики-стержневую», так и «полиэдрическую». За несколько лет работы этой мастерской удалось создать большую коллекцию моделей, используемых при обучении кристаллохимии на химическом и геологическом факультетах МГУ.

Научным единомышленником Г.Б. Бокия стала выпускница химического факультета МГУ Ю.Г. Загальская. Она всю свою творческую жизнь посвятила преподаванию теоретической кристаллохимии, включая симметрию пространственных групп. Подробнее о ее педагогической деятельности по курсу «теория симметрии кристаллов» будет рассказано в докладе Е.Л. Белоконовой.

Бурный расцвет мастерской по изготовлению наглядных пособий пришелся на годы, когда кафедрой руководил Н.В. Белов. Отличительной особенностью всех его лекций была их богатая оснащенность прекрасными оригинальными учебными пособиями, которые он сам изобретал, следил за их изготовлением и все время совершенствовал, добиваясь не только наглядности, простоты, но и эстетичности. Часто его лекции, как и экзамены, выглядели как доверительные беседы. На экзамене у Белова ценилось умение студента мыслить.

Сменивший Н.В. Белова на посту заведующего кафедрой В.С. Урусов привнес в курс кристаллохимии новое энергетическое направление, основополагающие идеи которого были заложены еще А.Е. Ферсманом. Впервые в нашей стране В.С. Урусов сделал акцент на

математическое моделирование кристаллических структур и свойств минералов, что получило отражение и в программе курса. Дальнейшее развитие этого направления проявилось в лекциях Н.Н. Еремина.

Отметим, что с открытием филиала МГУ в республике Таджикистан и совместного университета МГУ-ППИ в Китае от преподавателей кафедры кристаллографии и кристаллохимии потребовалось, с одной стороны, создание адаптированных учебно-методических программ и учебных пособий по курсам «Кристаллография», «Кристаллохимия», «Кристаллохимия и структурная химия», «Отдельные главы структурной химии», отражающих специфику учебного процесса филиала. С другой стороны, от лекторов потребовалась существенная модификация лекционных и практических занятий, поскольку одной из отличительных особенностей филиалов МГУ является тот факт, что занятия проходят по особому вахтовому методу, что требует внесения существенных корректив, как в программы курсов, так и в учебные пособия.

С учетом современных тенденций в развитии кристаллографии и кристаллохимии за последние годы создано несколько новых учебных курсов. В их числе: «Физическая и теоретическая кристаллохимия. Суперкомпьютерные расчеты», «Аниоцентрированная кристаллохимия», «История и развитие учения о кристаллографии» и др. Важной современной составляющей является создание и функционирование сайтов преподаваемых учебных курсов. Упомянутые в докладе учебные курсы имеют интернет-сопровождение на сервере кафедры кристаллографии и кристаллохимии [1]. Отметим, что сопровождение курсов не ограничивается только справочным материалом. В современный процесс обучения широко внедрены новые образовательные технологии, такие как интерактивное тестирование, включая тренировочную и контрольную часть с верификацией испытуемых и обратной связью с преподавателем. Основные положения современного методического сопровождения кристаллохимических курсов были опубликованы в журнале «Кристаллография» [2], а также освещались на I-ом Российском кристаллографическом конгрессе [3].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://cryst.geol.msu.ru/courses/>
[2] Еремин Н.Н., Еремина Т.А. (2018) Кристаллография, том 63, № 2, с. 332-336.
[3] Еремин Н.Н., Еремина Т.А. (2017) Тезисы докладов I-ого Российского кристаллографического конгресса, Москва, 21–26 ноября 2017. С. 299.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ С ЭЛЕМЕНТАМИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ. ПЕРВЫЕ ВПЕЧАТЛЕНИЯ. УСПЕХИ И ОШИБКИ

Кузьмичева Г.М.

Кафедра цифровых и аддитивных технологий и Научно-образовательный центр «Многомасштабное конструирование материалов», ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет», Москва

Организация дополнительного профессионального образования (ДПО) вызвана отсутствием в РТУ МИРЭА самостоятельных курсов лекций по всем или отдельным разделам кристаллографии (геометрическая, физическая, химическая, ростовая, дифракционная) как для студентов, так и для аспирантов. Отдельные главы разделов, в основном геометрическая кристаллография и дифракционная кристаллографии, читаются преподавателями РТУ МИРЭА как ограниченные вставки в лекции некоторых предметов (например, «Диаграммы фазовых состояний», Физико-химические методы анализа» и пр). Несмотря на это, дифракционные методы, как правило, рентгенографические с использованием порошковых и монокристалльных дифрактометров, включаются в магистерские, кандидатские и докторские работы, в текст подаваемых проектов и грантов, публикуемых статей, обзоров и монографий. С другой стороны, стремительное развитие и усовершенствование инструментальной базы и программного обеспечения, расширение применения установок MegaScience в химии и материаловедении, устойчивый интерес к объектам разного вида и разной иерархической размерности (кристаллы, нанокристаллы, аморфные вещества, жидкости) требуют знания современных возможностей кристаллографии во всех ее ипостасях. Все это послужило обоснованием разработки и реализации в 2022 г курса ДПО «Масштабная диагностика конденсированных сред рентгенодифракционными и комплементарными методами на синхротронном излучении» (256 часов, 18 недель) для аспирантов (41%), преподавателей (профессора - 9%, доценты – 38%, ассистенты – 3%), научных сотрудников (6%) и магистрантов (в порядке исключения, 3%). Цель курса - получение компетенций, необходимых для приобретения нового вида профессиональной деятельности в области проведения научно-исследовательских и инновационных работ с применением синхротронного и других видов излучения в фундаментальном и прикладном материаловедении.

Курс ДПО 2022 года состоял из четырех Дисциплин:

Дисциплина 1 – «Основные разделы кристаллографии: геометрическая, химическая, ростовая, физическая, дифракционная» (18 часов, включая, 6 часов лекций и 2 часа практических занятий; 1 час – 45 мин);

Дисциплина 2 – «Дифракционные методы диагностики конденсированных сред с применением рентгеновского излучения (лабораторные дифрактометры) и излучения электронов» (78 часов, 16 часов лекций и 8 часов практических занятий);

Дисциплина 3 – «Дифракционные методы диагностики конденсированных сред с применением синхротронного излучения» (72 часа, 12 часов лекций и 8 часов практических занятий);

Дисциплина 4 – «Комплементарные методы диагностики конденсированных сред с применением синхротронного излучения» (54 часа, 8 часов лекций и 8 часов практических занятий).

В количество часов, кроме лекций и практических работ, входили часы, отведенные на самостоятельную работу для усвоения лекций каждой Дисциплины, подготовку к практическим занятиям и написания научно-практического эссе, например, по темам «Элементы разделов кристаллографии в конкретной области практической деятельности» и «Подготовка заявки в ЦКП с обоснованием необходимости применения синхротронного и/или ондуляторного излучений для изучения объектов в своей профессиональной

деятельности». Красной нитью по всем дисциплинам проходила фундаментальная связь «состав (реальный состав с учетом всех видов точечных дефектов и их ассоциатов) – строение (кристаллическая структура и локальная структура отдельных атомов/ионов; строение нанообразований и надмолекулярных структур) - функциональные свойства». Все лекции и практические занятия прочитаны и проведены высококвалифицированными специалистами из РТУ МИРЭА, МГУ имени М.В.Ломоносова, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, НИЦ «Курчатовский институт». Курс ДПО закончился защитой аттестационных работ, в которых слушателями из разных кафедр РТУ МИРЭА были представлены возможности всех разделов кристаллографии в разных сферах химии и материаловедения: «Применение рентгенографических методов для установления кристаллохимических особенностей строения поликристаллических и нанокристаллических соединений 1,5 – дифенил-3-селенпентадиона – 1,5 (ДАФС-25)», «Применение методов рентгенографии, рентгеновской абсорбционной спектроскопии и электронной микроскопии для диагностики каталитической системы $\text{PdCl}_2 - \text{CuCl}_2/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ », «Детальная аттестация кристаллической и локальной структуры поликристаллических цеолитов типа MFI», «Особенности строения монокристаллических комплексов хлоридов меди(II) и цинка(II) с кофеином», «Применение рентгенографии и электронной микроскопии для изучения каталитической системы на основе волокнистого углерода», «Применение широкоугольного и малоугольного рассеяния для изучения надмолекулярной структуры частично кристаллического изотактического полипропилена при варьировании условий его переработки», «Установление полиморфных превращений в кристаллизующихся сополимерах поливинилиденфторида с применением широкоугольного и малоугольного рентгеновского рассеяния». Это лишь малый перечень тем аттестационных работ, из которых, тем не менее, виден широкий диапазон применения полученных знаний в рамках ДПО. После завершения курса, зачетов по всем дисциплинам и успешной защите аттестационных работ в виде презентаций и пояснительной записки, все слушатели получили дипломы. Замечу, что материалы лекций и практических занятий аспиранты уже внесли в свои кандидатские работы, а кандидаты наук планируют повысить качество будущих докторских диссертаций включением новых знаний в области кристаллографии

Анализ результатов проведения курса ДПО «Масштабная диагностика конденсированных сред рентгенодифракционными и комплементарными методами на синхротронном излучении» в 2022 году, мнение преподавателей и слушателей подтвердили его необходимость, востребованность и большой интерес, но и выявил ряд недоработок и пожеланий. Прежде всего, все слушатели отметили недостаточность часов Дисциплины 1 с необходимостью усвоения элементов геометрической кристаллографии на практических занятиях, включения большего числа лекций по современной кристаллохимии и ростовой кристаллографии, расширения раздела кристаллофизики. Кроме того, появилась необходимость в лекциях по применению излучения нейтронов и методов изучения поверхности в своей профессиональной деятельности. На основании этого в 2022-2023 гг планируется новый курс ДПО «Специальные разделы материаловедения с привлечением синхротронного излучения» (256 часов, 33 недели), включающий восемь Дисциплин. В каждой Дисциплине в той или иной форме используются знания разделов кристаллографии, прежде всего геометрической:

Дисциплина 1 – «Основные разделы кристаллографии: геометрическая, химическая, ростовая, физическая, дифракционная» (42 часа, 20 часов лекций и 4 часа практических занятий в интерактивной форме);

Дисциплина 2 – «Дифракционные методы диагностики нанокристаллических, поликристаллических и монокристаллических объектов с применением рентгеновского излучения (дифрактометры)»;

Дисциплина 3 – «Дифракционные методы диагностики конденсированных сред с применением излучения нейтронов»;

Дисциплина 4 – «Методы диагностики конденсированных сред с применением излучения электронов»;

Дисциплина 5 – «Методы изучения поверхности. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия»;

Дисциплина 6 – «Дифракционные методы диагностики конденсированных сред с применением синхротронного и ондуляторного излучений»;

Дисциплина 7 – «Методы рентгеновской абсорбционной спектроскопии для изучения конденсированных сред»;

Дисциплина 8 – «Методы малоуглового рентгеновского рассеяния (дифрактометр, синхротрон) и рассеяния нейтронов для изучения конденсированных сред».

В 2022-2023 гг. будет расширена и тематика Самостоятельных работ: «Подготовка заявки в ЦКП с обоснованием необходимости применения излучения нейтронов для изучения объектов в своей профессиональной деятельности», «Применение метода XAS в конкретной области практической деятельности», «Подготовка заявки в ЦКП с обоснованием необходимости применения синхротронного излучений для изучения объектов методами малоуглового рентгеновского и нейтронного рассеяний». Как видно из перечисленных тем Самостоятельных работ по нескольким Дисциплинам, особая роль отводится пониманию основ каждой из восьми Дисциплин, специфики применяемых методов (методик) для решения тех или иных задач химии и материаловедения в приложении к конкретным объектам исследования.

В 2021-2022 гг. была реализована еще одна программа в рамках «Школы материаловеда»: Элитная программа РТУ МИРЭА для студентов первого курса под названием «От атома до материала с синхротронным излучением (72 часа, осенний и весенний семестры). Цель обучения - способность применять в профессиональной деятельности углубленные знания о составе, строении и свойствах соединений и возможностей получения из них функциональных материалов универсального назначения. В этом курсе особое внимание было уделено теории симметрии (элементы макросимметрии и микросимметрии, простые формы кристаллов и комбинации простых форм; методы кристаллографического индентирования) и основам теории дифракции. На практических занятиях студентам было показано применение порошковой рентгенографии для характеристики аморфных, нанокристаллических и кристаллических объектов с использованием съемки на дифрактометрах и синхротроне, а самое главное, продемонстрирована разница между «соединением» и «материалом» и пути перехода от одного к другому. Студенты на примере ими выращенных кристаллов и ими же снятых дифрактограмм с этих кристаллов рассмотрели связь внешнего и внутреннего строения кристаллов, двойники и сростки, роль условий роста на габитус кристаллов, цвет кристаллов и их причины. Осенний семестр закончился «кристаллографической елкой» с игрушками в виде полиэдров, сделанных студентами, награждением оригинальными призами за самый красивый выращенный кристалл и за правильные ответы на неожиданные вопросы из области живописи, архитектуры, литературы, поэзии, имеющие самую непосредственную связь с кристаллографией. По окончании весеннего семестра студенты защитили Аттестационную работу, лучшие из работ были представлены на VII научно-технической конференции студентов и аспирантов РТУ МИРЭА, причем одна из работ заняла призовое место. При выполнении Аттестационной работы студенты показали полученные знания ряда программ по обработке и расчету дифрактограмм, визуализации структур и расчету структурных параметров, структурных банков данных и пытались найти корреляционные связи «состав-строение-свойства». Несмотря на успешное завершение курса с выдачей Сертификатов, дающих право на повышенную стипендию и приоритет при поступлении в магистратуру, эта программа оказалась довольно трудной для студентов, хотя критерием отбора в эту группу были высокие оценки при поступлении в РТУ МИРЭА и по результатам первой экзаменационной сессии. Это связано с тем, что сразу после окончания школы, на первом году обучения в РТУ МИРЭА, подавляющему большинству студентов пришлось

впервые услышать слово «кристаллография». Тем не менее, надеюсь, что эти студенты уже на первом курсе поняли необходимость знания основ кристаллографии для создания новых материалов и оптимизации известных, то есть у них появилась (опять надеюсь!) мотивация для изучения кристаллографии. Причем некоторые студенты изъявили желание продолжить свое знакомство с прекрасной наукой «Кристаллография» в рамках Студенческого научного общества на последующем курсе обучения в РТУ МИРЭА.

