

ИСТОРИЯ НАУКИ

DOI <https://doi.org/10.30695/zrmo/2019.1484.03>

© Почетный член Ю. Л. ВОЙТЕХОВСКИЙ

НЕСКОЛЬКО ДАТ ИЗ ИСТОРИИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

*Санкт-Петербургский горный университет,
Санкт-Петербург, 199106, В. О., 21-я линия, д. 2;
e-mail: voytekhoyskiy_yul@pers.spmi.ru*

Статья посвящена знаменательным датам из истории кристаллографии, отмечаемым в 2019 году. Главным образом они связаны с публикациями фундаментальных научных трудов (Н. Стенон, М. В. Ломоносов, О. Браве, Э. Малляр, Л. Зонке, Г. Хееш) и отражают неуклонное развитие кристаллографии. С другой стороны, они показывают и несостоявшиеся открытия. В частности, идея антисимметрии Г. Хееша уже содержится в зародыше у О. Браве. Она могла быть получена из сопоставления его «прямой и обратной полуформ» кристаллического полиэдра. Возможность столь неожиданных ассоциаций обусловлена высокой степенью математизации современной кристаллографии.

Ключевые слова: история кристаллографии, кристаллический полиэдр, симметрия, диссимметрия, антисимметрия.

*Yu. L. VOYTEKHOVSKY. SEVERAL DATES
FROM THE HISTORY OF CRYSTALLOGRAPHY*

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

The article is devoted to significant dates from the history of crystallography, celebrated in 2019. They are mainly associated with the publication of fundamental scientific works (N. Stenon, M. V. Lomonosov, A. Bravais, E. Mallard, L. Sohncke, H. Heesch) and reflect the steady development of crystallography. On the other hand, they show failed discoveries. In particular, the idea of antisymmetry by H. Heesch is already contained in the bud by A. Bravais. It could be obtained by comparing his «direct and inverse half-forms» of crystal polyhedron. The possibility of such unexpected associations is due to the high degree of mathematization of modern crystallography.

Key words: history of crystallography, crystalline polyhedron, symmetry, dissymmetry, antisymmetry.

2019 год был богат на юбилейные события из истории естественных наук. Исполнилось 250 лет со дня рождения великого немецкого естествоиспытателя А. фон Гумбольдта и 190 лет его знаменитому путешествию по России в связи с открытием уральской платины. С точки зрения истории минералогии наиболее интересен вклад сопровождавшего его Г. Розе, в уральских и алтайских образцах которого были определены новые минералы: гессит, перовскит, чевкинит-(Ce) и др. Но насколько эти находки подвигли российских ученых к открытию новых минералов? Даты отмечены российско-германской экспедицией под эгидой Фрайбергской горной академии, Санкт-Петербургского

горного университета и Российского минералогического общества по Западной Сибири, Алтаю и Восточному Казахстану.

150-летие Периодической таблицы Д. И. Менделеева отмечено международными конференциями под эгидой ЮНЕСКО, в том числе в Санкт-Петербургском горном университете. Документально установлено, что великий химик обращался сюда с просьбой о предоставлении минералогических образцов. Просьба была удовлетворена. Но в какой мере эксперименты с минералами из собрания Горного музея способствовали открытию Периодического закона?

Исполнилось 100 лет со дня кончины гениального Е. С. Федорова. Дата отмечена отделениями и комиссиями Российского минералогического общества в виде научных конференций разного уровня. О чем бы из области минералогии и кристаллографии ни шла речь, трудно обойтись без этого имени. Оно еще встретится далее, поскольку, ограничивая себя узкими рамками, мы отметим именно круглые даты из истории кристаллографии. Они редким пунктиром освещают путь этой дисциплины, тем не менее, обнаруживая интересные сюжетные линии.

Плиний Старший (ум. 79 г. н. э.). Плиний Старший дал более ясное, чем предшественники, описание природных кристаллов как полиэдров, указав на их плоскогранность как неперемutable качество. *«Свойство это было подмечено давно. Уже Плиний упоминает о нем. Сформулировать его можно так: грани кристаллов (нормально образованных) суть плоскости, а ребра — прямые линии»* (Болдырев, 1926, с. 54). По-видимому, уже с того времени берет начало диалектика двух понятий: кристалл как (платонова) идея и минерал как ее (аристотелева) реализация, всегда несовершенная, но именно благодаря этому позволяющая судить о его онтогении. Заметим, что термин «кристалл» сегодня применяется к минеральному индивиду, если он ограничен плоскими гранями, в противном случае это «зерно». Кристаллический характер структуры подразумевается в обоих случаях, но термин в первую очередь отражает правильность формы. Строго логически, это нехорошо — термин многослоен. С другой стороны, он связывает два восприятия, «узнавая» идеальный кристалл в наиболее совершенных минеральных индивидах.

