

Пути развития кристаллографии и ее современные задачи

Доц. В. В. Долово-Добровольский

Evolution de la Cristallographie et les problèmes à résoudre

W. W. Doliwo-Dobrowolsky

(Доклад, прочитанный 11 марта 1933 г. на заседании кафедр петрографо-минералогического цикла наук, посвященном 50-летию смерти Карла Маркса).

Первый период

§ 1. Кристаллы были известны человечеству с самой ранней эпохи человеческой истории, однако об этом не сохранилось почти никаких сведений. Лишь в отдельных сочинениях древних греческих и римских писателей мы находим кое-какие указания на кристаллы в связи с общими рассуждениями о камнях и о земной коре. Самое слово „кристалл“ у древних греков употреблялось не в том смысле, в котором мы его употребляем теперь. *Κρυσταλλος* — „замерзшее“, „стуженое“ тело — обозначало лед („Илиада“ Гомера).

Позже стали обозначать этим же словом и другое вещество, которое мы теперь называем горным хрусталем, представляющее собою кристаллы окиси кремния — SiO_2 . (Плиний 79 г.). Бесцветные водянопрозрачные кристаллы горного хрусталя внешне напоминают лед. Поэтому считали, что подобно тому, как вода может превращаться в лед, лед может претерпевать дальнейшую стадию окаменения, превращаясь в горный хрусталь. По той же причине это название было перенесено и на стекло (хрусталь — испорченное кристалл), и только постепенно слово „кристалл“ приобрело тот смысл, который мы приписываем ему теперь.

§ 2. Бросающаяся в глаза правильная форма кристаллов обращала на себя внимание и в средние века, но отдельные наблюдения над кристаллами не шли дальше простой регистрации этих наблюдений, как игры природы, как случайных диковинок, подобных находимым окаменелостям. Оторванные от жизни, эти наблюдения не оставляли никакого следа, если не считать некоторых попыток связать их с различными мистическими представлениями.

Лишь с развитием алхимии и фармации в XIII—XIV веке появляются первые научные наблюдения над кристаллами. Получение различных химических веществ в форме кристаллов привело к осознанию факта, что химически-одинаковым веществам свойственны одинаковые по формам кристаллы, различные же вещества образуют кристаллы, различные по формам.

Однако эти первые наблюдения о зависимости формы от состава если и делались отдельными исследователями, то не получали распространения и использования. Действительно, во многих случаях наблюдались факты, когда кристаллы одного и того же вещества обладали различной формой.

§ 3. С эпохи возрождения, с XV века, с разрушением феодализма, с возникновением новых капиталистических производственных отношений естествознание получило толчок к своему развитию. Сдвинулось с места и изучение кристаллов. Оно вызывалось главнейше двумя причинами. С одной стороны, бурный рост горнорудной промышленности толкал на изучение горных пород, руд, минералов. Зарождаются геология, петрография, минералогия. Сталкиваясь с практической необходимостью изучать минералы, внимание исследователей останавливалось не только на химическом составе минералов, но и на их форме, являющейся наиболее заметной особенностью кристаллов минералов.

Отсюда вся история кристаллографии оказалась тесно связанной с историей минералогии, причем главнейшее внимание обращается на форму, на геометрию кристаллов, кристаллы изучаются просто как некоторые геометрические многогранники.

С другой стороны, зарождающаяся химическая промышленность, углубляя химию, заставляет изучать кристаллы и искусственно полученных веществ.

Начатые алхимиками и врачами исследования над выращенными в лаборатории кристаллами получают дальнейшее развитие. Здесь идеи о тесной связи формы кристалла с его химическим составом не забываются, а наоборот, медленно получают дальнейшее углубление. Зарождается та ветвь кристаллографии, которая после стала называться химической кристаллографией.

§ 4. Как уже упоминалось, кристаллы даже одного и того же минерала далеко не всегда оказывались одинаковыми по форме. Иногда они были совершенно одинаковы, иногда только приблизительно походили друг на друга, а иногда не обнаруживали почти никакого внешнего сходства.

Рудное дело поставило практический вопрос: что же именно придает сходство и в чем разница во внешней форме у различных кристаллов того или иного минерала? Вопрос практически очень важный, при решении которого стало бы возможным, исследуя только одну форму, указывать принадлежность различных кристаллов к одному или различным минералам, а отсюда в простейших случаях и определять минерал по его внешней форме. И вот в XVII столетии ряд исследователей, часто совершенно независимо один от другого, находят то общее, что связывает все разнообразие внешних форм кристаллов того или иного вещества.