В заключении хочу выразить благодарность Министерству науки и высшего образования РФ (проект №0706-2020-0026 и проект № 075-15-2021-1362) за финансовую поддержку курсов ДПО в РТУ МИРЭА в 2021-2023 гг.

ЧЕМУ МЕНЯ НАУЧИЛО ПРЕПОДАВАНИЕ

Оганов А.Р.

Сколковский Институт Науки и Технологий, Москва

НИТУ-МИСиС, Москва

Институт Геохимии и Аналитической Химии, Москва

20 лет преподавания дисциплин «Минералогическая кристаллография», «Структура и свойства материалов», «Кристаллохимия», «Некоторые главы кристаллохимии» и «Цифровое материаловедение» многому меня научили. Вкратце, мои педагогические принципы таковы:

1. Преподаватель должен быть хорошим профессионалом (желательно, действующим ученым) в том предмете, который преподает.
2. Главная задача преподавателя – привить ученикам интерес и любовь к предмету и дать основной инструментарий для его дальнейшего изучения и качественные источники информации – включая научные статьи.
3. Важно рассказывать студентам о новейших открытиях и открытых, нерешенных задачах.
4. Важно поощрять инициативу учеников – интерактивным стилем лекций и докладами студентов.
5. Для глубокого освоения предмета наилучший способ – научное исследование. В своем докладе я раскрою эти принципы на конкретных примерах.

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ ДЛЯ ГЕОЛОГОВ В КЛАССИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТАХ

Пушаровский Д.Ю.¹, Гричук Д.В.²

¹ Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, Геологический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

² Кафедра геохимии, Геологический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Полувековой опыт преподавания рентгеноструктурного анализа и минералогической кристаллографии убеждает в том, у студентов многих специальностей остаются представления о нашей науке, ограниченные знакомством с элементами симметрии и точечными группами [1,2]. Геофизики, гидрогеологи, нефтяные геологи и представители других специальностей не находят место кристаллографии среди других наук о Земле, а, увидев полиэдрический рисунок какой-либо структуры, не скрывают свое непонимание. Это - узкий взгляд на кристаллографию, как на науку, весьма условно связанную с геологией, и наша общая задача – его изменить. Эта интернациональная проблема существует десятилетия.

Перед лицом чрезвычайной ответственности преподаватель кристаллографии на геологическом факультете должен с особой осторожностью подойти к отбору тем [3]. Реальная цель при этом – довести студента до уровня, когда он сможет:

- На основе изучения внешней формы определить точечную группу кристалла.

- Понять, как устроена кристаллическая структура, и каким образом она получена на основе дифракционных методов. Иными словами: как описать модель структуры, используя литературные данные.

Кристаллография XVII, XVIII и XIX веков создавалась на стыке математики и минералогии. На конкретных примерах показана важная роль самых современных кристаллографических методов, результатов исследований и идей в развитии представлений о составе и строении Земли и планет. Изучение огранки кристаллов – основа работ до-рентгеновского периода, однако оно по-прежнему обогащает современную науку. Рассмотрены конкретные примеры, подтверждающие вклад работ, связанных с исследованием структурных трансформаций при высоких давлениях и температурах в изучение состава и строения глубинных геосфер.

Приведенные в докладе результаты дают представление о широте проблем, стоящих в настоящее время перед минералогической кристаллографией.

Рассмотрены новые вызовы и возможности в преподавании наук о Земле в классических университетах, связанные с выходом Российских ВУЗов из Болонского процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пушаровский Д.Ю. Минералогическая кристаллография. М: Геокарт-Геос. 2020.
2. Пушаровский Д.Ю. Современная кристаллография: полезна ли она наукам о Земле? // Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология, 2022, №1, 3-23.
3. Donnay G., Donnay J.D.H. How much crystallography should we teach geologists // American Mineralogist, 1978, 63, 840-846.

КУРС КРИСТАЛЛОХИМИИ В ПРОГРАММЕ ХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Словохотов Ю.Л.

Институт проблем управления РАН, Москва

Курс кристаллохимии, в зарубежных университетах называемый Chemical Crystallography – неотъемлемая часть подготовки современного химика. К 2022 г. в основных банках структурных данных депонировано около 1.5 млн. кристаллических структур неорганических, органических, координационных, элементо- и металлоорганических соединений, а также биологических макромолекул (белков, нуклеиновых кислот) и их комплексов. Чтобы успешно пользоваться этими данными в задачах химии и химического материаловедения, выпускники химических специальностей должны владеть основами кристаллографии и дифракционных методов исследования кристаллов, а также знать атомные кристаллические структуры наиболее распространенных и используемых на практике классов химических соединений.

В докладе представлена практическая схема обучения студентов трех химических специальностей МГУ: химического факультета и факультета фундаментальной физико-химической инженерии (ФФХИ), а также Бакинского филиала МГУ (2006-2016), и факультета наук о материалах (ФНМ) (с 2006 г. по настоящее время) на основе опыта автора. Варьирование нагрузки (от 54 академических часов в Бакинском филиале до 96 ч. в ФНМ за односеместровый курс) и содержания материала (так, студенты ФНМ изучают отдельный курс рентгеновской дифракции, а в остальных специальностях основы рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа включены в программу кристаллохимии) позволяет выделить главные информационные блоки, необходимые студентам-химикам. Не касаясь дифракционных методов, мы рассмотрим материал по симметрии и атомным структурам основных классов соединений.

В учебном плане студентов-химиков курс кристаллохимии играет роль поддерживающей физико-химической дисциплины. В нем используются не только сведения из физики и линейной алгебры, но также данные неорганической, органической и физической химии. Это отличает «химическую кристаллографию» от стандартных курсов кристаллохимии для других специальностей, которые обычно построены по образцу точных наук: фундаментальные понятия и их применение – математизированные общие закономерности – отдельные примеры. Вместо этой схемы (по нашему мнению, во многом иллюзорной) курс нацелен на практические задачи химии. Его основными разделами служат (1) «язык» геометрической кристаллографии (группы и решетки), (2) основные понятия структурной кристаллографии (расположения атомов в элементарной ячейке, шаровые упаковки и пустоты, мотивы, координационные полиэдры) и (3) их использование при анализе кристаллических структур в основных классах химических соединений. Последний раздел включает корреляции атомной структуры кристаллов с физико-химическими свойствами веществ, в том числе жидкостей и мезофаз, а также новые классы соединений, полученные и исследуемые в рамках «инженерии кристаллов».

В докладе будут обсуждаться программа курса и схема изложения материала, во многих случаях упрощающая понимание традиционно «трудных» вопросов кристаллохимии и структурной химии (символику Германа-Могена, классификацию пространственных групп и построение их графиков, неклассические шаровые упаковки, особенности органических кристаллов и др.). В построении лекций и семинаров учтены опыт обучения студентов в режиме «онлайн», включавший их самостоятельную работу с программами визуализации (VESTA, Diamond, Mercury) по тематическим подборкам cif-файлов, и использование книги автора «Основы кристаллохимии» (М.: КДУ, 2020) в качестве пособия для студентов ФНМ.

**КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ГОРЬКОВСКОМ
(НИЖЕГОРОДСКОМ) КЛАССЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ АКАДЕМИКА
Н.В.БЕЛОВА**

Чупрунов Е.В.

Кафедра кристаллографии и экспериментальной физики,
Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского

Любивший образные выражения академик Н.В. Белов говорил, что его научная школа состоит из классов – Московского, Новосибирского, Владимирского и других. Мы, горьковские физики-кристаллографы представляли собой его горьковский класс. Н.В. Белов уделял много внимания разработке основ кристаллографического образования в нашем университете, учитывая хороший физико-математический фундамент наших студентов. Результатом были две опубликованные в журнале «Кристаллография» программные статьи о содержании кристаллографического образования [1,2].

Основной курс «Кристаллография» в нашем университете Построен в соответствии с основными идеями Н.В. Белова и непрерывно совершенствуется. Это касается как содержания, так и языка изложения. Помимо классического учения о федоровской симметрии кристаллов и теории плотнейших упаковок курс включает материал о некристаллографической симметрии, теории орбит кристаллографических групп, сведения о структурах с нетрансляционным упорядочением (квазикристаллах), фуллеренах и многое другое [3]. Он является базой для последующих курсов физики твердого тела и спецкурсов.

Язык изложения стремится к математической строгости. Операторный метода описания групп симметрии (в том числе некристаллографических и обобщенных) позволяет широко применять компьютерные методы в симметричном и кристаллохимическом анализе [4]. По кристаллографии разработаны и изданы учебные пособия по решению задач и лабораторному практикуму [5,6].

Это позволяет в дальнейшем на хорошем уровне читать курс тензорной кристаллофизики, включая теорию структурных фазовых переходов II рода.

Рентгеноструктурный анализ в нашем «классе» развивается как в классическом направлении, так и в обучении студентов основам динамической теории рассеяния рентгеновский лучей в кристаллах. Кроме того, читается курс рентгеновской оптики.

Важнейшей составляющей кристаллографических компетенций наших выпускников является курс «Возникновение и рост кристаллов» с соответствующим лабораторным практикумом [7].

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Белов Н.В. О курсе геометрической кристаллографии для физиков. Кристаллография// 1957, т.2, вып.5, с.765
- 2 Белов Н.В. Проект вузовского курса федоровских групп. Кристаллография// 1958, т.3, вып.6, с.678
- 3 Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А. Основы кристаллографии. Учебное пособие для вузов. – М.: Изд. Физико-математической литературы, 2006. – 500 с.
- 4 Сомов Н.В., Чупрунов Е.В. Программа pseudosymmetry для исследования псевдосимметрии атомных структур кристаллов. // Кристаллография. 2014 Т59. №1. С. 151
- 5 Задачи по кристаллографии: Учебное пособие для вузов/Под ред. Е.В.Чупрунова, А.Ф.Хохлова. - М.: Изд. Физико-математической литературы, 2003. – 208 с.
- 6 Кристаллография. Лабораторный практикум. Учебное пособие для вузов/Под ред. Е.В.Чупрунова. - М.: Изд. Физико-математической литературы, 2005. – 412 с.
- 7 Портнов В.Н., Чупрунов Е.В. Возникновение и рост кристаллов. Учебное пособие для вузов. – М.: Изд. Физико-математической литературы, 2006. – 328 с.

Материалы
Устных докладов

ОСОБЕННОСТИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО КРИСТАЛЛОГРАФИИ В РАМКАХ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА И ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОХИМИИ» ДЛЯ СТУДЕНТОВ БАКАЛАВРИАТА ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ, КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАНОМАТЕРИАЛЫ»

Александров Е.В., Блатов В.А.

Кафедра общей и неорганической химии, Самарский государственный технический университет, Самара

На протяжении двух лет сотрудниками кафедры общей и неорганической химии (<https://samgtu.ru/onh>) преподается обновленная дисциплина «Теория строения вещества и основы кристаллохимии» в объеме 216 часов для студентов бакалавриата по направлению «Функциональные, конструкционные материалы и наноматериалы» берущей свое начало с 2009 г. специальности «04.03.02 Химия, физика и механика материалов» (срок обучения – 4 года). При преподавании используется материал из классических источников [1-5] и нового практического руководства по топологическому анализу строения кристаллов [6]. В основе каждого практического занятия лежат классические техники дедуктивного и индуктивного методов решения проблем материаловедения: объяснение разнообразия структур и форм кристаллов, поиск закономерностей структура-свойство, дизайн материалов. Мы используем разработанные сотрудниками кафедры и Международного научно-исследовательского центра по теоретическому материаловедению (МНИЦТМ) СамГТУ (<https://sctms.ru/>) новые методы и программы. Лекции и практические занятия включают уникальные подходы к анализу строения кристаллов, основанные на использовании теории графов. Специфика преподавания кристаллографии химикам состоит в необходимости использовать близкие им понятия и примеры молекулярных и периодических графов химических связей [7]. Элементы топологического анализа и графическая визуализация кристаллических структур автоматизированы в комплексе программ ToposPro [6,8]. Занятия проводятся в компьютерном классе. Активно используется информация из кристаллографических баз данных Cambridge Structural Database и Inorganic Compounds Structural Database, а также из специализированных топологических баз данных системы ToposPro. Поэтому студентам не требуются глубокие математические познания для понимания кристаллохимических моделей и освоения приемов извлечения кристаллохимической информации из кристаллоструктурных данных. Анализ таких сложных по строению материалов, как металл-органические координационные полимеры, легко осваивается студентами благодаря использованию строгой и наглядной авторской методики разбиения полимерных структур на строительные единицы и их упрощения в узлы и ребра базовой сетки. Содержание практических занятий основано на материале, наработанном с 2013 г. (год создания МНИЦТМ) при проведении занятий на шести международных школах (для материаловедов и химиков из более чем 50 стран) по топологическому анализу с помощью ToposPro. В докладе будет продемонстрирован фрагмент занятия с использованием ToposPro.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия: учеб. / Ю.К. Егоров-Тисменко. М.: КДУ, 2005. 587 с.
2. Чупрунов, Е. В. Основы кристаллографии: учеб. / Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фаддеев. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 500 с.
3. Ермолов, В. А. Кристаллография, минералогия и геология камнесамоцветного сырья: учеб.пособие / В. А. Ермолов, В. А. Дунаев, В. В. Мосейкин. 2-е изд., стер. М.: Моск.гос.горн.ун-та, 2007. 407 с. : ил. (Геология ; V) (Горн.образование). Библиогр.: с. 405.

