

АКАДЕМИЯ НАУК СССР



РЕДКОЛЛЕТИЯ СЕРИИ «НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»
И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ АН СССР
ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

*Л. Я. Бляхер, А. Т. Григорьян, Б. М. Кедров,
Б. Г. Кузнецов, В. И. Кузнецов, А. И. Купцов,
Б. В. Левшин, С. Р. Микулинский, Д. В. Ознобишин,
З. К. Соколовская (ученый секретарь), В. Н. Сокольский,
Ю. И. Соловьев, А. С. Федоров (зам. председателя),
И. А. Федосеев (зам. председателя),
Н. А. Фигуровский (зам. председателя),
А. А. Чеканов, С. В. Шухардин, А. П. Юшкевич,
А. Л. Яншин (председатель), М. Г. Ярошевский*

**М. П. Шаскольская
И. И. Шафрановский**

**Рене Жюст
ГАЮИ**

1743—1822



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1981

Ш 27 Паскольская М. П., Шафрановский И. И.
Рене Жюст Гаюи (1743—1822).— М.: Наука, 1981.—
152 с., ил.— (Научные биографии).

Книга посвящена жизни и деятельности выдающегося французского ученого, одного из основоположников кристаллографии Рене Жюста Гаюи. С его именем связаны закон рациональности параметров, теория структуры кристаллов. Творчество Гаюи оказало огромное влияние на развитие геолого-минералогических наук. По его классическим курсам кристаллографии, минералогии, физики занималось не одно поколение студентов. В книгу включен также очерк о брате ученого Валентине Гаюи, создателе метода обучения слепых.

16.1

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
Г. Б. БОКИЙ

© Издательство «Наука», 1981 г.

Ш $\frac{20100-249}{054(02)-81}$ 56—81 НП 1601000000

Введение

Рене Жюст Гаюи — основатель первой научной теории строения кристаллов — всемирно известен. С его именем связан один из основных законов геометрической кристаллографии — рациональных отношений параметров, или закон целых и малых чисел.

В отличие от многих ученых-предшественников, догадывавшихся об элементарных частицах, но приписывавших им сферическую форму, Гаюи, исходя из наблюдения явления спайности в кристаллах, пытался воссоздать структуру кристаллов, слагая их из «молекулярных полиэдров». Несмотря на всю наивность (с современной точки зрения) такой попытки, теория Гаюи привела к развитию позднейших теорий и в ряде вопросов их предвосхитила. Главное ее значение заключается в том, что его последователи (О. Браве и др.), заменив полиэдры их центрами, пришли к решетчатой теории строения кристаллов, лежащей в основе современной структурной кристаллографии.

Гаюи одним из первых обратил внимание на поразительные законы симметрии в огранении кристаллов и тем самым положил начало симметричному направлению, играющему в настоящее время первенствующую роль в физической и геометрической кристаллографии и в практических применениях кристаллов.

Классические курсы минералогии и кристаллографии Гаюи в свое время служили образцами для написания соответствующих руководств во многих странах, в том числе и в России. По его учебникам кристаллографии, минералогии, физики училось несколько поколений.

Он принадлежит к той плеяде ученых, которые содействовали бурному расцвету науки во Франции в период Французской буржуазной революции конца XVIII в., и в его трудах как в зеркале отражены великие свершения той эпохи.

Полного жизнеописания Рене Жюста Гаюи на русском языке еще не было, поэтому авторы сочли желательным познакомить советских читателей с этим талантливым ученым.

В книгу о Р. Ж. Гаюи мы включили также очерк о его брате Валентине Гаюи. Ученый и педагог, один из основателей метода обучения слепых детей, предшественник изобретателя шрифта для слепых Луи Брайля, он много лет работал в России. Его жизнь совсем не известна современным читателям.