Н. Стенон (*De solido intra solidum naturaliter content, 1669*). В указанной диссертации (Stensen, 1667; Stenonis, 1988) сформулирован ряд положений, имевших фундаментальное значение для анатомии, палеонтологии, стратиграфии и кристаллографии — описание роста кристаллов как послойного нарастания граней и закон постоянства углов между соответствующими гранями. *«Кристалл растет до тех пор, пока новое кристаллическое вещество присоединяется к внешним плоскостям уже первично образовавшегося кристалла. Поэтому мало вероятно мнение ученых о том, что кристаллы растут как растения и привлекают к себе питательное вещество в той части, где они примыкают к материнской породе»* (Стенон, 1957, с. 38). *«Рис. 5 и 6 — из числа тех, которых я мог бы привести большое количество для доказательства того, что на плоскости число и длина сторон кристалла по-разному изменяются без изменения углов. <...> Рис. 13 показывает, как на плоскости основания (когда новое кристаллическое вещество накладывается на плоскости пирамид) иногда разнообразно изменяется длина сторон и число их без изменения углов»* (там же, с. 66).

Отложение слоев означает движение граней вдоль нормалей. Но слои могут иметь разную толщину, и Н. Стенон обсуждает такую возможность.

«Это новое вещество кристалла присоединяется не ко всем плоскостям, но по большей части, например, только к одним плоскостям вершины или к конечным плоскостям. <...> Кристаллическое вещество не присоединяется одновременно и в одинаковом количестве ко всем конечным плоскостям. Отсюда следует, что: 1) ось пирамид не всегда образует одну и ту же прямую линию с осью столбика; конечные плоскости редко бывают равны между собой, откуда следует неравенство промежуточных плоскостей...» (там же, с. 38). Перед нами — указание на искажение формы кристалла при неравномерном питании. Итак, у Н. Стенона вполне просматриваются важные принципы будущей геометрической кристалломорфологии, в том числе идея диссимметрии П. Кюри, использованная в минералогии И. И. Шафрановским (Войтеховский, 2019). Огромное количество работ, посвященных наследию Н. Стенона, закономерно (Шафрановский, 1972; Scherz, 1962, 1963).

М. В. Ломоносов (О рождении и природе селитры, 1749). Диссертация о селитре — единственный систематический труд М. В. Ломоносова о кристаллах — ознаменовала рождение отечественной научной кристаллографии (Шафрановский, 1978, с. 143). Постоянство углов установлено на кристаллах селитры и других веществ с объяснением на основе плотнейшей шаровой упаковки корпускул. По аналогии с предыдущим заметим, что отложение новых слоев шаровой упаковки ведет к росту кристалла при сохранении углов между гранями. При этом отложение разного числа слоев на разных гранях ведет к диссимметрии формы.

О. Браве (Исследование о многогранниках симметричной формы, 1849). В указанной работе (Браве, 1974, с. 11—40) «Браве полагает начало новому направлению, по которому кристаллография является наукой дедуктивной, имеющей математический характер. Из весьма несовершенных воззрений Гаюи на структуру кристаллов, в трудах Браве выработалась изящная дедуктивная теория, не только не встретившая возражений, но имевшая с самого начала отклик в Германии в работах Франкенгейма, независимо и одновременно с Браве пришедшего к некоторым общим с ним результатам. Кроме теории структуры кристаллов Браве положил основание и теории симметрии — одному из важнейших отделов современного учения о фигурах. <...> Это сочинение можно считать началом возобновления в новейшее время геометрического учения о фигурах <...>, так как все предшествовавшие работы этой области были слишком отрывочны и касались почти всегда лишь небольшой группы вопросов» (Федоров, 1897, с. 8, 10).

Она получила развитие в «Кристаллографических этюдах» (Браве, 1974, с. 139—270), из которых обратим внимание на следующее рассуждение. «Две грани одного рода прямо сходны, когда вращение, устанавливающее совпадение их сеток, совмещает внутреннюю сторону одной с внутренней стороной другой. <...> Напротив, эти две грани будут называться обратно сходными, если движение, приводящее в совпадение их сетки, продолженные по мере надобности, приводит внутреннюю сторону одной из граней на внешнюю сторону другой. <...> Всякая грань, параллельная заданной, обратно сходна с ней. Ведь их совмещение с помощью простого переноса переводит внутреннюю сторону одной на внешнюю сторону другой. <...> В итоге всякая кристаллическая форма разлагается на две полуформы: <...> прямую и обратную» (с. 145). Очевидно, внутренняя и внешняя стороны любой грани кристалла, а значит и обе полуформы, суть антагонисты, которые логично на-

звать «черной» и «белой», обозначить знаками «+» и «-». Эта символика ныне хорошо известна...