4. Кристаллография: лабораторный практикум: Учеб. пособие / Под ред. Е.В. Чупрунова; ред. Е. В. Чупрунов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 412 с.
5. Задачник по кристаллографии. Под ред. Е.В. Чупрунова, Хохлова А.Ф. М.: Физ-мат. лит. 2003.
6. Программный комплекс для многоцелевого кристаллохимического анализа TOPOS. Версия 5.4.1.0. Практическое руководство 1.1.0. В.А. Блатов и Д.М. Прозерпио. Редакция: март 2021. <https://topospro.com/>
7. A.F.Wells. Three-Dimensional Nets and Polyhedra. New York: Interscience, 1979.
8. V.A. Blatov, E.V. Alexandrov, A.P. Shevchenko. In Comprehensive Coordination Chemistry III. Vol. 2. Eds E.C.Constable, G.Parkin, L.Que Jr. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier, 2021. P. 389.

КРИСТАЛЛОХИМИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ ПО ЗРЕНИЮ

Банару А.М.

Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

В весеннем семестре 2021/2022 учебного года автору выпала честь преподавать кристаллохимию студенту с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) по зрению, обучающемуся очно на химическом факультете МГУ по индивидуальному учебному плану. Этот учебный план подразумевал лекционные и семинарские занятия по кристаллохимии, традиционные для общего потока химического факультета, но адаптированные к особым потребностям обучающихся с ОВЗ по зрению.

Кристаллохимия выгодно отличается от других разделов химии, преподаваемых на химическом факультете как отдельные учебные дисциплины (неорганическая химия, аналитическая химия, органическая химия, физическая химия, коллоидная химия и др.) тем, что многие аспекты строения кристаллического вещества можно не визуальным образом продемонстрировать с помощью материальных моделей, большой коллекцией которых располагает коллектив преподавателей кристаллохимии нашего факультета. К таковым моделям относятся шаростержневые модели молекул, используемые при объяснении устройства точечных групп; модели простых форм кристаллов (изоэдров) и их комбинаций; модели плотных и плотнейших шаровых слоев, с помощью которых конструируются трехмерные шаровые упаковки разных типов; модели правильных систем точек (орбит) для открытых элементов симметрии (винтовых осей и плоскостей скользящего отражения); модели элементарных ячеек кристаллических структур простейших структурных типов; модели островных и протяженных структурных мотивов в кристаллических структурах с ковалентными связями, в частности, среди силикатов, и т.д. К сожалению, некоторые модели элементарных ячеек кристаллических структур сложных веществ содержат шарики, отвечающие атомам разного сорта и имеющие неодинаковый цвет, но одинаковый размер и текстуру поверхности. Обойти этот недостаток можно с помощью меток (например, липкой ленты), наносимых на поверхность шариков одного сорта и различимых на ощупь.

По сравнению с традиционным содержанием дисциплины кристаллохимия, о которой подробно рассказывается в сообщениях моих коллег, содержание адаптированного учебного предмета было скорректировано в сторону уменьшения элементов содержания, не позволяющих провести не визуальную учебную демонстрацию, и увеличения элементов содержания, наиболее оснащенных материальными моделями. Так, тема «Изоэдры», которой посвящена глава практически во всех отечественных учебниках по кристаллохимии и кристаллографии, вот уже примерно два десятилетия не обсуждается на общем потоке химического факультета, однако модельное оснащение нашей лаборатории позволило нам вернуть этот содержательный раздел в адаптированную учебную программу для студентов с ОВЗ по зрению. В то же время некоторые сложные теоремы о сочетании открытых элементов симметрии, а также построение графиков пространственных групп, которым в обычной программе отводятся два семинарских занятия, практически исключены для качественного изучения без визуализации ввиду громоздких построений. Там же, где построения проще, содержание целесообразно расширить за счет новых элементов. В частности, позиции Уайкова, наборы позиций Уайкова и нормализаторы групп симметрии нами были рассмотрены не у пространственных групп, а на примере точечных групп, при том, что в Международных таблицах по кристаллографии эти элементы содержания для точечных групп вынесены в раздел «Избранное» в конце тома А.

Начало семестра совпало с весенней вспышкой пандемии COVID-19, во время которой очные аудиторные занятия на химическом факультете МГУ, за исключением практикумов, были приостановлены. Дистанционный формат в работе со студентами с ОВЗ по зрению не исключен, однако нужно понимать, что существующие в настоящее время

платформы дистанционного обучения едва ли позволяют чем-либо заменить визуальную демонстрацию. Поэтому использование платформы дистанционного обучения в данном случае может быть заменено на телефонный разговор или общение с помощью мессенджера (Skype, WhatsApp и др.). Обмен информацией организационного характера можно производить с помощью голосовых сообщений в тех же мессенджерах, а для самостоятельного освоения учебного материала во внеаудиторное время студентов необходимо снабдить файлам pdf с текстом, распознаваемым программой, которая озвучивает текст.

Автор признателен с.н.с., к.х.н. Л.А. Засурской (химический факультет МГУ) за совместную работу над составлением адаптированной учебной программы.

ПРЕПОДАВАНИЕ КУРСА «ТЕОРИЯ СИММЕТРИИ КРИСТАЛЛОВ» НА КАФЕДРЕ КРИСТАЛЛОГРАФИИ МГУ: ТРАДИЦИИ И СОВРЕМЕННОСТЬ

Белоконева Е.Л.

Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, Геологический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Преподавание пространственных групп было начато Ю.Г. Загальской в старом здании университета на Моховой и получило свое развитие с приходом в МГУ академика Н.В. Белова. Содружество Ю.Г. Загальской и Г.П. Литвинской известно многим поколениям наших выпускников, преподавание велось творчески, постоянно дополнялось новыми задачами и оформлялось в учебных пособиях. Был составлен и издан Атлас кубических пространственных групп [1] в котором впервые были даны графики групп и выведены приемы их построения. В работе активно участвовал Ю.К. Егоров-Тисменко, который вскоре стал ведущим преподавателем курса. Издание, будучи пионерским, не нашло отражения в Интертаблицах, позднее повторный вывод был выполнен в рамках Союза кристаллографов. На кафедре преподавание исторически было построено от простого к сложному: одномерные группы, двумерные односторонние, знакомство с плоскими группами Шубникова, узорами Эшера и затем непосредственно пространственные группы. Изложение велось через идею взаимосвязи сингоний и переходов из одной в другую. Данный подход строго и последовательно изложен в основном учебнике по курсу [2], которому нет аналога, он не содержит упрощений и позволяет изложить материал во всей полноте. Одним из основных положений курса является решение задач на взаимодействие элементов симметрии с построением групп, а также на восстановление группы по проекциям точек. Курс сформирован как единое целое теоретической части с выводами и практической: работе с моделями. Умение найти, «увидеть» элементы симметрии и затем вывести группу путем взаимодействий элементов симметрии является по-прежнему ключевым моментом для развития пространственного воображения, решения структур, кристаллохимического анализа и вывода свойств кристаллов. Важным разделом является двуцветная симметрия – Шубниковские группы, а также многоцветная симметрия Белова. Можно заключить, что классические основы преподавания, заложенные нашими основателями, выдерживаются и актуальны до сих пор как фундаментальная основа кристаллографии и кристаллохимии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас пространственных групп кубической системы. Белов Н.В., Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К. Изд. «Наука». М. 1980. 68с.
2. Теория симметрии кристаллов. Ю.К. Егоров-Тисменко, Г.П. Литвинская, Изд. «ГЕОС», М. 2000. 394 с.

ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КРИСТАЛЛОХИМИИ НА ХИМИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МГУ

Богдан Т.В., Миняйлов В.В., Гринева О.В.
Химический факультет,
МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва

Односеместровый курс «Кристаллохимия» является обязательным для всех студентов химического факультета МГУ, однако его содержание несколько отличается для разных специализаций и, кроме того, отличается форма итоговой аттестации – экзамен у студентов большинства специализаций и зачет у одной группы. Последнее обстоятельство оказывает существенное влияние на эффективность описанных ниже средств дистанционного контроля.

Задачи курса состоят в знакомстве с основами строения кристаллических веществ разного химического состава и получении навыков использования структурной информации, доступной в научной литературе и кристаллографических базах данных. Его основные разделы: «Симметрия» (точечная и пространственная), «Дифракционные методы исследования структуры кристаллов» (РФА и РСА), «Описательная кристаллохимия» (базовые структуры неорганических веществ, принципы строения кристаллов органических соединений). Учитывая большое разнообразие тем, для успешного освоения курса в целом студентам необходимо заниматься систематически. Опыт показывает, что пропуски занятий и/или непонимание темы (особенно в начале семестра) приводят к тому, что студенты теряют интерес к предмету, и, наоборот, регулярные занятия позволяют им оценить значимость курса в общехимическом образовании.

Помимо мотивации студентов к систематическим занятиям регулярный контроль знаний важен для более объективной итоговой оценки их знаний преподавателями. В традиционных условиях преподавания такой контроль осуществляли с помощью домашних заданий, тестов и контрольных работ на семинарах. Вынужденное проведение занятий во время пандемии в дистанционном формате поставило задачу совершенствования методов контроля знаний студентов. На химфаке МГУ задолго до пандемии началось развитие дистанционного обучения на платформе *Moodle*. Она позволяет организовать доступ к обучающим материалам (записям занятий, презентациям); проводить опросы с широкими возможностями по их настройке (выбор типов вопросов, задание промежутков времени для их выполнения и т. п.); вести учет оценок за выполненные работы. В 2020/2021 уч. г. была создана рейтинговая система оценки по курсу «Кристаллохимия», при этом ее реализация была различной для общего потока (150 чел.) и специализированных групп (до 26 чел.). В рейтинг с разными коэффициентами входили оценки за короткие тесты и более продолжительные контрольные работы на занятиях, а также выполнение домашних заданий, которые тоже были как в виде тестов, так и вопросов, требующих от студентов развернутых ответов с графиками и рисунками.

В процессе поиска наиболее адекватных способов оценки знаний студентов были использованы разные варианты настройки тестов (вопросы, требовавшие прикрепления ответов, преподаватели оценивали обычным образом). Например, у студентов была одна или несколько попыток для ответов, в последнем случае оценка могла быть наивысшей или последней по времени; количество правильных ответов и сами правильные ответы студенты могли увидеть, как сразу после выполнения теста, так и после его полного «закрытия» (т. е. окончания отведенного на тест времени не у конкретного студента, а того промежутка, в течение которого все студенты могли отвечать). К сожалению, настройки, способствующие освоению материала вдумчивыми студентами, облегчали получение более высоких оценок теми, кого интересовал только формальный результат. Поэтому при включении оценок за тесты в общий рейтинг целесообразно использовать более жесткие условия (одна попытка без показа правильных ответов), а для не учитываемой в рейтинге самостоятельной работы

условия могут быть мягче, в частности, ограничение времени на выполнение теста конкретным студентом может отсутствовать. По отзывам студентов тренировочные дистанционные тесты были значимы для акцентирования внимания на ключевых вопросах курса, способствовали закреплению материала и существенно облегчили подготовку к контрольным работам.

При проведении контрольных работ в дистанционном формате сложнее контролировать самостоятельность их выполнения, поэтому на общем потоке было важно, чтобы рейтинговые контрольные работы проходили для всех одновременно. Альтернативой являлось создание отдельных групп заданий, используемых в разные дни, но это потребовало бы увеличения их количества, которое и так было большим для уменьшения влияния обмена ответами между студентами на оценку их знаний. Также для уменьшения значимости обмена ответами порядок заданий в работах был случайным с достаточно большим количеством как отдельных заданий, так и вариантов вопросов для каждого задания.

Рейтинговая система, включающая разработанные специально для дистанционного формата контрольные работы и тестовые задания, позволила минимизировать общение со студентами во время экзаменационных сессий, которые в 2020/2021 уч. г. были дистанционными, и при этом, на наш взгляд, сохранить и даже улучшить качество усвоения материала большинством студентом. К сожалению, для группы с недифференцированным зачетом тесты и рейтинг в целом не увеличили вовлеченность в учебный процесс студентов с низкой мотивацией к учебе, и долю устного общения сократить при выставлении зачета не удалось.

Мы полагаем, что созданный банк тестовых заданий будет востребован и при полностью очном формате обучения, поскольку он, с одной стороны, расширяет возможности для обучения и самоконтроля студентов, а с другой – является удобным инструментом для быстрого и регулярного контроля знаний студентов преподавателями.

ТОЧЕЧНАЯ СИММЕТРИЯ В КУРСЕ КРИСТАЛЛОХИМИИ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПЕРЕХОДА К ОПИСАНИЮ СИММЕТРИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Богдан Т.В., Абрамович А.И., Засурская Л.А.

Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

В курсе «Кристаллохимия», много лет преподаваемом на химическом факультете МГУ и ряде смежных факультетов (ФНМ, ФФФХИ), Бакинском филиале МГУ традиционно выделяются 4 базовых блока: точечные группы симметрии, пространственные группы симметрии, основы дифракционных методов исследования структуры кристаллов (РСА, РФА) и описательная кристаллохимия (основные структурные типы неорганических веществ и принципы строения кристаллов органических соединений). В современном учебнике по кристаллохимии сохраняется тот же подход [1]. Большой объем изучаемого материала и разноплановость содержания блоков ставят для преподавателей непростую методическую задачу последовательного изложения материала, а от студентов требуется систематическая работа в течение всего семестра, в течение которого изучается курс. При этом на химфаке и ФФФХИ на курс отводится 72 аудиторных часа - 1 лекция и 1 семинар в неделю, а Бакинском филиале МГУ – еще меньше (54).