В заключение следует указать, что фамилию На́йу иногда пишут как АЮИ. В Большой Советской Энциклопедии принята транскрипция АЮИ для Рене Жюста, но ГАЮИ для его брата Валентина. Хотя, по-видимому, АЮИ точнее передает французское звучание фамилии, но мы решили придерживаться транскрипции ГАЮИ, принятой в учебниках кристаллографии.

Юность и начало научной деятельности

В семье небогатого суконщика Гаюи, жившего в городке Сен-Жюст-ан-Шоссе, недалеко от Парижа, было два сына: старший Рене Жюст родился 28 февраля 1743 г., младший Валентин — 13 ноября 1745 г. Оба они прожили долгую жизнь. Рене Жюст стал одним из основоположников кристаллографии, Валентин — создателем метода обучения слепых и основателем Института слепых в Париже. Однако слава Рене Жюста затмила заслуги брата.

С детских лет братья были непохожи друг на друга: Рене Жюст маленький, худенький, невзрачный, часто болел. Валентин, напротив, внешне привлекательный, отличался крепким здоровьем. Оба брата воспитывались в монастырской школе и пели там в церковном хоре. Рене Жюст столь выделялся своей набожностью и прилежанием, что настоятель аббатства посоветовал родителям вести ребенка в столицу, чтобы дать ему духовное образование. Собрав скудные пожитки и средства, семья переехала в Париж. Здесь мальчика удалось определить в церковный хор. Ему была обеспечена стипендия в Наваррской духовной коллегии, где он изучал преимущественно теологию и готовился к сану аббата. Валентин, не выказывавший религиозного рвения, продолжал свое образование в школе каллиграфии, затем стал изучать иностранные языки. Жизненные пути братьев разошлись. К млад-

шему мы вернемся позже, а сейчас продолжим рассказ о старшем.

Вспоминая о том, как он пел мальчиком в церковном хоре, Рене Жюст впоследствии говорил: «Это место было приятно хотя бы тем, что оно не дало угаснуть моим музыкальным способностям» [1]. И действительно, игра на скрипке и клавесине стала его излюбленным занятием на всю жизнь.

В Наваррской духовной коллегии попутно с теологией Рене Жюст увлекся экспериментальной физикой под руководством одного из профессоров коллегии Матурина Бриссо (1723—1806) и на досуге охотно занимался опытами по электричеству.

Отменное прилежание, трудоспособность и успехи в богословии Рене Жюста не остались без внимания — по окончании ему было предложено остаться при Наваррской духовной коллегии для продолжения образования (говоря современным языком, в аспирантуре). Юноша посещал лекции в Сорбонне, сдавал там экзамены и на 22-м году жизни был удостоен ученой степени лиценциата, после чего получил должность учителя четвертого (грамматического) класса в той же коллегии. В 27 лет он был возведен в сан аббата, стал каноником коллегиальной церкви Сент-Морис-д-Уарон, произошло повышение и по службе — он перешел в коллегию Лемуан на должность учителя второго класса. (Во Франции нумерация классов в училищах противоположна нашей: чем больше номер, тем младше класс; первым считается самый старший класс.)

Жизнь учителя латыни и богословия протекала тихо и незаметно. Неторопливые движения, тихий голос и приветливая улыбка, всегда в черной, строгой сутане — таким описывали Гаюи его современники. Скучные трапезы да церковная служба — и так изо дня в день. Единственное развлечение — игра на клавесине или скрипке в часы редкого вечернего досуга да прогулки в Ботаническом саду, соседствовавшем с коллегией. Во время этих прогулок молодой аббат нашел себе спутника, такого же, как он, учителя коллегии, Шарля Ломонда (1727—1794). И хотя он был намного старше Гаюи, между двумя священнослужителями вскоре возникла тесная дружба.