Э. Малляр (*Курс геометрической и физической кристаллографии, 1879*). В указанном учебнике Э. Малляр первый положил теорию решетчатого строения в основу преподавания дисциплины, тем самым обратив внимание минералогов на выдающиеся результаты О. Браве (Шафрановский, 1980, с. 156).

Л. Зонке (*Развитие теории кристаллической структуры, 1879*). Ввел понятие о правильных системах точек и вывел 65 пространственных групп симметрии 1-го рода, то есть используя лишь трансляционные оси, очевидно, в частных случаях сводимые к чистым трансляциям и поворотам (Sohncke, 1879).

Г. Хееш (*О четырехмерных группах трехмерного пространства, 1930*). В самом конце 1929 г. подана в печать и вскоре опубликована статья (Heesch, 1930), в которой сформулирована концепция антисимметрии. Проблема сформулирована следующим образом. «Зонке (1879) рассматривал только те 65 пространственных групп (преобразований. — Ю. В.) трехмерного гомогенного дисконтинуума, которые получаются на основе движений, то есть двухрядных матриц точечных преобразований. Шёнфлис (1891) признал и трехмерные элементы точечной симметрии. (Напомним, что Е. С. Федоров опубликовал этот результат на год раньше. — Ю. В.) Полученные в результате 230 пространственных групп представляют собой гораздо более богатую основу для структурных исследований, чем совокупность Зонке. Можно сделать еще один шаг в том же направлении, то есть задаться вопросом о таких группах (преобразований. — Ю. В.) R^3 , которые получаются на основе четырехмерных точечных симметрий. Поскольку эти группы тоже являются кристаллографическими пространственными системами в том же смысле, что и (системы. — Ю. В.) Зонке и Шёнфлиса. <...> Группы, составляющие предмет этой работы, в противоположность всем группам более высокой размерности, отличаются тем, что для их понимания не нужно покидать доступный нам мир R^3 , хотя они образуют очень простую замкнутую совокупность в смысле n -мерной геометрии. А именно, речь идет о таких симметриях R^4 , которые преобразуют R^3 в себя» (Heesch, 1930, S. 325—326; здесь и далее пер. авт.).

Способ расширения групп Г. Хееш поясняет так. «Это проблема расширения 17 двумерных плоских групп Ниггли (т. е. групп симметрии сетчатых орнаментов, см. популярное изложение в (Шубников, 1940, с. 100—114). — Ю. В.) до 80 трехмерных (т. е. групп симметрии слоев Германна—Вебера—Александера — см. там же, с. 145—149. — Ю. В.), так же, как теперь речь идет о том, чтобы расширить 230 трехмерных групп R^3 в совокупность четырехмерных. <...> Для начала мы хотим показать на примере проблемы на единицу меньшей размерности, как с преимуществом можно обойтись без пространственного значения четвертой координаты. Эти 80 групп до сих пор получали чисто геометрическое объяснение. Еще никто не извлек пользы из того, что у третьей (перпендикулярной плоскости трансляций) координаты интересен только знак, но длины этой координаты никуда не входят. Таким образом, эта координата рекомендуется в качестве представителя любого свойства гомогенного плоского дисконтинуума, который сводим к формуле «плюс — минус», то есть для каждого „полярного“ свойства» (Heesch, 1930, S. 326).