При ограниченном времени, отводимом на изучение кристаллохимии, включение раздела «Точечная симметрия» часто вызывает недоумение, поскольку с этой темой ассоциируется прежде всего навык определения точечной группы симметрии молекул и курсы, посвященные строению молекул и молекулярной спектроскопии. Раздел «Симметрия» содержится во всех курсах кристаллохимии и кристаллографии, но тема «Точечная симметрия» обычно исключена из рассмотрения. По нашему мнению, успешное освоение кристаллохимии требует начинать изучение предмета именно с точечной симметрии, поскольку на этой теме закладываются основы симметрии как языка для описания структуры кристаллов. Систематическое изложение материала обеспечивается переходом от точечной симметрии к пространственной, и далее, на основании знаний о пространственной симметрии, - к описанию структуры кристаллических веществ и пониманию информации, получаемой в структурных методах.

Изучение точечной симметрии в нашем курсе начинается с выявления элементов симметрии молекул и полиэдров. Проблемы этого процесса связаны прежде всего с тем, что большинство студентов встречается впервые с понятием симметрии, у них отсутствует опыт определения элементов симметрии объектов, недостаточно развито пространственное воображение. Вследствие этого работа на семинарах проходит с использованием шаростержневых 3D-моделей молекул и объемных полиэдров, на которых легко увидеть действие операций симметрии; обнаружить симметрически эквивалентные атомы в молекулах или вершины и грани в полиэдрах, связанные отдельными элементами симметрии. После обнаружения элементов симметрии на объемных объектах переходим к изображению проекций объектов, графическому изображению элементов симметрии и иллюстрации их действия, построению графиков точечных групп и обозначению точечных групп в символиках Германа – Могена и Шёнфлиса (последняя изучается менее подробно). Для успешного освоения темы мы используем *геометрический подход*, который позволяет наглядно продемонстрировать действие элементов симметрии на точечных объектах. Суть его в том, что каждому элементу симметрии ставится в соответствие набор симметрически связанных точек, порождаемых этим элементом и изображаемых в виде проекции на плоскость.

На примере точечных групп вводится представление о системах эквивалентных позиций (орбитах) и их кратностях, которые в случае конечных объектов имеют наглядное представление: вершины и грани полиэдра, позиции атомов в молекуле, а не просто «точки». При рассмотрении точечной симметрии полиэдров особое внимание уделяется элементам

симметрии куба, поскольку этим закладываются основы нахождения элементов симметрии в кристаллических структурах и пространственных группах высшей категории. Кроме того, подробно рассматривается симметрия октаэдра и тетраэдра, поскольку в кристаллических структурах часто встречаются данные координационные полиэдры.

В результате освоения раздела «Точечная симметрия» студенты знакомятся с категориями симметрии (низшая, средняя и высшая), с графическим изображением элементов симметрии, осваивают принципы построения символа точечной группы в используемой в кристаллографии символике Германа-Могена; умеют определять точечные группы симметрии конечных объектов (молекул и полиэдров) и строить их графики; умеют «читать» информацию, заложенную в символе точечной группы о хиральности, полярности, центросимметричности молекул. Умение определять точечную симметрию объектов способствует тому, что при переходе к последующим разделам курса у студентов не возникает проблем с определением симметрии узла решетки (голоэдрической группы) при изучении кристаллических решеток или симметрии позиции атомов в кристаллической структуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.Л. Словохотов, Основы кристаллохимии – М.: «КДУ», 2020. – 606 с.

ПЕЧАТЬ И СБОРКА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР В РАМКАХ БАЗОВЫХ КУРСОВ ПО КРИСТАЛЛОХИМИИ

Гаевюшкин П.Н.^{1,2}, Сагатов Н.^{1,2}, Сагатова Д.^{1,2}, Доских К.^{1,2}, Банаев М.^{1,2}

¹ Новосибирский государственный университет, Новосибирск

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск

Несмотря на повсеместную распространённость и финансовую доступность, 3D принтеры практически не используются в рамках современных кристаллохимических курсов, за исключением, разве что, печати моделей кристаллических многогранников.

Предпринимавшиеся попытки печати кристаллических структур *как есть*, т.е. и атомов, и связей оказались неудачными. Основными недостатками таких моделей является одноцветность и чрезмерная толщина цилиндров-связей, сравнимая с диаметра шара. Это делает модель непригодной для использования в базовых курсах. Исключение составляют лишь специфичные модели структур, отражающие, например, форму пустот в цеолитах или распределение электронной плотности.

Основная сложность, которую необходимо преодолеть на пути сборки классической шариково-стержневой модели, состоит в разработке простого и достаточно быстрого способа изготовления шариков с ориентированными отверстиями. В классическом варианте, который в некоторых мастерских используется до сих пор, такие отверстия последовательно высверливаются на токарном станке. Необходимость постоянно менять ориентировку заготовки (или сверла) и задавать нужные углы, делает эту технологию крайне трудоёмкой, а её реализацию – невозможной без специального оборудования и квалифицированного специалиста. Не менее трудоёмким оказывается и этап покраски шаров, следующий за этапом сверления.

Использование 3D принтеров, очевидно, может оптимизировать эту технологию, исключив этапы сверления и покраски. Единственно, что необходимо для реализации 3D печати – это 3D модели шаров с соответствующими отверстиями. Такие модели могут быть построены в специальных программах по 3D моделированию или же экспортированы из программ визуализации структур, таких как VESTA или CrystalMaker. Напечатанные нами образцы свидетельствуют, что углы между отверстиями идеально воспроизводятся на модели и весь процесс подготовки модели шара занимает всего несколько минут. Напечатанные нами таким способом шары из материалов PLA и PETG отличаются высокой прочностью и упругостью. По долговечности они, вероятно, превосходят классические деревянные шары, трескающиеся при неаккуратном использовании.

В качестве соединительных стержней мы использовали латунные трубки диаметром 2 мм. Нарезка трубок может быть реализована в условиях офиса или аудитории с помощью ножниц по металлу. В результате отреза трубки немного сплющиваются и впоследствии прочно закрепляются в отверстиях, что позволяет собирать модель без использования клея. Весь процесс сборки несложной модели при наличии опыта составляет порядка полутора часов, без учёта времени работы 3D принтера. Это открывает возможность сборки кристаллических структур в рамках семинарских занятий или же отдельных практикумов / курсовых работ.

В 2021м году нами был проведён подобный практикум с обучающимися в магистратуре ГГФ НГУ. Практикум состоял из четырёх этапов: 1) поиск структуры в базе данных, 2) визуализация структуры, построение системы связей, создание будущей модели, 3) экспорт полученной модели в программу визуализации, 4) 3D печать шаров, 5) нарезка латунных трубок, 6) сборка структуры. Время практикума составило порядка четырёх академических аудиторных часов и двух-четырёх академических часов домашней работы. В практикуме участвовало трое студентов, все успешно справились с поставленной задачей.

Основной трудностью связанной с расширением аудитории практикума и постановкой его на поток, является сравнительно долгое время печати шариков, Эта проблема решается закупкой дополнительных 3D принтеров либо же их предварительным изготовлением наборов шаров. В силу небольшой стоимости печати, шары могут быть закуплены в сторонних организациях в необходимых количествах. В настоящее время мы оптимизируем технологию печати с целью её максимального упрощения. Для уменьшения нагрузки на преподавателя производится запись обучающих видео-материалов. В перспективе, представляется возможным перенос практикума в формат домашней работы.

Также нами были изготовлены наборы из тетраэдров и октаэдров, с помощью которых в рамках семинарских занятий студенты конструируют модели структур силикатов. Соединение координационных полиэдров в этом случае достигается за счёт использования магнитной краски и магнитных листов. В другом варианте – изготавливаются отдельные блоки из склеенных на орг. стекле тетраэдров и октаэдров, что позволяет существенно ускорить процесс сборки.

Проект реализуется победителем грантового конкурса для преподавателей магистратуры 2021/2022 Стипендиальной программы Владимира Потанина

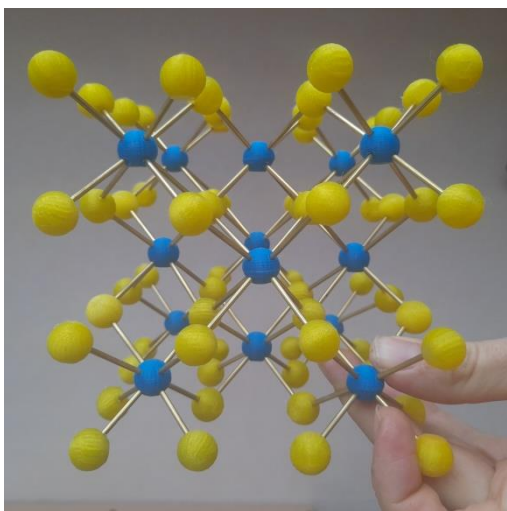


Рисунок. Модель структуры флюорита, изготовленная в рамках студенческого практикума (слева) и сборка структурного конструктора на семинарском занятии (справа).

ПРЕПОДАВАНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН В ЭПОХУ ПАНДЕМИИ: ОСОБЕННОСТИ, ТРУДНОСТИ И ПРЕОБРЕТЕННЫЙ ОПЫТ

Еремин Н.Н., Марченко Е.И., Еремина Т.А.

Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, Геологический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

В докладе систематизирован опыт преподавания кристаллографических дисциплин в период коронавирусной пандемии 2020-2022 годов. Условия самоизоляции потребовали от всех вузов с весеннего семестра 2020 года переход на онлайн преподавание. Для учебных курсов, где лекционный материал подкреплялся большим количеством демонстрационных и учебных моделей, где большую роль играли практические и семинарские занятия, требующие непосредственного контакта обучающегося с преподавателем, такой переход оказался весьма болезненным и потребовал от их разработчиков приложения дополнительных методических и организационных усилий с целью сохранения качества и эффективности курсов.

Основное внимание в докладе будет уделено следующим курсам:

- кристаллография, краткий курс (геологический поток МГУ – 18 часов лекций и 36 часов семинаров), полный курс (геохимический поток МГУ – 36 часов лекций и 60 часов семинаров), адаптированный курс (филиал МГУ в Душанбе – 14 часов лекций и 14 часов семинаров);
- кристаллохимия, полный курс (геохимический поток МГУ – 42 часа лекций и 18 часов семинарских занятий), адаптированный курс (филиал МГУ в Душанбе – 32 часа лекций и 16 часов семинарских занятий);
- отдельные главы структурной химии (филиал МГУ в Душанбе – 30 часа лекций и 46 часов семинарских занятий);
- структурная химия и кристаллохимия (совместный университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне – 54 часа лекций и 54 часа семинарских занятий);
- межфакультетские курсы: симметрия кристаллического макромира и симметрия кристаллического микромира с применением алгоритмов машинного обучения (каждый – 28 часов лекционно-практических занятий).

В программах всех этих курсов помимо аудиторной нагрузки предусмотрено большое число часов самостоятельной работы студентов для выполнения домашних работ, учебных задач и подготовки к контрольным работам и итоговым проверкам знаний.

Каким же образом решалась проблема адаптации этих изящных, сложных и требующих контактной работы студентов с моделями кристаллических структур и многогранников к специфическим условиям изоляции?

1) Модернизация лекционных занятий. Для чтения лекций в онлайн формате на платформах ZOOM и VooV на кафедре кристаллографии лекций были оперативно созданы и технически оборудованы две аудитории–студии, оборудованные помимо стандартных маркерно-меловых досок видеокамерами высокого разрешения, позволяющие демонстрировать учебные пособия крупным планом с высоким разрешением. В студиях также устанавливались широкополосные микрофоны, позволяющие лектору свободно перемещаться по аудитории, не теряя акустический контакт со студентами. Также для чтения лекций использовались возможности специальных студий лектория Teach-In [1] Обязательным правилом стало выкладывание видеозаписей прочитанных лекций на официальные страницы курсов либо на сервер кафедры кристаллографии [2], либо на страницы дистанционного сопровождения курсов в МГУ-ППИ [3]. Это сильно помогло студентам, пропустившим эфир по различным причинам, в том числе по болезни, ознакомиться с прочитанным материалом.

2) Адаптация семинарских и практических занятий. Семинарские и практические занятия также проводились в оборудованных студиях на кафедре кристаллографии с качественной демонстрацией наглядных пособий. При этом в обязательном порядке существовал элемент обратной связи – студенты в режиме реального времени задавали вопросы и получали на них исчерпывающие ответы. Многие семинарские занятия потребовали от преподавателей использования графических планшетов. Как правило, видеозаписи всех семинарских занятий также выкладывались в общий доступ на страницы курсов.

3) Домашние занятия и консультации. Для повышения эффективности самостоятельной подготовки студентов максимальное количество справочного материала выкладывалось в общий доступ. Для оперативных ответов на вопросы студентов во внеучебное время стало нормой для каждого курса создания отдельного чата студентов и преподавателей в социальных сетях (ВКонтакте и WeChat). Индивидуальные домашние задания присылались студентами в оговоренное время на электронную почту преподавателей и проверялись с использованием графических планшетов. В обязательном порядке для каждого курса использовался текущий рейтинг успеваемости.

4) Контрольные работы и зачеты (экзамены). Промежуточные и итоговые аттестации студентов осуществлялись двумя способами. Один из них – интерактивное тестирование, включая тренировочную и контрольную часть с верификацией испытуемых и обратной связью с преподавателем. Второй – устный ответ в онлайн формате на платформах ZOOM и Voov.

Какой же положительный опыт привнесли в преподавание кристаллографических три года пандемии? Безусловно, стоит отметить возросшую дисциплину подачи учебного материала заинтересованными и мотивированными преподавателями (обязательное выкладывание лекций и других материалов на страницы курсов, пересмотр программ и жесткое структурирование тем курсов и лекций). Благодаря вынужденному переходу на новую форму многие лекторы и семинаристы подтянули свои знания в области цифровых технологий.