Общим для кристаллов каждого вещества оказываются углы между соответственными гранями. Это свойство постоянства углов было открыто рядом исследователей на кристаллах различных веществ: Кеплером у снега (1615), Бартолиным у исландского шпата (1669), Левенгуком у гипса (1695), Стеноном у горного хрусталя и гематита (1669). Оно названо законом Стенона-Роме-де-л'Иля. Стенон был первым, высказавшим этот закон в общем виде; Роме-де-л'Иль же (1783), основываясь на произведенных им многочисленных наблюдениях, проверил и экспериментально доказал справедливость этого закона для множества кристаллических веществ.

Более ста лет отделяют исследования Стенона от исследований Роме-де-л'Иля, и эти сто лет уходят на накопление чисто-эмпирических наблюдений над внешней формой различных кристаллов. Наружная форма того или иного минерала изучается просто, как внешний его признак, подобно цвету или весу. Такое чисто-формальное изучение наружной формы кристаллов, без связи с остальными их свойствами, без сколько-нибудь глубоких обобщений, является весьма характерным почти для всего XVIII века.

Если в начале эпохи возрождения естествознание ломало религиозные воззрения, шло против религии, то в этот период оно снова оказалось связанным с нею. Религиозные воззрения об абсолютной неизменности природы, об ее божественном происхождении, наскавозь пропитывали все науки того времени.

Такое мировоззрение находило свое отражение и в науке о кристаллах.

Кристаллы отдельных минералов изучаются как какие-то застывшие, раз навсегда созданные многогранники. Такое изучение приводило лишь к мало удачным формальным схемам и классификациям (Кеплер 1723, Линней и Келер 1749 и др.).

Если отдельными учеными и делались более глубокие исследования и обобщения о свойствах кристаллов, то они, оторванные от производства, от практических нужд,

или просто не оставляли никакого следа или даже, как противоречащие общепринятым метафизическим взглядам, признавались неверными.

Так было с Э. Бартолиным, открывшим явление двойного лучепреломления в кристаллах исландского шпата (1670). Это явление, лежащее в основе всей кристаллооптики, особой комиссией, в которую входили такие авторитеты, как И. Ньютон, Р. Бойль и Р. Гук, было признано случайным и не отвечающим действительности.

Так было и с Х. Гюйгенсом, открывшим аналогичное явление в кварце и расширившим наблюдения над исландским шпатом (1691). Гюйгенс впервые обнаружил, что физические свойства кристаллов различны по различным направлениям. Так, лучи света по непараллельным направлениям проходят через кристаллы с неодинаковыми скоростями, по параллельным же направлениям — с одинаковыми скоростями. Гюйгенс высказывает мысль, что это изменение в свойствах лучей в зависимости от направления, по которому идут эти лучи, связано с внутренней структурой кристаллов, дает схему этой структуры, одну из первых попыток уяснить строение кристаллического вещества, и объясняет наблюдаемые оптические явления своей теорией волнообразного движения эфира. Как известно, теории Гюйгенса не нашли отклика у современников, были признаны неправильными, и его работы надолго забыты.

В аналогичном положении оказались и работы нескольких ученых (Герман 1707, Кантон 1759, В. Уильсон 1762, петербургский академик Эпинус 1762), исследовавших открытую ими способность кристаллов турмалина электризоваться при нагревании или охлаждении (явление пирозлектричества).

Приведенных примеров достаточно, чтобы характеризовать консервативный застой кристаллографии XVIII века.

Второй период

§ 5. Во второй половине XVIII века естествознание все чаще и чаще начинает сталкиваться с фактами, которые не укладываются в прежние схемы. В естествознании возникают новые взгляды, взгляды об изменчивости природы, об ее вечном движении, возникают различные теории ее развития.

Развитие производственных отношений толкает естествознание вперед, новые взгляды дают возможность глубже и глубже познавать природу, и несмотря на то, что ученые продолжают придерживаться метафизических мировоззрений, налицо возрастающий ряд научных достижений и открытий.

К ним прежде всего следует отнести открытия Гаюи (René Just Haüy), француза, врашавшегося среди того круга парижских ученых, которые во главе с Лавуазье прокладывали новые пути в науке.