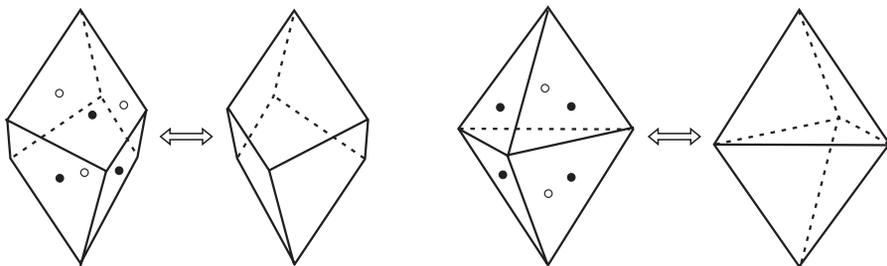
Но какое отношение формула «плюс — минус», то есть перемена цвета, имеет к сопоставлению 65 групп симметрии Зонке и 230 групп Федорова—Шёнфлиса? *«Так как все без исключения симметрии 2-го рода создаются плоскими зеркалами (вспомним о предшествовавших работах Ю. В. Вульфа, сведшего все преобразования симметрии к отражениям в плоскостях. — Ю. В.), возможно, в комбинации с движениями (которые не затрагивают реальности элементарного орнамента), то в смысле оптики они представляют виртуальные зеркальные картины. Если теперь объяснить изменение знака четвертой координаты как переход от реальной картины к виртуальной или наоборот, то <...> из 230 пространственных систем Шёнфлиса лишь 65 систем Зонке останутся одноцветными»* (Ibid., S. 345).

ОБСУЖДЕНИЕ

Отмеченные события, хоть и редким пунктиром, в целом показывают связную сюжетную линию в истории кристаллографии: кристаллический полиэдр с плоскими гранями — симметрия — ростовая диссимметрия при сохранении углов между гранями — антисимметрия. За исключением последней, все концепции подразумевают движение граней выпуклого полиэдра вдоль нормалей. Оно до сих пор не рассмотрено как специальное преобразование, нетождественное проективному и аффинному, использованным Е. С. Федоровым. На ряде примеров лишь показано огромное разнообразие получаемых при этом форм, приложимых к природным кристаллам (Voytekhovsky et al., 2004).

Чтобы выразить идею антисимметрии, Г. Хеешу понадобилось обобщение федоровских групп на R^4 , при этом четвертое измерение тут же редуцировано им до «представителя полярного свойства», сводимого к формуле «плюс — минус». Концепция антисимметрии связана им с элементами симметрии 2-го рода, переводящими реальную картину в область виртуального, иначе говоря, в зазеркалье. Справедливости ради заметим, что речь идет именно о перечислении групп преобразований и соответствующих пространственных систем точек. Но применительно к кристаллическим полиэдрам, да и любым фигурам (Шубников, 1951, 1961, 1966), идея антисимметрии может быть выведена из движения граней вдоль нормалей и фактически содержится в «Кристаллографических этюдах» О. Браве.

Действительно, равномерное движение граней кристаллического полиэдра вдоль нормалей вовне увеличивает его с точностью до подобия, неравномерное — вызывает его искажение, замеченное еще Н. Стеноном и названное П. Кюри диссимметрией. Но что будет, если перевести все грани полиэдра вдоль нормалей по другую сторону от начала координат на то же расстояние? Столь «радикальная диссимметризация» не более абстрактна, чем выход Г. Хееша в многомерные пространства. Результат зависит от симметрии исходного полиэдра (см. рисунок). Если он обладает элементами симметрии 2-го рода, то в результате преобразования геометрически не изменится, хотя внешние поверхности граней займут место внутренних и наоборот, внешние нормали к граням станут внутренними и наоборот — «прямая и обратная полужоры» поменяются местами, по О. Браве, полиэдр будет «перекрашен», по А. В. Шубникову. Если же он обладает только элементами симметрии 1-го рода (примитивный и аксиальный случаи), то полученный полиэдр по отноше-



Антисимметричный тригональный трапецоэдр (слева) и перекрашенная тригональная дипирамида (справа). Внутренние нормали показаны черными (на передних гранях) и белыми (на задних гранях) кружками, внешние нормали не показаны.

Antisymmetric trigonal trapezohedron (left) and trigonal dipyrmaid painted the opposite color (right). The internal normals are marked black (on front facets) and white (on back facets) circles, the external normals are not marked.

нию к исходному будет одновременно энантиоморфен (инвертирован) и перекрашен, то есть антисимметричен (эвертирован, от англ. *to evert* — выворачивать наизнанку).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

История кристаллографии знает повторные открытия: закон постоянства углов Стенона—Роме-де-Лиля—Ломоносова, 32 точечные группы симметрии Гесселя—Франкенгейма—Гадолина, 230 пространственных групп Федорова—Шёнфлиса. Несостоявшиеся открытия зафиксировать труднее. В случае Г. Хеша интересно то, что, сформулировав проблему как расширение алгебраических групп А. Шёнфлиса, он пояснил суть решения в геометрических образах, то есть в стиле Е. С. Федорова. Сегодня видно, что геометрическая интерпретация антисимметрии содержалась уже в работе О. Браве в виде «прямой и обратной полуформ» кристаллического полиэдра. Но идея развития не получила... Ясно и другое. Современная кристаллография в целом представляет собой «изящную дедуктивную теорию, имеющую математический характер» со многими входами и выходами. Именно это позволяет находить неожиданные ассоциации и связывать идеи, в состоявшейся истории разделенные десятилетиями.