Ломонд преподавал французскую и латинскую словесность и грамматику, однако основным его призванием и подлинной страстью была ботаника. В Ботаническом саду он увлеченно изучал растения. Гаюи же вначале не раз-

делял этого интереса своего старшего друга и откровенно скучал, слушая его восторженные речи о премудростях ботаники. Случилось, однако, что на каникулах в родном городе аббату Гаюи довелось встретиться еще с одним любителем ботаники, местным священником. Как и для Ломонда, для него не было большей радости, чем собирать растения и восхищенно говорить о них с любым собеседником. То ли сен-жюстский аббат оказался красноречивее, чем Ломонд, то ли цветы на лугах его детства тронули чуткие струны в душе Гаюи, но по возвращении в Париж на первой же совместной прогулке Гаюи поразил Ломонда тем, что уже знал названия большинства встречавшихся им цветов и отлично разбирался в линнеевской классификации растений — вершине ботанической науки того времени.

Ломонд и Гаюи и раньше были неразлучны, теперь же они сдружились еще теснее, ибо отныне Гаюи полностью разделял страстное увлечение ботаникой. Он тоже стал натуралистом, и притом натуралистом неутомимым. В короткое время он собрал гербарий, содержавший около 1500 растений, встречавшихся в окрестностях Парижа. Он выработал для этого свои приемы засушивания цветов, позволявшие сохранить их окраски.

Вспыхнувшая страсть к ботанике и давняя увлеченность экспериментальной физикой все больше занимали Гаюи. И хотя по-прежнему его отличала добросовестность в преподавании латыни и в исполнении церковных служб, но интересы естествоиспытателя брали верх. Этому способствовали и новые знакомства, завязывавшиеся в саду, где часто прогуливались друзья.

Ботанический сад был создан в Париже по королевскому приказу в середине XVII в. для выращивания лекарственных растений. Здесь ученые изучали свойства медицинских трав, молодежь постигала законы физики и химии в связи с изготовлением лекарств. При саде имелся кабинет — своего рода кунсткамера, где, как было сказано в королевском эдикте, коллекционировались «всякие редкие предметы, встречающиеся в природе». Это был беспорядочный набор лекарств, плодов, раковин, чучел животных, ископаемых костей, скелетов, рыб, минералов, оружия и утвари «дикарей» и прочих всевозможных диковинок [2].

С 1740 г. руководство садом было доверено знаменитому натуралисту Жоржу Бюффону (1707—1788). Осу-

ществуя свою многолетнюю программу, Бюффон преобразовал скромный сад в первоклассное научное учреждение. Наряду с ботаническими здесь теперь появились зоологические, палеонтологические и минералогические коллекции; были также представлены сравнительная анатомия и этнография. Приглашенный Бюффоном на должность руководителя кабинета натуралист Луи Жан Мари Добантон (1716—1800) своим кропотливым трудом превратил кабинет в Музей естественной истории, тщательно систематизировав его собрания. «Изучение и приведение в порядок этих сокровищ стало для него подлинной страстью, единственной, быть может, которую когда-либо можно было заметить у него», — писал о нем его современник и биограф Ж. Кювье (1769—1832) [1]. Подробное описание коллекций музея, в значительной части составленное Добантоном, легло в основу знаменитой 44-томной «Естественной истории» Бюффона — энциклопедии XVIII в. После смерти Бюффона в 1788 г. Добантон стал руководителем сада.

В те годы, когда Ломонд и Гаюи, увлеченные дружеской беседой, прогуливались по аллеям сада, в нем культивировалось уже более 2000 растений. Кабинет с его богатейшими коллекциями был регулярно открыт для обозрения. Привлекали много слушателей и лекции, устраивавшиеся здесь.

Гаюи сначала увлекся лекциями профессора химии, академика Пьера Жозефа Маке. Письмо, сохранившееся в архиве Гаюи, свидетельствует, что молодой аббат предложил профессору Маке свои услуги в качестве препаратора при постановке химических опытов [3]. К сожалению, неизвестно, каков был ответ Маке и удалось ли Гаюи работать под его руководством. Но письмо это ценно как свидетельство того, что круг интересов Гаюи к тому времени, как он впервые прослушал лекцию по минералогии Добантона, уже значительно расширился. Рассказ профессора буквально захватил его. Позже Гаюи считал себя учеником Добантона. Он признавался, что «был бы счастлив, будь у меня возможность почерпнуть из его уроков эту верность взгляда, этот точный способ изучать, прослеживать, углублять предмет исследования таким образом, чтобы дать представление о всех точках зрения и не оставить в тени ни одной его стороны» [4].