Углубляя работы упоминавшегося уже Роме-де-л'Иля, Гаюи окончательно утверждает понятия о симметрии кристаллических многогранников, обобщает эти понятия и на физические свойства кристаллов и приходит к мысли о том, что форма кристаллов обусловлена их внутренним строением, является следствием правильного расположения молекул, слагающих кристалл (1784). Так например кристалл каменной соли Гаюи представлял себе сложением из мельчайших кубических частиц, которые, плотно прилегая друг к другу, дают кубические кристаллы. Существование на кристаллах граней, косо расположенных к сторонам этих мельчайших кубиков, объяснялось закономерным ступенчатым убыванием их рядов.

В этой теории строения кристаллов введено лишнее неверное усложнение о форме частиц, слагающих кристаллическое вещество. Указание же на правильное закономерное расположение этих частиц параллельными рядами является глубоко обоснованным и вполне отвечает действительности.

Несмотря на все несовершенства теории Гаюи, непосредственным следствием этой теории является так называемый закон рациональности параметров. Этот закон является основным важнейшим законом всей кристаллографии и аналогичен по своему значению и отчасти и по содержанию закону Дальтона в химии. Он позволяет количественно связать друг с другом разнообразные грани кристаллических многогранников, ставит их изучение на твердый научный базис.

Широко воспользовавшись богатейшими экспериментальными данными Ромэ-де-л'Иля, Гаюи проверил найденный им закон на множестве кристаллов, и это позволило ему дополнить этот закон еще и чисто-эмпирическими выводами.

§ 6. Кристаллография не пошла теми новыми путями, которые прокладывал Гаюи. Значительно больший авторитет приобрела другая школа, связанная с минералогическими кафедрами многочисленных немецких университетов. Эта школа, школа прямых продолжателей метафизических работ ученых XVIII века, попрежнему занималась формальным изучением внешней формы кристаллов.

Метафизические описательные методы изучения минералогии, петрографии, зоологии, ботаники и других наук о природе целиком переносились и на кристаллографию.

Некоторые углубление эмпирических исследований симметрии кристаллических многогранников позволило создать классификацию кристаллов, разделив их вначале на 6 систем (сингоний), а затем и на виды симметрии (Бернгарди 1807, Вейсс 1815).

Открытые же Вейссом простые геометрические соотношения между различными гранями каждого кристалла (закон Вейсса 1804) хотя и являлись лишь своеобразным новым выражением закона параметров Гаюи, послужили началом для удобного обозначения граней кристалла символами (Вейсс 1809, Нейманн 1823, Уэвель 1825, Науманн 1846).

Создание классификации и введение символов чрезвычайно помогло развитию формальной кристаллографии. Самое слово „кристаллография“ буквально значит „описание кристаллов“ и вполне отвечает тем целям и задачам, какие ставила перед собой немецкая школа. Исследование кристаллов сводилось к их измерению, отнесению к той или иной рубрике формальной классификации, определению внешних форм кристаллических многогранников и вычислению этих форм. Кристаллография вырождалась в кристаллометрию ¹⁾ (Науман 1797—1873, Леви 1794—1841, Кокшаров 1818—1893 и др.)

К сожалению, это направление очень долго пользовалось исключительным авторитетом, тормозя проникновение в кристаллографию новых научных данных, стоящих в противоречии с метафизическими представлениями этой школы.

Нельзя конечно отрицать и положительного значения накопления всего того колоссального опытного материала, данного кропотливыми исследованиями работников этой школы и собранных теперь в прекрасные сводки Грота (1906—1920) и Гольдшмидта (1913—1923).

Весь этот фактический материал послужил, да и сейчас продолжает служить для целого ряда глубоких обобщений и практически важных приложений, из которых самым значительным является возможность определять неизвестное вещество по формам его кристаллов (Е. С. Федоров 1919, А. К. Болдырев 1924, Баркер 1930).

Кроме того с накоплением фактических данных совершенствовались и методы и точность измерений. Инструмент для измерения кристаллов — гониометр из простого прибора, состоящего из двух шарнирно связанных линеек (Каранжо 1780), постепенно видоизменяясь и совершенствуясь, превратился в весьма точный инструмент (Волластон 1809, Митчерлих 1820, Бабинэ 1839, Вебский 1879).