Список литературы

- Болдырев А. К.* Основы кристаллографии. Л.: КУБУЧ, 1926. 186 с.
Браве О. Избранные научные труды. Л.: Наука, 1974. 420 с.
Войтеховский Ю. Л. Еще раз о принципе диссимметрии П. Кюри // ЗРМО. 2019. № 3. С. 118—129.
Стенон Н. О твердом, естественно содержащемся в твердом. Л.: Изд-во АН СССР, 1957. 152 с.
Федоров Е. С. Курс кристаллографии. СПб.: Тип. П. П. Сойкина, 1897. 376 с.
Шафрановский И. И. Николай Стенон — кристаллограф, геолог, палеонтолог, анатом. Л.: Наука, 1972. 180 с.
Шафрановский И. И. История кристаллографии (с древнейших времен до начала XIX столетия). Л.: Наука, 1978. 297 с.
Шафрановский И. И. История кристаллографии. XIX век. Л.: Наука, 1980. 324 с.
Шубников А. В. Симметрия. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 176 с.

- Шубников А. В.* Симметрия и антисимметрия конечных фигур. М.: Изд-во АН СССР, **1951**. 172 с.
- Шубников А. В.* Проблема диссимметрии материальных объектов. М.: Изд-во АН СССР, **1961**. 56 с.
- Шубников А. В.* Антисимметрия. М.: Наука, **1966**. 28 с.

References

- Boldyrev A. K.* Crystallography basics. Leningrad: KUBUCH, **1926**. 186 p. (*in Russian*).
- Bravais A.* Selected scientific works. Leningrad: Nauka, **1974**. 420 p. (*in Russian*).
- Fedorov E. S.* Crystallography course. Saint-Petersburg: P. P. Soykin's typography, **1897**. 376 p. (*in Russian*).
- Heesch H.* Über die vierdimensionalen Gruppen des dreidimensionalen Raumes. *Z. Krist.* **1930**. Bd 73. S. 325—345.
- Scherz G.* Niels Stensen. Bildbuch. Würzburg: Echter-Verlag, **1962**. 120 S.
- Scherz G.* Pionier der Wissenschaft. Niels Stensen in seinen Schriften. Copenhagen: Munksgaard, **1963**. 348 S.
- Shafranovsky I. I.* Nikolai Stenon — crystallographer, geologist, paleontologist, anatomist. Leningrad: Nauka, **1972**. 180 p. (*in Russian*).
- Shafranovsky I. I.* The history of crystallography (from ancient times to the beginning of the XIX century). Leningrad: Nauka, **1978**. 297 p. (*in Russian*).
- Shafranovsky I. I.* History of crystallography. XIX century. Leningrad: Nauka, **1980**. 324 p. (*in Russian*).
- Shubnikov A. V.* Symmetry. Moscow–Leningrad: Acad. Sci. USSR, **1940**. 176 p. (*in Russian*).
- Shubnikov A. V.* Symmetry and antisymmetry of finite figures. Moscow: Acad. Sci. USSR, **1951**. 172 p. (*in Russian*).
- Shubnikov A. V.* The problem of dissymmetry of material objects. Moscow: Acad. Sci. USSR, **1961**. 56 p. (*in Russian*).
- Shubnikov A. V.* Antisymmetry. Moscow: Nauka, **1966**. 28 p. (*in Russian*).
- Sohncke L.* Entwicklung einer Theorie der Kristallstruktur. Leipzig: Verlag von W. Engelmann, **1879**. 248 S.
- Stenonis N.* De solido intra solidum naturaliter content. Berlin: Akademie-Verlag, **1988**. 80 S.
- Stensen N.* Das Feste im Festen. Oswalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Frankfurt am Main: Akademische Verlagsgesellschaft, **1967**. 131 S.
- Voytekhovskiy Y. L.* Once again about the Curie dissymmetry principle. *Zapiski RMO (Proc. Rus. Miner. Soc.)*. **2019**. No. 3. P. 118—129 (*in Russian*).
- Voytekhovskiy Y. L., Stepenshchikov D. G.* On the real crystal rhombododecahedra. *Acta Cryst.* **2004**. A60. P. 582—584.

Поступила в редакцию
10 августа 2019 г.