Из недостатков такой формы обучения отметим неизбежное снижение качества образования. Минимизация уровня этого снижения определяется в первую очередь ответственностью преподавателя, а во вторую очередь – мотивированностью студента и его желанием учиться несмотря на определенные неудобства. Второй большой минус – возросшая нагрузка на преподавателей. При сохранении тех же цифровых показателей аудиторной нагрузки дистанционный формат занимает у преподавателя существенно больше времени и требует больше сил.

Подведем итоги. Во-первых, отметим, что, когда в конце 2020 года на геологическом факультете был проведен опрос, что бы предпочли студенты – онлайн обучение, или классическую университетскую форму лекций, подавляющее большинство высказалось за классическую форму, как более эффективную [4]. Дистанционное образование нельзя считать полноценной заменой традиционному очному обучению; вынужденное отсутствие традиционных аудиторных занятий вызвало у преподавателей гораздо больший дискомфорт, чем у студентов. В будущем повторения эксперимента с дистанционным обучением не хочет никто. Тем не менее, как отмечено в [5], онлайн преподавание, видимо, полностью уже не уйдет из нашей обычной практики и будет, несомненно, развиваться. И здесь главной задачей становится соблюдение разумного и наиболее эффективного баланса между двумя формами подачи материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://teach-in.ru/>
2. <http://cryst.geol.msu.ru/courses/>
3. <https://cn.distant.msu.ru/>
4. http://cryst.geol.msu.ru/presentations_geol_msu/2020_report.pdf

5. <https://onznews.wdcb.ru/may20/akademik-ran-pushcharovskij-onlajn-lektsii-lisheny-iskusstva.html>

ПРЕПОДАВАНИЕ КРИСТАЛЛОХИМИИ НА ХИМИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ МГУ. ИСТОРИЯ И ТРАДИЦИИ.

Засурская Л.А.

Химический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Преподавание кристаллохимии на химическом факультете МГУ началось в 1946 г., когда на кафедре неорганической химии была введена специализация «кристаллохимия». Преподавание и руководство дипломными работами осуществлял проф. Г.Б. Бокий. По его инициативе на химическом факультете МГУ в 1952 г. была создана межкафедральная лаборатория кристаллохимии, которая в 1956 г. была переведена на кафедру физической химии. Первым заведующим лабораторией был М.А. Порай-Кошиц, бывший аспирант Г.Б. Бокия, который с 1948 г. читал студентам лекции по рентгеноструктурному анализу (РСА). Перед лабораторией были поставлены следующие задачи: 1) подготовка специалистов-кристаллохимиков и 2) проведение рентгеноструктурных исследований комплексов, что соответствовало духу времени.

Кристаллохимия, как наука, вышедшая из кристаллографии, получила бурное развитие благодаря рождению и развитию РСА, которым активно занимались Г.Б. Бокий и М.А. Порай-Кошиц. В 1951 г. ими совместно был написан первый том учебника «Практический курс рентгеноструктурного анализа» [1], а в 1954 г. вышел учебник Г.Б. Бокия «Введение в кристаллохимию» [2].

Лекции по общему курсу кристаллохимии читали выдающиеся учёные: Г.Б. Бокий (до 1954 г.), Ю.Т. Стручков (в 1955 г.), Г.М. Попов (1956-1962) и М.А. Порай-Кошиц (1963-1977). В период с 1964 г. по 1966 г. под руководством М.А. Порай-Кошица была проведена значительная перестройка курса лекций и семинаров по кристаллохимии с целью приближения к учебному плану химфака, к современной теории химического строения. В работе активное участие принимали сотрудники лаборатории, а также её бывшие выпускники. Так, Ю.Г. Загальская много лет вела семинары по кристаллохимии и занятия по пространственным группам. С 1964 г. студенты и аспиранты лаборатории начали изучать программирование на ЭВМ.

После выступления Н.С. Хрущёва о важности химии в 1958 г. был увеличен приём на химфак. Так, в январе 1965 г. экзамен сдавали около 350 студентов II курса и порядка 120 студентов VI курса вечернего отделения. На протяжении многих лет семинары в каждой группе вели два преподавателя. Помимо аудиторных, проводились практические занятия с моделями полиэдров и кристаллических структур.

В 1974 г. заведующим лабораторией становится проф. П.М. Зоркий. Много лет он читал лекции и спецкурсы для студентов вечернего отделения (с 1965 г.), а также лекции по общему курсу кристаллохимии (1978-2005), существенно изменив их содержание. Так, увлечение идеями А.И. Китайгородского привело его к большему вниманию в курсе к органической кристаллохимии. Появился и спецкурс по органической кристаллохимии для дипломников лаборатории. Им были написаны учебник и задачник по кристаллохимии [3, 4], которые используются и по сей день. Занятия по пространственным группам со временем стала вести ассистент Л.М. Борисанова, занятия по РСА вела доцент Т.Н. Полынова.

В связи с изменением учебных планов, кристаллохимия в разные годы читалась студентам на разных курсах (со II по IV, сейчас на III). По отдельным программам велись занятия в спецгруппах. Был и такой опыт, когда вместо экзамена в 1986 г. сделали зачёт, что сразу сказалось на понижении уровня знаний, и экзамен вернули. В начале 90-х и по 2005 г. семинары по кристаллохимии отменили. Контрольные работы и тесты писали на лекциях, а за их отличное выполнение студенты получали экзамен-автомат. Семинары отчасти заменяли консультации, которые проводились каждую неделю. Следует отметить, что проф. Зоркий был одним из первых, кто выложил на сайт факультета материалы по кристаллохимии в электронном виде.

После ухода П.М. Зоркого из жизни в 2005 г. была проведена модернизация общего курса кристаллохимии под руководством нового заведующего лабораторией Ю.Л. Словохотова, который читал лекции с 2006 г. по 2017 г. и написал новый современный учебник по кристаллохимии [5]. Уже в 2006 г. были восстановлены семинары. В связи с переходом проф. Словохотова на другую работу, лекции для общего потока читала доцент Т.В. Богдан (2018-2020). Из-за эпидемии коронавируса в 2020 г. всё обучение было переведено в дистанционный формат. Позже в 2021 г. занятия по кристаллохимии проводились в смешанном режиме: проф. К.А. Лысенко, новый заведующий лабораторией, читал лекции дистанционно, а семинары проводили очно.

Следует отметить, что, несмотря на появление новых программ визуализации, для учебных занятий и самостоятельной работы по-прежнему используется большой парк наглядных моделей полиэдров и кристаллических структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокий Г. Б., Порай-Кошиц М. А. Практический курс рентгеноструктурного анализа. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1951.
2. Бокий Г. Б. Введение в кристаллохимию. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1954.
3. Зоркий П. М. Симметрия молекул и кристаллических структур. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986
4. Зоркий П. М. Задачник по кристаллохимии и кристаллографии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980.
5. Словохотов Ю.Л. Основы кристаллохимии. М.: Изд-во Книжный дом. Университет, 2021.

ОБРАЗОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ КАК УЧЕБНЫЙ КУРС ДЛЯ БАКАЛАВРОВ-ФИЗИКОВ

Ким Е.Л., Чупрунов Е.В.

Кафедра кристаллографии и экспериментальной физики, ННГУ им. Н.И. Лобачевского

Кристаллографическое направление в Нижегородском университете началось с приезда группы Шубникова А.В. из Института кристаллографии Академии наук СССР в 1946г. тогда же была образована кафедра кристаллографии [1].

Направление роста кристаллов возглавил Алексей Всеволодович Белюстин, а позже его ученик – Вадим Николаевич Портнов.

В настоящее время обучение студентов по специализации «Кристаллофизика» в рамках направления «Физика» (бакалавры) ведется на кафедре кристаллографии и экспериментальной физики. За время существования кристаллографического направления на физическом факультете были сформированы учебно-методические комплексы, включающие в себя программы учебных дисциплин, методические материалы, лаборатории, обеспечен доступ к литературным источникам, изданы учебные пособия по росту кристаллов [2].

Среди остальных на кафедре преподается дисциплина «Образование кристаллов» в объеме 324 академических часа [3]. Курс включает в себя небольшой объем лекций, семинарские занятия и лабораторный практикум (90 часов).

На лабораторных занятиях студенты учатся выращивать кристаллы в каплях раствора и расплава. Осваивают методы выращивания монокристаллов из растворов (на примере водорастворимых веществ), гелей, ориентированную кристаллизацию. Кроме того, они учатся определять качество кристаллов методом избирательного травления, исследуют секториальное и зонарное строение кристаллов.

Полученные знания выпускники применяют в своей работе, особенно в тех случаях, когда достаточно узкая специализация требуется на производстве, в том числе в институтах Академии наук РФ.

За время существования кафедры кристаллографии каждый год выпускалось по несколько человек – специалистов в области роста кристаллов. Они работали по всей стране – ВНИИСИМС (г. Александров), завод «Кристалл» (г. Южно-Уральск), ИПФ РАН (г. Нижний Новгород), «Корунд» (г. Дзержинск) и др.

Направление роста кристаллов также востребовано в среднем образовании, когда школьники проявляют интерес к кристаллам, знакомятся с методами выращивания кристаллов, делают первые шаги в исследовательской деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физический факультет Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. К 50-летию / Под ред. В.Н. Чувильдева – Н.Новгород: Изд-во ННГУ, 2009.
2. Портнов В.Н., Чупрунов Е.В. Возникновение и рост кристаллов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во Физматлит, 2006, 328 с.
3. <http://www.unn.ru/sveden/education/edu-op.php>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОЛЛЕКЦИИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МАКРОКРИСТАЛЛОГРАФИИ

Марченко Е.И., Еремина Т.А.

Геологический факультет, кафедра кристаллографии и кристаллохимии,
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

Технологии печати с помощью 3D принтера активно используются сотрудниками кафедры кристаллографии и кристаллохимии Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова для пополнения демонстрационной коллекции учебных моделей кафедры и демонстрационной коллекции Геологического факультета филиала МГУ в г. Душанбе. Особое внимание уделяется печати комбинационных многогранников. Так, кафедра располагает моделями икосаэдрических простых форм, коллекцией моделей двойников кристаллов, комбинационными многогранниками, являющимися моделями реальной природной огранки кристаллов, моделями сортов решёток Делоне.

Создание таких моделей реализуется в несколько этапов: 1) 3D визуализация моделей с помощью различных компьютерных программ, 2) подготовка моделей к печати, перевод файлов в необходимые форматы, выбор типа пластика, скорости печати и т.д., 3) печать модели с помощью 3D принтера.

К созданию моделей комбинационных многогранников с помощью 3D принтера активно привлекаются студенты младших курсов кафедры кристаллографии в рамках освоения ими базовых кристаллографических дисциплин. Учебные модели кафедры кристаллографии используются в рамках учебных курсов «Кристаллография», «Структурный дизайн новых материалов», «Отдельные главы структурной химии» для филиала МГУ в г. Душанбе, «Структурная химия и кристаллохимия» для совместного университета МГУ-ППИ в Шэньчжэне, а также для создания моделей для ежегодных олимпиадных задач секции «Кристаллография» на «Московской открытой олимпиаде школьников по геологии».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 3D ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ПРЕПОДАВАНИИ КРИСТАЛЛОХИМИИ

Миняйлов В.В., Миняйлова С.В., Богдан Т.В.

Химический факультет,
МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Кристаллохимия изучает пространственное расположение атомов в кристаллах, а также взаимосвязь строения кристаллических веществ и их физико-химических свойств. Знания о закономерностях строения веществ в кристаллическом состоянии и принципах пространственной организации кристаллических веществ разных классов (неорганических и органических) призваны помочь студентам – будущим ученым – использовать данные структурного анализа в планировании химических исследований.

Курс кристаллохимии, изучаемый на химическом факультете МГУ и ряде смежных факультетов (ФНМ, ФФФХИ), по отзывам студентов, является сложным и объемным по ряду причин: 1) отсутствие опыта определения элементов симметрии объектов; 2) недостаточно развитое пространственное воображение; 3) сжатые сроки (предмет изучается только 1 семестр, 2 пары в неделю); 4) большой объем курса: точечная и пространственная симметрия, дифракционные методы, описание кристаллических структур неорганических и органических соединений; 5) формирование практических навыков (анализ симметрии точечных и кристаллических объектов, работа с базами данных и программами визуализации кристаллических структур) за короткое время. Для облегчения восприятия материала в курсе традиционно применяются трехмерные модели молекул, полиэдров и кристаллических структур, на которых можно наглядно увидеть действие элементов симметрии, координационное окружение атомов. Компьютерные технологии дают больше возможностей для визуализации кристаллических структур, но специализированные кристаллографические программы предназначены для научных целей и их освоение создает дополнительную когнитивную нагрузку для студентов. Мы же хотели сделать простой инструмент, облегчающий изучение материалов курса в рамках самостоятельной работы, в том числе, в условиях дистанционного обучения.

Задача облегчения изучения кристаллохимии за счет использования компьютерных технологий остается актуальной, поэтому пробное использование новейших технологий для решения этой задачи является целесообразным. В целях облегчения восприятия материала и помощи в самостоятельной работе студентов мы создали продукт, предназначенный именно для образовательных целей - набор электронных учебных материалов, каждый из которых состоит из 3D модели и интерактивности. В качестве учебного сценария была выбрана самостоятельная работа учащихся с моделями шаровых упаковок. На семинаре студенты знакомились с темой, а затем у них было неограниченное время для самостоятельного изучения моделей шаровых упаковок.

Технологии интерактивной графики для публикации трехмерных моделей в Интернете уже успешно использовались в химическом образовании, в частности, на химическом факультете. Это были технологии Cult3D и Viewpoint, которые прослужил задачам образования более 15 лет, сегодня они уже не доступны. Но появились новые технологии с большим набором интерактивных возможностей, включая возможности дополненной реальности (AR – augmented reality) и виртуальной реальности (VR – virtual reality).