Совершенствовались и методы определений символов граней и связанные с ними различные вычисления (Квенштедт 1873, Миллер 1835, Леви и др.).

§ 7. Однако не целиком все изучение кристаллов производилось по шаблонам немецкой школы.

С начала XIX в. появляется и целый ряд работ нового направления.

Практические вопросы получения соды в заводском масштабе толкают Леблана (изобретателя первого технического способа ее приготовления) на научные эксперименты по искусственному получению кристаллов из растворов.

Его опыты приводят к весьма глубоким выводам о зависимости кристаллов от физико-химической обстановки, при которой они образуются (1802). Эти работы и им аналогичные (Беден 1810, Франкенгейм 1830) показали, что кристаллы не есть какие-то вечные определенные многогранники, но что все их существование, воз-

¹⁾ Термин, предложенный Науманом.

нигновение и уничтожение целиком зависят от изменчивых физико-химических условий (температуры, давления и т. д.). С изменением этих условий изменяются и кристаллы, изменяется даже их внешняя форма.

В отличие от работ минералогической школы, эти работы, тесно сближавшие кристаллографию с химией, открывали широкие пути для дальнейшего плодотворного развития науки. И недаром Ф. Энгельс (1880) классифицировал кристаллографию, вопреки общераспространенным в его время взглядам, не как геологическую науку, а как науку химическую.

Но не одними только внешними условиями, не одной только внешней окружающей средой обусловлена форма кристалла. Она зависит, как на то указывал еще Гаюи, и от внутреннего строения. Упомянувшиеся ранее теории Гаюи были далеко не совершенны и встретили ряд возражений (Бертолле 1803, Вейсс 1809 и др.).

Поэтому, когда практические нужды метеорологии погребовали решения некоторых вопросов о кристаллизации и строении льда и снега, Огюст Бравэ, французский мореплыватель и астроном, отбросил из теории Гаюи неверные представления последнего о форме слагающих кристаллы молекул. В созданной Бравэ теории простейшей решетки (1848) вскрывается лишь правильность в расположении молекул или атомов, образующих в кристалле системы параллельных рядов. А так как о форме частиц, слагающих кристалл, нельзя сделать почти никаких предположений, то Бравэ заменил рассмотрение этих частиц рассмотрением лишь отдельных точек этих частиц, например рассмотрением лишь их центров тяжести.

Замена частиц математическими точками чрезвычайно плодотворно отразилась на дальнейшем углублении теории структуры, позволив свести ряд вопросов в плоскость математики.

Так, работы по теории структуры дали возможность глубокого понимания законов симметрии (Франкенгейм 1835, Деляфосс 1843, Бравэ 1848). Обратное, строгая разработка этих законов (Гессель 1830, Гадолин 1867) позволила еще глубже разработать в структуре кристаллов (Зонке 1879, Барлоу 1883).

Изучение различных внутренних свойств кристаллов шло и другим путем.

Особенных успехов быстро достигло исследование оптических свойств (Гаюи 1788, Малюс 1808, Араго 1811, Брюстер 1813 и др.). Однако только Френелю (1818—1823), французскому инженеру, удалось объяснить сущность явлений прохождения света через кристаллы. Широко воспользовавшись для своих выводов волновой теорией Гюйгенса, он блестяще применил ее к явлениям кристаллооптики, разработав так называемую теорию эллипсоида.

Теория эллипсоида, являющаяся сейчас основой всей кристаллооптики, позволила Френелю указать на теснейшую связь оптических явлений со строением кристалла, с его симметрией.

Изучение других физических свойств кристаллов (Митчерлих 1825, Стокс 1851 и др.) показало, что теория эллипсоида применима и к теплопроводности кристаллов, и к термическому расширению, и может быть к магнитным и электрическим явлениям. Таким образом целая группа различных, ранее независимых друг от друга явлений оказалась связанной общими зависимостями, причем даже внешняя форма кристаллов оказывается взаимосвязанной с ними законами симметрии.

Таким образом в XIX веке, параллельно с главенствующими метафизическими работами эмпиристов, в кристаллографию проникает все большее и большее количество работ, доказывающих взаимную общую связь различных явлений, доказывающих отсутствие абсолютных неподвижных рамок у различных частей одного целого, доказывающих наличие диалектики в природе.