Возможность размещения в Интернете готового продукта – главный критерий отбора технологии или сервиса, так как это обеспечивает широкий доступ учащихся к материалам и практически полную совместимость со всеми устройствами – от телефонов, до настольных компьютеров. Самыми оптимальными оказались сервисы Sketchfab и P3d. Они обладают нужным набором свойств, бесплатны для клиентов и, что важно, очень легки в освоении. Для создания/моделирования объектов использовался программный пакет Autodesk 3ds Max

2022. Данные 3D модели¹ можно использовать в качестве интерактивных пособий на очных или онлайн семинарах, а также при самостоятельном изучении предмета или выполнении домашних заданий. По отзывам студентов, модели оказались очень удобны для использования.

Работа ведется совместно с межфакультетским центром «Математическое и программное обеспечение технологий виртуальной и смешанной реальности», который функционирует в рамках деятельности научно-образовательной школы «Математические методы анализа сложных систем».

¹ Модели кристаллических структур: <https://p3d.in/u/crystal3d/gLpWD>.
Модели шаровых упаковок: <https://p3d.in/u/crystal3d/wbbqX>

**ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ КУРСА «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ» БАКАЛАВРАМ
НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ
«ТЕХНОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ»**

Носков Ф.М.

Политехнический институт Сибирского федерального университета,
кафедра Материаловедения и технологий обработки материалов

Первый набор студентов на специальность «Технология художественной обработки материалов» в Политехническом университете был сделан уже в далеком 1995 году. Несмотря на почти тридцатилетний опыт работы со студентами этого направления подготовки на кафедре Материаловедения и технологии обработки материалов, необходимо признать, что прочных традиций в преподавании дисциплины «Кристаллография» на сегодняшний день не сложилось. Это связано в первую очередь с тем, что в соответствии с основной образовательной программой этого направления студентам читался курс только в некоторой степени охватывавший кристаллографию как науку. Этот курс именовался «Симметрия в науке и искусстве» и составлял 54 часа аудиторной и 54 часа самостоятельной работы студентов.

С выходом ФГОС ВПО третьего поколения в образовательной программе курс «Симметрия в науке и искусстве» был заменен на курс «Кристаллография» с такой же расчасовкой. Особенности преподавания этой дисциплины обусловлены относительно небольшим объемом аудиторной нагрузки и спецификой направления обучения, связанного с прикладным художественным производством. Помимо чисто художественной подготовки (рисунок, живопись, композиция и т.п.) студенты знакомятся с технологическими дисциплинами в области художественного литья, художественнойковки, основ ювелирного дела и в относительно небольшом объеме с работой с минеральным сырьем (поделочными камнями). В таких обстоятельствах курс «Кристаллография» должен был в первую очередь быть сосредоточен на подготовке студентов к работе с минеральными агрегатами и индивидами (т.е. в первую очередь необходимо познакомить студентов с видами симметрии, простыми формами и формами реальных кристаллов).

Тем не менее, следовало принять во внимание, что магистерской подготовки по направлению «Технология художественной обработки материалов» на кафедре по ряду причин не открыто. Но у студентов этого направления есть возможность продолжить обучение в магистратуре по направлению «Материаловедение и технологии обработки материалов», подразумевающего работу с материалами и их структурами. Это обстоятельство требовало ввести в курс «Кристаллографии» уже для бакалавров, на перспективу, минимально необходимые сведения и о структурах различных веществ и методах их исследования (в первую очередь рентгеновских). Результатом этого компромисса стало изданное в 2021 году учебное пособие по курсу «Кристаллография» [1]. Указанное пособие основана по большей части на классических работах Г. М. Попова и И. И. Шафрановского [2], О. М. Аншелеса [3], Г. Б. Бокий [4] и др.

Помимо теоретического курса, указанное учебное пособие [1] включает в себя и 11 практических работ, которые охватывают важнейшие разделы изучаемого материала. При освоении курса «Кристаллография» автор столкнулся с проблемой относительно небольшого количества аудиторных часов, выделяемых на курс и необходимостью существенного облегчения и ускорения восприятия студентами учебного материала без потери качества. Кроме того, необходимо было стимулировать студентов на эффективную самостоятельную работу, позволяющую им во внеаудиторной обстановке тщательно проработать не вполне понятые разделы курса, а также на самостоятельное изучение разделов заданных на дом.

В качестве ответа на поставленные перед преподавателем и студентами вызовы было предложено применить практику рабочих тетрадей (рис. 1). В последнее время, рабочие тетради все чаще стали применять в ВУЗах при преподавании технических и

естественнонаучных дисциплин [5]. Подобные решения были апробированы автором при преподавании технических дисциплин на других, не художественных специальностях.

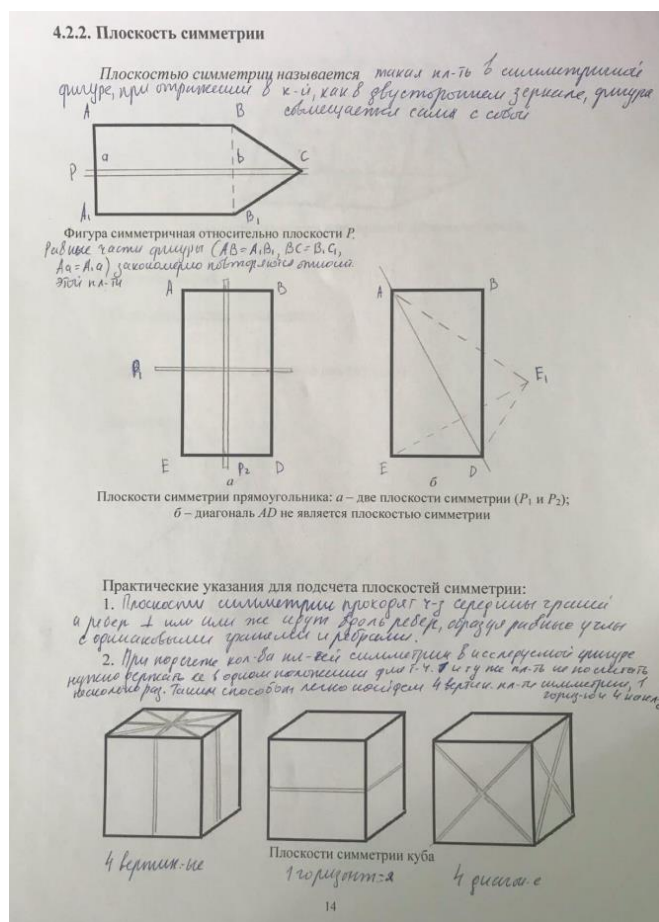


Рис. 1. Пример заполненной студентом страницы рабочей тетради по курсу «Кристаллография»

Рабочая тетрадь по Кристаллографии состоит из тех же разделов, что и учебное пособие, что существенно облегчает ориентацию студентов в ней. Текст рабочей тетради состоит из заголовков параграфов, заголовков определений, требуемых к записи, небольших текстовых комментариев, подсказывающих студенту необходимость записи тех или иных сведений в тетрадь. Кроме того, рабочая тетрадь содержит заготовки рисунков, которые должны быть дополнены построениями самих студентов (рис. 1). Одной из проблем, с которой столкнулся автор при преподавании курса «Кристаллография», была сложность точного изображения на доске многих графиков, изображений простых форм и т.п. Кроме того, при перерисовывании студентами указанных сложных изображений часто допускались досадные ошибки. В таких случаях в рабочей тетради приводится полное изображение, не требующее дополнения со стороны студентов. Это повышает качество восприятия материала и существенно ускоряет учебный процесс. Рабочая тетрадь также содержит необходимые таблицы, как требующие заполнения студентом, так и уже заполненные, наличие которых, наравне с другой содержащейся в тетради информацией позволяет использовать ее как небольшое справочное пособие.

Наличие рабочих тетрадей существенно облегчает и ускоряет процесс проверки самостоятельной работы студентов, весьма наглядно демонстрирует проработанность той или иной темы конкретным студентом, позволяет выявить недочеты в его подготовке и оперативно ее скорректировать в течение семестра.

Анализ результатов использования рабочих тетрадей по дисциплине «Кристаллография» показывает, что удалось оптимизировать преподавание дисциплины и в

условиях небольшого количества аудиторных часов дать весь необходимый теоретический материал. Применение рабочих тетрадей позволило повысить уровень знаний студента, в том числе и вследствие освобождения студента от изображений сложных рисунков, и полной фиксации его внимания на сути излагаемого материала. Это дало время на осмысление рассматриваемого материала и его анализ. Существенно убыстрился темп лекционных занятий при сохранении их качества. Улучшились условия для самостоятельной работы студентов, а также для ее контроля со стороны преподавателя. В конечном итоге все указанные факторы, вызванные внедрением рабочих тетрадей, позволили качественно повысить успеваемость студентов по курсу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кристаллография : учеб. пособие / Ф. М. Носков. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. – 404 с.
2. Попов, Г. М. Кристаллография : учебник для вузов / Г. М. Попов, И. И. Шафрановский. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1972. – 352 с.
3. Аншелес, О. М. Начала кристаллографии: учебник для вузов. А. А. Жданова. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1952. – 276 с.
4. Бокий, Г. Б. Кристаллохимия. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1971. – 400 с.
5. Никитина, Л. И. Использование рабочей тетради при изучении дисциплины «теория механизмов и машин» / Л. И. Никитина, В. А. Пяльченков // Профессиональное образование в России и за рубежом 1 (37) 2020, стр. 142-146.

ФОРМЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРЕПОДАВАНИИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

Нуриева Е.М.

Кафедра минералогии и литологии, ИГиНГТ КФУ, Казань

В последние в связи пандемией и необходимостью организации учебного процесса в дистанционном формате особую актуальность приобрело использование цифровых образовательных ресурсов. В институте геологии и нефтегазовых технологий КФУ активно разрабатываются цифровые образовательные ресурсы по различным дисциплинам учебной программы бакалавриата «Геология», в том числе был создан ЦОР по дисциплине «Кристаллография». Он включает в себя теоретический материал, справочную литературу, словарь терминов и подробные методические указания. Формы контроля усвоения учебного материала студентами включали в себя вопросы для самоконтроля, практические задания и комплексы тестовых заданий разного типа более 250. Тесты были сформулированы для каждой темы по рабочей программе, включены два промежуточных теста и итоговый тест по всему курсу.

Студенты слушали лекции в аудитории, а также могли знакомиться с теоретическим материалом во внеаудиторное время. В качестве одной из форм контроля знаний в семестре использовалась групповая игра: одна подгруппа студентов готовила в произвольной форме викторину с вопросами на пройденную ранее тему для демонстрации другим подгруппам студентов. За заданное ограниченное время подгруппы студентов-игроков в процессе обсуждения готовили ответ на задания викторины и набирали все вместе баллы за ответы. Оценивались ответы ведущей игру подгруппой, лектор выступал в роли консультанта. Студенты произвольно выбирали формат тестов: это были текстовые вопросы с вариантами ответов, ребусы, и кроссворды и формат «Своя игра» с разной сложностью вопросов и соответственно баллами за них начисляемыми, и использование различных платформ для создания тестов с картинками. За подготовку викторины студенты получали баллы. Эта форма контроля знаний позволило актуализировать материал, пройденной ранее в непринужденной и привычной для молодого поколения форме.

Такой вариант повторения учебного материала, пройденного на предыдущей лекции, с получением баллов за текущий контроль получил одобрение студентов по итогам опросов после завершения курса. Были получены следующие ответы в опросном листе: «легче запоминается сложный материал в такой форме», «советуем для следующих студентов продолжить такую форму преподавания».

Цифровой образовательный ресурс (ЦОР) по кристаллографии размещен на площадке дистанционных ресурсов КФУ (<https://edu.kpfu.ru/>), работающих на платформе LMS MOODLE. Доступ к ЦОРу студенты получают через личные кабинеты обучающихся КФУ. Зарегистрировавшись слушателем ЦОРа, студент может воспользоваться лекционными презентациями и другими материалами учебно-методического характера. Размещенные презентации лекций открываются для студентов после проведения лекции. Это позволяет студенту дома проработать самостоятельно структурированный учебный материал большого объема с иллюстрациями, схемами и таблицами по теме учебного плана дисциплины «Кристаллография». К каждой теме приводятся ссылки на учебно-методические пособия и учебники по теме с указанием страниц; словарь терминов, форум, вопросы для самостоятельной подготовки по теоретическому материалу и практические задания. Студенты первого курса проходят адаптационный период перестройки мировоззрения со школьного на студенческий. Они зачастую ограничиваются фотографированием демонстрационных материалов на лекциях и практических занятиях или записывают объяснения на телефон. Навык записывать и зарисовывать основные моменты учебного материала у части обучающихся начинает формироваться только в высшем учебном

заведении. Однако тесты прочно вошли в современный школьный учебный процесс. В связи с этим прохождение тестов к теме лекции в ЦОР для получения баллов текущего контроля не вызывает сложностей. Преподаватель имеет возможность знакомиться с результатами прохождения тестов по отдельной теме ЦОРа, промежуточных тестов и итогового теста дисциплины кристаллография по каждому студенту. По опыту гибридной формы обучения (проведения занятий в аудитории и использования ЦОР) в течение последних трех лет можно констатировать, что именно с внедрением тестов в текущий контроль, появился мотивированный интерес к ознакомлению с теоретическим материалом лекций. Что наблюдается по количеству просмотров лекций и результатам первичного и последующих попыток прохождения тестов.

В ЦОРе разработаны практические задания в формате презентаций на темы, посвященные биографии и научным достижениям кристаллографов России и других стран; физическим свойствам кристаллов, знакомству с известнейшими образцами кристаллов минералов мира и России; способами выращивания кристаллов искусственным путем. В оценке подготовленных работ учитывается знакомство с разными источниками информации, и умение отсеивать недостоверную информацию. Таким образом в текущий контроль знаний обучающихся входит оценка формирования умений и навыков работы со справочной литературой.