Третий период

§ 8. Большое поражение авторитету минералогической школы было нанесено работами русских кристаллографов: Е. С. Федорова (1853—1919) и Г. В. Вульфа (1862—1925).

С самого раннего ознакомления с кристаллографией Федоровым была ясно понята ее теснейшая связь с математикой, с геометрией; понятно то, что без твердой

математической основы невозможно глубокое понимание свойств кристаллического вещества. Поэтому первые работы Е. С. Федорова явились углублением и расширением исследований в области математического учения о симметрии и во взаимно связанной с нею теории структуры кристаллов.

Созданная им, так называемая теория параллелоэдров (1881—1883) позволила ему, с одной стороны, найти все четыре типа пространственного расположения атомов в кристаллическом веществе, с другой стороны — помогла разобраться во всех 230 различных случаях этого расположения (1884—1890).

К этому же результату почти одновременно пришел и немецкий математик Шенфлис (1886), углублявший работы Зонке.

Найденные Федоровым четыре типа структуры кристаллов связали разобщенные прежними классификациями кристаллы с различной симметрией. Разработанное им учение о растяжениях и сдвигах выявило постепенные переходы различных случаев кристаллического строения, показало аналогию и близость форм кристаллов, ранее считавшихся совершенно различными. Эта близость, вскрытая его законом кристаллографических пределов, связала кристаллы всех кристаллических веществ в одно неразрывное целое. Этим был устранен Федоровым характер случайности при обозначении граней символами. Ранее в основу определения символов клались случайные субъективные признаки, и у разных авторов одни и те же грани получали разное обозначение. Они являлись просто условными знаками, символами в полном смысле этого слова, не отражавшими в себе какой-либо объективной реальности, лишь формально связывающими между собою различные грани. Федоровская структурная установка кристаллов, даже со всеми допущенными в ней несовершенствами, дала новое глубокое содержание символам граней кристаллов. Каждая грань получает тот или иной символ в зависимости не от случайно выбранной по личному вкусу исследователя основы; основой у Федорова явилось внутреннее строение, структура кристаллического вещества.

Из всех этих взаимно связанных работ: углубленного учения о симметрии и структуре кристаллов, закона кристаллографических пределов и наконец однозначной структурной установки, из этих работ, связывающих весь мир кристаллов в общее целое, как следствие вытекала естественная классификация всех кристаллических веществ.

Создание этой рациональной классификации представляет совершенно исключительную заслугу Федорова, представляет собою важнейший этап в кристаллографии.

Однако окончательным завершением гениального творчества Федорова является вытекавшая из созданной им классификации возможность определять вещество по формам его кристаллов. Этот новый метод познания природы, названный им кристалло-химическим анализом, дал наконец содержание и смысл всему колоссальному фактическому материалу, кропотливо накопленному учеными-эмпириками немецкой минералогической школы.

Федоров пишет:

«...Ничтожно значение самого обширного научного материала, даже когда на получение его затрачено непомерное количество труда, при самом напряженном внимании к устранению всякого рода ошибок, если только к этому материалу не прикоснулся хотя бы самый легкий труд особого рода, труд по приведению этого материала в особый порядок...»¹⁾, и это замечание очень хорошо подходит к работам самого Федорова, благодаря которым не только сделались нужными собранные фактические данные, но получила смысл и дальнейшая работа по сбору эмпирического материала.

Поэтому внимание Федорова постоянно обращалось на улучшение методов кристаллографических исследований. И в этой области он дал исключительные по своему значению изобретения и открытия.

¹⁾ Е. С. Федоров. Относительная роль добывания сырого материала и добавочного специализированного труда в науке. „Природа“, 1919 г.

Теодолитный гониометр, изобретенный одновременно, но независимо друг от друга Федоровым, Гольдшмидтом и Чапским (1883), чрезвычайно упростил измерения кристаллов.

Применение методов новой геометрии дало возможность Федорову широко использовать различные способы проектирования кристаллов и заменять сложные вычисления простыми графическими операциями.

Однако и в области вычислений кристаллов им были даны новые, простые методы работы.

Наконец изобретенный Федоровым универсальный оптический столик создал совершенно новый простой способ изучения оптических свойств кристаллов.

Федоров обладал гениальной способностью применять в кристаллографии методы и достижения других наук, до этого казавшихся совершенно несвязанными с кристаллографией. Он ясно понимал внутреннюю связь и единство различных наук, умел ориентироваться в пограничных областях знания, раскрывая и широко используя взаимопропонижение различных наук друг в друга.