На практических занятиях по кристаллографии в начале семестра студенты работают с цветными картонными моделями кристаллов с применением методики работа «в малых группах». Группам по 4-6 студентов предлагается разобрать несколько моделей разной сложности и представить результаты перед группой. Такой подход позволяет задействовать всех студентов группы, большее количество моделей оказываются понятными каждому студенту. В качестве завершающей контрольной работы разработано задание по описанию кристалла минерала в ЦОР. Задание контрольной работы предполагает работу с учебно-методическими пособиями, справочной литературой [1,2] и интернет-источниками [3,4,5]. Выполненную контрольную работу обучающиеся отправляли на проверку на страницу в ЦОР. Здесь предусмотрена возможность преподавателю внести замечания для исправления, студент новый доработанный вариант внести на свою страницу для оценивания баллами текущего контроля. Причем максимальное количество баллов за выполнение каждого вида заданий студент видит на своей странице. Применение цифрового образовательного ресурса с различными формами промежуточного контроля знаний в учебном процессе со студентами первого курса в течение последних трех лет помогло преодолеть затруднения, обусловленные тем, что для успешного освоения дисциплины кристаллография требуется хорошее развитие пространственного воображения. Зачастую оно бывает на недостаточном уровне. Студенты на первом курсе оказываются в группах с разным уровнем навыков к самостоятельной работе по изучению учебных дисциплин, установлению связей между различными понятиями и систематизации знаний.

Меняющийся мир требует от преподавателей гибкого и комплексного подхода к формам текущего контроля знаний и методическим приемам. Применение комплекса методических приемов: экскурсии в геологический музей им. А.А.Штукенберга КФУ в залы минералогии и кристаллографии для знакомства с природными и искусственно выращенными кристаллами минералов, двойниками, дендритами, параллельными сростками и друзами и т.д.; интерактивных методов преподавания, цифровых образовательных ресурсов и как оказалось весьма востребованным тестовым форматом проверки уровня знаний, позволило связать теоретические знания по кристаллографии с такими дисциплинами как общая геология, минералогия, химия, физика, математика и облегчить их восприятие и запоминание.

Современные образовательные технологии в преподавании геологических дисциплин в вузе в настоящее время предполагают сочетание современных IT-технологий, интерактивных образовательных технологий и разнообразие форм текущего контроля знаний студентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров-Тисменко Ю.К. Руководство к практическим занятиям по кристаллографии. М.:Изд-во МГУ, 2010
2. Чупрунов Е.В. Задачи по кристаллографии. М.: Физматлит, 2003. 208 с.
3. <http://database.iem.ac.ru/mincryst/rus/index.php> WWW-МИНКРИСТ
4. <http://cryst.geol.msu.ru/courses/crgraf/>
5. <http://www.webmineral.com>

**О ПРЕПОДАВАНИИ КУРСА КРИСТАЛЛОГРАФИИ ДЛЯ
СТУДЕНТОВ-ФИЗИКОВ НА ФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ
НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО**

Овсецина Т.И., Марычев М.О.

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, физический факультет, кафедра кристаллографии и экспериментальной физики, Нижний Новгород

На физическом факультете Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (ННГУ) преподаётся два кристаллофизических курса – "Физика анизотропных сред" и "Оптические свойства кристаллов". Оба включают в себя лекции и практические занятия по решению задач, а курс по оптике кристаллов поддержан рядом лабораторных работ. Их слушателями являются студенты очной формы обучения 4-го курса, обучающиеся по направлению "физика" и проходящие специализацию на кафедре кристаллографии и экспериментальной физики физического факультета. Курс "Физика анизотропных сред" преподаётся в осеннем семестре, а "Оптические свойства кристаллов" – весной.

История преподавания этих дисциплин студентам-кристаллографам и вообще студентам-физикам на нашем факультете простирается на несколько десятилетий, и питается традициями, заложенными в университете (в советское время – ГГУ – Горьковском госуниверситете) школой академика Н.В. Белова. Важнейшим элементом этих традиций является курс кристаллографии, закладывающий основу образования, или можно сказать сильнее, элементы мировоззрения студентов-физиков. Считаем, что он принципиально необходим для любого нашего студента, поскольку на физическом факультете ННГУ практически все исследования посвящены физике твердых тел, исследованиям их атомной структуры и физических свойств (физика кристаллов, физика полупроводников, микроэлектроника, физика металлов и сплавов, электроника твердого тела и пр.).

Учебная нагрузка по курсам "Физика анизотропных сред" и "Оптические свойства кристаллов" рассчитана следующим образом: объем каждой дисциплины – 5 зачетных ед (180 ч.). Из них в курсе "Физика анизотропных сред" контактная работа обучающегося с преподавателем составляет 66 часов (занятия лекционного и семинарского типа, мероприятия текущего контроля успеваемости), самостоятельная работа обучающегося составляет 114 часов. В курсе "Оптические свойства кристаллов" контактная работа обучающегося с преподавателем составляет 54 часа, а самостоятельная работа – 126 часов.

Материалы к дисциплине "Физика анизотропных сред" представлены в электронном формате и используются в работе системы электронного обучения e-learning ННГУ в виде отдельного курса с аналогичным названием.

Некоторые используемые и рекомендуемые студентам учебные пособия приведены по ссылкам [1–9] и включают в себя лекции и сборники задач как по кристаллографии, так и по кристаллофизике, а также лабораторный практикум по кристаллографии [4] с описаниями лабораторных работ по ряду разделов физической кристаллографии (рентгеноструктурный анализ, выращивание кристаллов, некоторые свойства кристаллов).

В преподавании указанных кристаллофизических курсов мы придерживаемся традиционной, и, с нашей точки зрения, очень хорошей схемы, в которой акцент делается на связи макроскопических свойств анизотропных сред и их симметрии, а также симметрии полей внешних воздействий (принципы Неймана, Кюри). Кроме этого, активно используется математический аппарат, даваемый в курсе кристаллографии – матричная и векторная алгебра для задания операций симметрии и других изометрических преобразований и вычислений с ними, операторный способ записи преобразований как для точечной, так и для пространственной симметрии, теория групп симметрии. В преподавании кристаллофизических курсов центральное место занимает также аппарат тензорной алгебры, студентам объясняется и на

ряде задач прямыми вычислениями показывается, как вид тензоров различных рангов, описывающих физические свойства кристаллов, зависит от точечной симметрии последних. Физические эффекты в кристаллах и других анизотропных средах рассматриваются феноменологически как некоторый отклик среды на заданное внешнее воздействие. Раскладывая функцию зависимости предполагаемого отклика среды (образца) от внешнего воздействия в соответствующий степенной ряд и предполагая, что воздействие в определенном смысле мало, мы получаем выражения для эффектов, в которых роль характеристик соответствующих свойств сред играют множества коэффициентов разложения (сомножителей перед степенями величин воздействий) – тензоры различных рангов. Такой схемы изложения материала мы придерживаемся на протяжении всего курса кристаллофизики.

Отметим, что идеология преподавания кристаллофизики, в которой одно из центральных мест уделяется связи симметрии среды, симметрии полей и характеристик физических свойств анизотропных сред, находит полную поддержку в ряде современных учебных пособий, например, [7, 8], которые мы охотно рекомендуем своим студентам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чупрунов Е.В. Основы кристаллографии: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по физ. и хим. специальностям /Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фаддеев. – Москва: Издательство физико-математической литературы, 2006 – 500 с.
2. Чупрунов Е.В. Симметрия и псевдосимметрия кристаллов / Е.В. Чупрунов – Нижегородский гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского, Нац. исслед. ун-т. – Нижний Новгород : Изд-во Нижегородского гос. ун-та, 2015. – 658 с.
3. Задачи по кристаллографии: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физ. и хим. специальностям / Под ред. Е.В. Чупрунова, А.Ф. Хохлова. – Москва: Физматлит, 2003. - 208 с.
4. Кристаллография : лаб. практикум : учеб. пособие для вузов / под ред. Чупрунова Е.В. – Москва: Физматлит, – 412 с.
5. Псевдосимметрия в живой природе : монография / Д.Б. Гелашвили и др.; под общ. ред. Д.Б. Гелашвили и Е.В. Чупрунова ; Нац. исслед. Нижегородский гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского. – Нижний Новгород : Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2016. – 363 с.
6. Най Дж. Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц / Перевод с англ. Л.А. Шувалова. – 2-е изд. – Москва: Мир, 1967. – 385 с.
7. Сонин А.С. Курс макроскопической кристаллофизики: Учеб. пособ.: Для вузов. – М.: Физматлит, 2006. – 256 с.
8. Сергеев Н.А. Кристаллофизика / Н.А. Сергеев, Д.С. Рябушкин. – Москва: Университетская книга, 2016. – 159 с.
9. Переломова, Н.В. Задачник по кристаллофизике: Для вузов / Н.В. Переломова, М. М. Тагиева; Под ред. М.П. Шаскольской. – Москва: Наука, 1972. – 192 с. [см. также: 2-е изд., перераб. – Москва. : Наука, 1982. – 287 с.].

**КУРСЫ «КРИСТАЛЛОХИМИЯ»
И «ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ КРИСТАЛЛОХИМИИ» НА ХИМИЧЕСКОМ
ФАКУЛЬТЕТЕ САМАРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Пушкин Д.В., Серезкин В.Н., Абдульмянов А.Р., Карасев М.О.,
Савченков А.В., Шилова М.Ю.*

Кафедра неорганической химии, Самарский университет, Самара

Рассмотрены особенности классического общего курса «Кристаллохимия» для студентов-химиков бакалавриата и специалитета. Обобщен опыт использования рейтинговой системы для организации текущего и промежуточного контроля успеваемости студентов с применением разработанного оригинального фонда оценочных средств.

Спецкурс «Избранные главы кристаллохимии» разработан для студентов, специализирующихся на кафедре неорганической химии. Цель дисциплины – углубленное изучение фундаментальных понятий, представлений и физико-химических моделей, используемых при описании структуры химических соединений в кристаллическом состоянии. В рамках данного курса рассматриваются современные методы количественного кристаллохимического анализа, опирающиеся на стереоатомную модель строения кристаллов, а также демонстрируются возможности использования компьютерных методов анализа кристаллоструктурной информации для решения актуальных проблем современной химии. В рамках этого же курса, с учетом специфики научно-исследовательской работы студентов кафедры, они знакомятся с особенностями стереохимии урана в структурах неорганических и координационных соединений.

НАБОР МОДЕЛЕЙ МОЛЕКУЛ ДЛЯ 3D ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СИММЕТРИИ

Савченков А.В.

Кафедра неорганической химии, Самарский университет, Самара

Были подготовлены наборы моделей молекул, включающие суммарно 59 моделей, в том числе примеры моделей на каждую из 32 точечных групп симметрии и 17 экзамениционных моделей. Наборы моделей предоставлены в свободном доступе либо для самостоятельной 3D печати [1], либо через компанию Shapeways, предоставляющую услуги 3D печати [2]. Это позволяет преподавателям экономить время на поиске подходящих примеров для обучения и получать физические модели молекул даже при отсутствии свободно доступных средств 3D печати. Предлагается использование таких моделей для обучения в классах наряду с идеализированными шаростержневыми моделями и компьютерным программным обеспечением. Одновременное использование всех перечисленных ресурсов активизирует как зрительное, так и тактильное восприятие, а их взаимодополняющее действие повышает эффективность обучения и вовлеченность учащихся. Подготовленные наборы моделей хорошо подходят для обучения молекулярной структуре и симметрии, для демонстрации различий между идеализированными и реальными молекулами, для объяснения кристаллографической и некристаллографической симметрии, а также для демонстрации конформационной гибкости. Подготовленные наборы 3D-печатных моделей могут использоваться во многих курсах, включая общую химию, органическую и неорганическую химию, химию твердого тела, кристаллохимию и т. д., которые охватывают аудиторию студентов всех курсов и уровней, а также старшеклассников. Также подготовлены листовки с упражнением для использования в сочетании с моделями в классах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Savchenkov A.V. Designing Three-Dimensional Models That Can Be Printed on Demand and Used with Students to Facilitate Teaching Molecular Structure, Symmetry, and Related Topics // J. Chem. Educ., 2020, 97 (6), 1682.
2. <https://www.shapeways.com/shops/point-group-symmetry>

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ В МГРИ

Сизых Т.В.

Кафедра минералогии и геммологии

Московского государственного геологоразведочного института МГРИ, Москва

История преподавания кристаллографии в МГРИ

История преподавания кристаллографии в МГРИ началась еще с довоенных времен. 17 апреля 1930 года вышел приказ ВСНХ о реорганизации Московской Горной Академии (МГА) и создания на ее основе 6 вузов, в том числе Московского высшего геологоразведочного училища (МВГРУ), а в последствии Московского государственного геологоразведочного института (МГРИ).

В 2017 году путем слияния кафедр «Минералогии и геохимии» и «Геммологии» была образована кафедра «Минералогии и геммологии» МГРИ. За многолетнюю историю преподавания курса «Кристаллографии» в стенах МГРИ-РГГРУ в разные годы посвятили свою деятельность прекрасные педагоги и ученые: проф. Е.Е. Флинт, доц. Н.Н. Шефталь, доц. Е.С. Ильменев, доц. Е.Н. Завьялов, доц. Н.В. Путивцева, доц. И.В. Максимова, ст. пр. Т.В. Сизых и другие.

Особенности подготовки студентов и использование новых технологий в преподавании кристаллографии в МГРИ

Кристаллография - базовая наука для всех специальностей геологического профиля. Студентам важны сведения, позволяющие описать кристаллы в природе. Геммологи чаще имеют дело с ограненными камнями, иногда оправленными в ювелирные изделия. Диагностические приборы работают на основе физических и оптических свойств кристаллов. Поэтому для геммологов важны не только геометрическая кристаллография и внешние признаки минералов, но и понимание сущности физических явлений и химических процессов. При подготовке геммологов упор делается на драгоценные камни.