Однако его работы, вносящие новые методы, новые взгляды, насквозь пропитанные стихийной диалектикой, встечали постоянные возражения официальных представителей науки, и сам Федоров был долго отстраняем от официальной кристаллографии. Если в первом периоде жизни Федоров принимал непосредственное участие в борьбе с существовавшим государственным строем, то во втором периоде ему приходилось упорно бороться в области науки.

Против эмпиризма, против чисто-индуктивных методов работы, борьба за внедрение дедуктивного метода, за сочетание опыта с дедуктивными выводами — вот вкратце характерные черты научных тенденций, упорно проводимых Федоровым.

§ 9. Одновременно с Федоровым протекала и деятельность другого русского ученого Г. В. Вульфа, также шедшая в разрез с официальными течениями кристаллографии. Совершенно не связанный с петрографо-минералогической школой, Вульф всегда подчеркивал, что кристаллы необходимо изучать не так, как это ранее делалось, оторванно от окружающей их среды, вне связи с процессами кристаллообразования.

Развивая и углубляя работы Джиббса (1867) и П. Кюри (1885), он вскрывает тесную связь между формой кристалла и внешними физико-химическими условиями существования кристалла, вскрывает изменчивость кристаллов.

Вульф подчеркивает, что и чисто-«физические» явления сопровождаются изменениями в веществе, в его частицах, в его форме», подчеркивает тесное взаимопропонижение физики и кристаллографии.

§ 10. Развитие и распространение новых взглядов в кристаллографии обратило внимание физиков.

Благодаря мюнхенскому кристаллографу Гроту, широко распространявшему результаты работ и взгляды Федорова и других передовых кристаллографов, ряд физиков в своих работах начинает освещать вопросы, пограничные между физикой и кристаллографией.

Среди этих работ выделяется своим совершенно необычайным значением гениальное открытие Лауэ (1912), немецкого физика, жившего в Мюнхене, в городе, в котором работали и физик Рентген и кристаллограф Грот.

Открытие Лауэ, воспользовавшегося кристаллами для изучения рентгеновских лучей, следует считать одним из самых гениальных научных достижений XX века.

С помощью рентгеновских лучей оказалось возможным экспериментально определять структуру, пространственное расположение атомов в кристаллах.

Дедуктивные выводы Бравэ, Федорова, Шенфлиса и других теоретиков получили опытную проверку. Изучение кристаллов стало на новую ступень.

Современный период и задачи кристаллографии

§ 11. Теория явлений вскоре была упрощена Браггами и Вульфом. Браггами же, Дебаем, Шеррером, Хеллем, Шибольдом, Зигбаном и другими была усовершенствована методика исследований, и в настоящее время рентгенометрия кристаллов стоит в центре внимания кристаллографии.

Рентгенометрия кристаллов не случайно завоевала себе такое место, это не просто новая методика исследования. Рентгенометрия позволила практически изучать и определять структуру; пространственную решетку кристаллического вещества. А ведь именно пространственная решетка дает кристаллографии право на существование как самостоятельной науки. Только пространственной решеткой обусловлена специфичность физических законов, а отсюда и самостоятельность отрасли физики, изучающей эти законы. И вот рентгенометрия кристаллов дала наконец возможность практически весьма подробно, детально исследовать, почти видеть эту решетку. Это конечно ставит на совсем новую ступень изучение всего кристаллического вещества.

Задачи, о которых раньше трудно было даже мечтать, получают теперь вполне конкретные формы и содержание.

Свойства кристаллического вещества, изучавшиеся раньше почти эмпирически, получают теперь возможность гораздо более глубокого исследования. Если раньше отдельные смелые гипотезы и пытались разъяснить те или иные свойства их строением, то теперь эту связь можно будет проследить гораздо глубже.

Круг вопросов, объединяемых физической кристаллографией, требует теперь своего дальнейшего углубления, — возникает целая группа задач о связи физических свойств вещества с его структурой, с его строением.

Среди них можно указать на важную проблему кристаллооптики. Не эмпирическое констатирование оптических свойств того или иного вещества, но проникновение в самую сущность оптических явлений, объяснение этих явлений, возможность предвычислять их, связать оптические явления со строением вещества, найти зависимость оптических свойств от структуры, выяснить влияние строения на изменчивость этих свойств, — вот круг вопросов, выдвигаемых кристаллографией в этой области.

В области изучения электрических свойств встают аналогичные задачи. Механизм максвелловского «электрического смещения», явления электролиза, пьезоэлектричество кристаллов — все это требует нахождения связи этих явлений с геометрией вещества, со строением.

Механические свойства вещества также требуют к себе внимания. Твердость, спайность, сцепление, упругость, изгиб и другие деформации — все это должно изучаться не только эмпирически, но в тесной связи со строением вещества, которое и обуславливает механические свойства.

Аналогичное можно было бы сказать и о тепловых, и магнитных, и о других физических явлениях, подлежащих дальнейшему изучению.

Это одна группа проблем — группа физических проблем, связывающих физику явлений с их геометрией.

§ 12. Второй группой является группа химических проблем. Пространственная решетка, которой слагается кристаллическое вещество, состоит не просто из плоских сеток, рядов и узлов, но плоских сеток, рядов и узлов определенного качества. Узлы пространственной решетки теперь уже не просто абстрактные, математические точки, но вполне реальные атомы или ионы определенных химических элементов. Те или иные типы решеток могут слагаться веществами не любой химической формулы, но только определенного химического состава. Качество атомов, слагающих пространственную решетку, подчиняет себе форму этой решетки.

Связь между формой и химическим составом, изучение ее как для целей диагностики (кристаллографический диагноз), так и для определения законов, которыми обусловлена именно та, а не другая форма решетки того или иного элемента или химического соединения, практическое и теоретическое исследование и объяснение этих законов — вот широчайший круг проблем, выдвигаемых современной кристаллохимией.

И эти проблемы тесно соприкасаются и отчасти сливаются с самыми глубокими проблемами познания строения материи вообще, с проблемами строения атома, его электронов.

§ 13. Наконец не менее обширную группу проблем составляют проблемы, связанные с физико-химическими явлениями. Возникновение, все существование вплоть до разрушения кристаллического вещества обусловлено физико-химическими факторами.

Вопросы кристаллизации, вопросы возникновения кристаллов, механизм возникновения и разрушения плоских сеток пространственной решетки, вопросы перекристаллизации, совместной кристаллизации и сосуществования различных веществ в настоящее время освещены еще очень мало. Влияние физико-химических факторов, влияние окружающей среды на пространственную решетку почти не прослежено. А это влияние, как известно, огромно. Скорость и качество образования тех или иных плоских сеток пространственной решетки обуславливается в очень большой степени окружающей физико-химической обстановкой. А следствием различия в скоростях образования тех или иных плоских сеток является «габитус», внешняя форма кристалла. Таким образом проблемы внешней формы кристалла являются одними из центральных в этой области. Здесь как получение фактического материала и его систематизация, так и нахождение законов и их объяснение требуют самого серьезного внимания.

Вот вкратце задачи третьей группы, группы физико-химических проблем.

Конечно, не следует думать, что эти три группы не связаны друг с другом. Конечно, нельзя изучать например оптические свойства кристаллического вещества, не соприкасаясь при этом с вопросами о качестве атомов, слагающих это вещество, и с вопросами физико-химических условий его существования. Все три группы проблем очень тесно переплетаются друг с другом.

§ 14. Конечно, постановка проблем не является еще достаточным условием их разрешения. Для этого необходима большая и упорная работа, совместная работа кристаллографов, физиков, химиков, минералогов и петрографов. Необходимо дальнейшее теоретическое углубление математического базиса геометрии решетки, необходима дальнейшая разработка, развитие и усовершенствование существующих и может быть новых методик исследований, необходимо дальнейшее накопление и чисто-эмпирического материала, необходима большая работа по дальнейшей систематизации и классификации существующих фактических данных. И эти задачи также не должны оставаться в стороне от внимания исследователей, они также являются необходимыми для разрешения глубоких проблем, стоящих перед наукой.

Эти проблемы мы рассмотрели как проблемы, внутренне присущие самой кристаллографии, вытекающие из всего ее исторического прошлого, обусловленные современной степенью развития этой науки. Но нельзя думать, что эти задачи являются чем-то особым, оторванным от задач и проблем не кристаллографических, от задач и проблем, выдвигаемых современной жизнью.