Для лучшего восприятия нашей дисциплины мы используем современные программы такие, как JCrystal и KrystalShaper. Они позволяют построить модели кристаллов по заданным параметрам. Можно посмотреть, как выглядят идеальные формы кристаллов различных минералов; определить на конкретном образце категорию, сингонию, вид симметрии, комбинацию простых форм, символы граней; изобразить гномостереографическую проекцию используя встроенную сетку Вульфа. Используем игровые программы, например, Puzzlescup для составления кроссвордов. Подобные вещи пробуждают творческий подход к изучению курса.

КРИСТАЛЛОХИМИЯ АНИОНОЦЕНТРИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ: НОВЫЕ ДАННЫЕ, РАЗВИТИЕ И ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ

Сийдра О.И.

Кафедра кристаллографии, Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)

Созданию «Кристаллохимии минералов и неорганических соединений с комплексами анионоцентрированных тетраэдров» послужили многочисленные находки и описания структур новых минералов на вулканах Камчатки С.К. Филатовым и Л.П. Вергасовой (ИВиС, Петропавловск-Камчатский) в 70х-80х годах прошлого века [1]. Позднее С.В. Кривовичевым и С.К. Филатовым на кафедре кристаллографии СПбГУ были развиты основные положения нового направления [2] и обобщены новые экспериментальные данные по структурной химии анионоцентрированных соединений [3]. Сегодня «анионоцентрированная кристаллохимия» является уже классическим разделом неорганической химии и минералогии при описании ряда структур и прогнозе свойств.

С 2010 года «Кристаллохимия анионоцентрированных соединений» проводится в виде отдельных курсов для студентов бакалавриата и магистратуры Института наук о Земле, СПбГУ. В докладе будет рассмотрена общая структура курса, основные темы и примеры структур для практических занятий по рентгеноструктурному анализу. Также будут представлены некоторые наиболее яркие примеры новых анионоцентрированных соединений и минералов, установленных и описанных в последние годы, как с участием автора, так и по литературным данным.

1. Филатов С.К., Семенова Т.Ф., Вергасова Л.П. Типы полимеризации тетраэдров [OCu₄]⁶⁺ в соединениях с “дополнительными” атомами кислорода. Доклады РАН, 1992, 322, 536-539.
2. Кривовичев С.В., Филатов С.К. Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами анионоцентрированных тетраэдров. Изд-во Санкт-Петербургского университета. 2001 198 стр.
3. Krivovichev S.V., Mentré O., Siidra O.I., Colmont M., Filatov S.K. Anion-centered tetrahedra in inorganic compounds. Chemical Reviews, 2013, 113, 6459-6535.

ОСОБЕННОСТИ КУРСА «РЕНТГЕНОГРАФИЯ КРИСТАЛЛОВ», ДЛЯ СТУДЕНТОВ ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО

Сомов Н.В.

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Физический факультет

Кафедра кристаллографии и экспериментальной физики физического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского продолжает традиции, заложенные академиком Н.В. Беловым, Т.Н. Тарховой и другими ведущими кристаллографами. Студенты, специализирующиеся на кафедре, начинают своё знакомство с миром кристаллов на третьем году обучения с курса «Кристаллография». В рамках данного курса студентам даются базовые знания о кристаллическом пространстве, группах симметрии, математическом аппарате кристаллографии, простых формах, плотнейших упаковках, структурных типах и т. д.

На старших курсах студенты кафедры получают углубленные знания по кристаллофизике, росту кристаллов и кристаллохимии. Отдельно следует выделить курс «Рентгенография кристаллов», который читается студентам 4-го курса в течение двух семестров и является логическим продолжением курса «Кристаллография».

Курс «Рентгенография кристаллов» включает лекции (29 а.ч.), практические занятия (29 а.ч.) и лабораторный практикум (116 а.ч.). В рамках данного курса студенты приобретают знания по основам физики рентгеновских лучей; рассматриваются вопросы получения рентгеновского излучения, описания дифракции рентгеновских лучей на модельных и реальных кристаллах, дифракции на монокристаллах и поликристаллических материалах. Подробно изучаются в теории и на практике методы качественного и количественного анализа поликристаллических материалов, методы решения фазовой проблемы для монокристаллов, методы построения и уточнения параметров модели кристалла.

Наши студенты имеют возможность на практике пройти весь исследовательский путь, включающий получение и подготовку образцов, проведение экспериментов на современных порошковых и монокристалльных дифрактометрах, обработку и анализ экспериментальных данных. При проведении практической работы со студентами на начальном этапе делается упор на прямой анализ данных, т. е. без использования готовых вычислительных средств. Так, например, студентам предлагается самостоятельно рассчитать порошковую дифрактограмму заданного кристалла, для монокристалла определить пространственную группу симметрии по массиву дифракционных данных, рассчитать координаты тяжелого атома по пикам функции Паттерсона и т. д.

Непосредственная работа студентов с данными рентгеновской дифракции позволяет на более глубоком уровне прочувствовать связь атомной структуры кристалла, симметрии и наблюдаемой дифракционной картины – обратного пространства.

В дальнейшем студенты знакомятся с современными средствами и программным обеспечением, позволяющим частично автоматизировать различные прикладные задачи анализа дифракционных и структурных данных. Такой подход, основанный на глубоких теоретических и практических навыках, на наш взгляд, обеспечивает наиболее эффективную подготовку специалиста в области физики кристаллов.

АДАПТИВНЫЙ КУРС «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ – ПЕРВАЯ НАУКА О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ»

Фролов К.В.

Институт кристаллографии имени А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва, Россия

Представлен опыт создания и преподавания курса «Кристаллография – первая наука о строении вещества. История и современность» в 9-11 классах школ естественнонаучного профиля в рамках программ дополнительного образования и в аспирантуре Института кристаллографии имени А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

Обзор истории развития кристаллографии, её достижений и современного состояния позволяет создать уникальную адаптивную междисциплинарную образовательную платформу с возможностью формирования разнообразных межпредметных связей между курсами физики, математики, информатики, химии, биологии, истории и мировой художественной культуры. Такая платформа является удобным и эффективным пространством для развития проектной деятельности учащихся.

Представлены варианты адаптации курса для различных аудиторий и применений с использованием вспомогательного оборудования и программного обеспечения.

ОСОБЕННОСТИ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ БАЗОВОГО КУРСА КРИСТАЛЛОГРАФИИ НА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ НГУ

Шемелина О.В.^{1,2}, Мирошниченко Л.В.^{1,2}, Гаврюшкина О.А.^{1,2}

¹ кафедра Минералогии и геохимии, Новосибирский государственный университет

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Геолого-геофизический факультет Новосибирского государственного университета готовит специалистов по пяти направлениям: геофизика, геофизика в нефтепромысловом и горном деле, геохимия, общая и региональная геология и геология и геохимия горючих ископаемых. Уже на первом курсе студенты выбирают свою будущую специальность. Однако, общие профессиональные дисциплины одинаковы для всех направлений, где только геофизика стоит особняком. К таким дисциплинам относится и кристаллография, которая является первым звеном минералого-петрографического цикла и преподается на кафедре минералогии и геохимии.

В разное время кристаллографию на ГГФ НГУ преподавали к.г.-м.н. Бакуменко И.Т., д.г.-м.н. Смирнов С.З., д.г.-м.н. Страховенко В.Д., д.г.-м.н. Хромых С.В., к.г.-м.н. Литасов Ю.Д., д.г.-м.н. Корсаков А.В., к.г.-м.н. Гаврюшкин П.Н. В настоящее время лекции читает зав. лабораторией экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса ИГМ СО РАН член.-корр. РАН Пальянов Ю.Н., авторы данной работы преподают практические занятия. Все предшествующие и нынешние преподаватели являются (или были таковыми) научными сотрудниками Института геологии и минералогии СО РАН и работают в областях минералогии, петрологии, термобарогеохимии, кристаллохимии, рентгеноструктурного анализа и т.п.

В учебном плане факультета программа изучения базовых основ кристаллографии рассчитана на 108 часов во втором семестре первого курса. Объем курса практически одинаков для всех специальностей, кроме геохимии, где предусмотрены некоторые дополнения к общей программе семинарских занятий.

Практические занятия базируются на традициях преподавания геометрической кристаллографии, сложившихся в свое время в СПбГУ и послуживших основой учебников Г.М. Попова и И.И. Шафрановского. Цели и задачи курса состоят в получении знаний о морфологии, структуре и свойствах кристаллов, связанных с законами симметрии. Основная часть курса посвящена подробному разбору элементов симметрии, их взаимосвязи, простым формам, стереографическим проекциям, координатным системам, индексам граней Миллера. На этом этапе обучение ведется в интерактивной форме на примере идеализированных моделей кристаллов: бумажных и/или деревянных. Студенты определяют симметрию и комбинации простых форм, используют стереографические проекции для описания моделей кристаллических многогранников. В этой части курса геохимии также осваивают кристаллографические расчеты с использованием сетки Вульфа. Помимо решения промежуточных графических задач на определение угловых характеристик, результатом таких расчетов является создание бумажных моделей каких-либо кристаллов, что даёт постоянное пополнение коллекции новыми моделями (рис.1. Учебная коллекция. А) Кальцит - реальные кристаллы различной морфологии и бумажные модели, б) модели примитивного вида симметрии гексагональной сингонии).



Во второй половине курса студенты знакомятся с кристаллографическими формами реальных кристаллов и изучают особенности морфологии основных породообразующих минералов, получают представление о характере взаимосвязи между химическими и физическими свойствами кристаллов и их внутренним строением, т.е. о базовых понятиях кристаллохимии и кристаллофизики.

Учебная кристаллографическая коллекция ГГФ НГУ насчитывает несколько сотен образцов, как природных кристаллов, так и синтетических. В 2020 году Минералогический музей им. А.Н. Ферсмана передал НГУ коллекцию А.А. Годовикова, много лет посвятившему ГГФ НГУ. Многие образцы имеют хорошую огранку, позволяющую безошибочно ориентировать кристалл. Всего на реальных кристаллах учебной коллекции можно познакомиться с простыми формами 24 видов симметрии из 32 существующих.

Кроме того, на факультете в 1978 года организовано студенческое минералогическое общество «Кристалл», силами которого собрана уникальная учебная коллекция образцов с большинства известных месторождений бывшего Советского Союза. На базе общества студенты-старшекурсники и аспиранты проводят дополнительные занятия по кристаллографии, минералогии и общей геологии для желающих.

Итоговый контроль успеваемости осуществляется в виде зачета по практической части курса и экзамена по теоретической части. В рамках зачёта проверяется уровень владения следующими темами: 1) стереографические проекции идеализированных моделей кристаллов (проецирование трех моделей с указанием симметрии и простых форм); 2) простые формы (идентификация по деревянным моделям и стереографическим проекциям); 3) 32 вида симметрии кристаллических многогранников (проекция наборов элементов симметрии, формы общего положения, международные обозначения); 4) индексы Миллера (обозначение точек на стереографической проекции в трёх- и четырёхосном репере); 5) симметрия и огранка реальных кристаллов. Для определения симметрии реальных кристаллов каждому студенту предлагается набор образцов, содержащий кристаллы моноклинного полевого шпата, кварца и трех минералов, представляющих низшую, среднюю и высшую категории.

Сочетание теоретических основ кристаллографии и практического определения простых форм на реальных кристаллах дает прочную базу для дальнейшего изучения структуры и химического состава вещества в курсе кристаллохимии и минералогии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пальянов Ю.Н., Мирошниченко Л.В. Рабочая программа дисциплины «Кристаллография», для направления подготовки/специальности 05.03.01 Геология // 2021, НГУ
2. Мирошниченко Л.В. Рабочая программа дисциплины «Кристаллография», факультатив направление подготовки: 05.03.01 Геология // 2021, НГУ
3. Официальный сайт ГГФ НГУ <https://www.nsu.ru/n/geology-geophysics-department/>

СПИСОК УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Абдульмянов А.Р.	53
Абрамович А.И.	32
Александров Е.В.	25
Асланов Л.А.	7
Банаев М.В.	34
Банару А.М.	27
Белоконева Е.Л.	29
Блатов В.А.	8, 25
Богдан Т.В.	30, 32, 43
Болдырева Е.В.	9
Борисов С.В.	10
Войтеховский Ю.Л.	13
Гаврюшкин П.Н.	34
Гаврюшкина О.А.	59
Гринева О.В.	30
Гричук Д.В.	21
Доских К.	34
Еремин Н.Н.	14, 36
Еремина Т.А.	36, 42
Засурская Л.А.	32, 39
Захаров Б.А.	9
Карасев М.О.	53
Ким Е.Л.	41
Кривовичев С.В.	
Кузьмичева Г.М.	16
Марченко Е.И.	36, 42
Марычев М.О.	51
Миняйлов В.В.	30, 43
Миняйлова С.В.	43
Мирошниченко Л.В.	59
Мялкин С.В.	
Носков Ф.М.	45
Нуриева Е.М.	48
Оганов А.Р.	20
Овсецина Т.И.	51
Проскурина О.В.	
Пушкин Д.В.	53
Пуцаровский Д.Ю.	21
Савченков А.В.	53, 54
Сагатова Д.Н.	34
Сагатов Н.Е.	34
Сережкин В.Н.	53
Сизых Т.В.	55
Сийдра О.И.	56
Словохотов Ю.Л.	22
Сомов Н.В.	57
Фролов К.В.	58
Чупрунов Е.В.	23, 41

Шванская Л.В.	14
Шемелина О.В.	59
Шилова М.Ю.	53

Электронное издание сетевого распространения.
Оригинал-макет подготовлен заказчиком. Опубликовано 15.09.2022.
Издательство «КДУ»: 8(495) 638-57-34. www.kdu.ru