Весь исторический процесс развития кристаллографии совершался не оторванно от жизни; экономика непрерывно или непосредственно или через посредство других наук обуславливала развитие кристаллографии. Поэтому и проблемы, стоящие сейчас перед наукой, не могут не совпадать с проблемами, выдвигаемыми экономикой сегодняшнего дня, с проблемами, выдвигаемыми нашей хозяйственной жизнью.

Действительно, индустриализация страны в целом создает условия бурного развития целого ряда отраслей народного хозяйства.

Проблема минерального сырья ставит ответственные задачи перед горным и геолого-разведочным делом. При исследовании земной коры, при исследовании как осадочных, так и изверженных горных пород, как месторождений полезных ископаемых, так и общей картины строения и жизни земной коры, геолого-разведочное дело практически наталкивается на целый ряд вопросов, поставленных кристаллографией.

Вопросы связей внешней формы кристаллов с условиями образования того или иного месторождения, вопросы кристаллизации магмы, перекристаллизации являются чрезвычайно важными для этой отрасли народного хозяйства. Углубление проблем геолого-разведочного и горного дела требует решения целого ряда задач минералогических, петрографических и геохимических. Последние же науки, для своих выводов требуют совершенно четких ответов по целому ряду вопросов кристаллографии. Кроме вопросов физико-химического порядка, проблемы кристаллохимии также являются исключительно существенными для этих наук. Так, исследование полезных ископаемых опирается на представления, связанные с изучением истории возникновения, законов распределения и миграции химических элементов земного шара. Эти

вопросы, как и тесно с ними связанные вопросы парагенезиса, изоморфизма, морфотропии и полиморфизма, изучаются современной геохимией на основе кристаллохимических представлений о природе вещества. Геохимия настоятельно требует дальнейшей разработки этих представлений. Вопросы конституции минералов также принадлежат к важнейшим проблемам кристаллохимии. Работы кристаллографов, посвященные этому, являются ценнейшими для минералогии и разрешают фундаментальные вопросы, до настоящего времени бывшие спорными и неясными.

§ 15. Развитие металлургии требует от кристаллографии также разрешения ряда практически-важных задач. И здесь четкое значение свойств и конституции минералов и руд совершенно необходимо для правильного подхода к вопросам обогащения и плавки. Но кроме того здесь требуют своего разрешения еще проблемы, связанные с получаемым металлом. Практика использования металла предъявляет к его качеству определенные требования. Для того чтобы мы могли подчинить себе и управлять этим качеством, необходимо самое глубокое исследование всех факторов, его определяющих. И мы снова возвращаемся к вопросам о кристаллизации, к физико-химической группе проблем, выдвигаемых кристаллографией. Строение сплавов, вопросы полиморфизма, изоморфизма, твердых растворов и целый ряд других вопросов являются общими как для металлографии, так и для кристаллографии, и вместе с тем являются насущными и нужными для промышленности.

Кроме того здесь особенно выпукло обрисовывается другая сторона — физические свойства являются функцией строения вещества, а потому группа проблем о связи физических (особенно механических) свойств со структурой выявляется здесь во всей своей практической значимости. Для правильного понимания процессов прокатки,ковки, литья, сварки, изучение структуры металлов совершенно необходимо.

§ 16. Химизация страны ставит ряд практических задач перед различными отраслями химической промышленности. Для их разрешения опять-таки приходится прибегать за помощью к кристаллографии. Проблемы химической кристаллографии частью совпадают, частью являются углублением и развитием проблем, выдвигаемых практикой химической промышленности.

Сахарной, керамической, военной, оптической промышленностью, радиотехникой непрерывно выдвигаются самые различные задачи, имеющие непосредственное отношение к кристаллографии, задачи, являющиеся одинаково важными как для переносимых отраслей, так и для самой кристаллографии как науки.

Таким образом проблемы кристаллографии являются насущными жизненными проблемами, их разрешение необходимо не для одной кристаллографии, их разрешения требуют самые различные отрасли народного хозяйства, их разрешения требует вся экономика нашей страны.

Федоровский институт.

1933 г.

Résumé.

Dans le référent en forme serrée et sommaire s'exposent l'histoire de la cristallographie, ses principales tendances et les progrès du dernier temps. Cette base sert pour l'examen des problèmes de cristallographie à résoudre centormément aux demandes de l'industrie.