В учении о формах кристаллов Гаюи нашел объект

изучения, еще более отвечавший его ранней склонности к физике и химии, чем ботаника. Он удивлялся постоянству формы кристаллов, но поскольку она в то время еще никак не связывалась со структурой и описывалась лишь как внешний признак минерала, его поразило отсутствие логической связи в описании многообразных форм и в цепи разнородных фактов, сообщаемых Добантоном.

Можно полагать, что Добантон в своих лекциях, подобно Бюффону, добросовестно описывая минералы, не находил логической связи между их свойствами. Различные формы, в которых может кристаллизоваться один и тот же минерал, оставались для него непостижимо загадочными. Бюффон в первом томе «Естественной истории минералов» писал: «Я наблюдал для известковых шпатов почти бесчисленные вариации в фигурах их кристаллизации. Вообще, форма не имеет постоянного характера, но является более сомнительной и более изменчивой, чем какой-либо другой признак, с помощью которого следует различать минералы» [5].

Как писал сам Гаюи: «Формы кристаллов не способны подчиняться простому порядку. Эти формы ... могут быть использованы только дополнительно, в качестве второстепенных признаков, наряду с теми, которые характеризуют излом, твердость, блеск и т. д. Именно в таком плане они и были применены Добантоном в его методической классификации минерального царства.

Что касается ... установления теории на основе кристаллизации, то, как мне кажется, до сего времени слишком пренебрегали исследованиями, которые позволили бы достичь этой цели» [4].

Поиски внутренней, логической связи между формами кристаллов и их структурой захватили аббата Гаюи. Кювье рассказывает о том, как пришел Гаюи к открытию этой связи:

«Как раз, когда он был одержим этой идеей, по счастливой оплошности, рассматривая разные минералы у одного из своих друзей Дефранса, он уронил красивую друзу кальцита, кристаллизовавшегося в призмах. Одна из этих призм разбилась, но не на призмы, а на мелкие ромбоэдры. Гаюи собрал осколки, рассмотрел их грани, наклон граней, углы. К великому его удивлению, он обнаружил, что они такие же, как у исландского шпата. Новый мир открылся для него сразу. Он вернулся в свой кабинет, взял шпат, кристаллизовавшийся в форме шести-

гранных пирамид, так называемый свиной зуб; он попробовал его разбить и снова обнаружил тот же ромбоэдр, тот же исландский шпат. Осколки снова представляют собой маленькие ромбоэдры; он разбил третий кристалл, который он называет чечевицеобразным; и снова в центре обнаружился ромбоэдр и вокруг него более мелкие ромбоэдры. «Все найдено!» — воскликнул он. Молекулы кальцита имеют одну и ту же единственную форму. Группируясь по-разному, они образуют кристаллы столь различных форм».

Вслед за Кювье эту красивую легенду повторяют все последующие биографы Гаюи. Она сходна с легендой о яблоке Ньютона и столь же верна, как и та. Яблоко, может быть, и падало потому, что оно созрело. А Ньютон открыл закон тяготения не потому, что упало яблоко, а потому, что он пришел к этому закону в итоге длительных рассуждений, где падение яблока было последним, завершающим толчком.

То же можно сказать и о Гаюи. Слушая лекции Добантона, он принял самостоительно изучать кристаллы, чему в немалой степени способствовало знание физики, химии и даже линнеевской классификации в ботанике.

«В то время, когда я начал заниматься изучением структуры кристаллов, мне удалось прочесть мемуар г-на Т. Бергмана о кристаллизации, помещенный в сборнике трудов Академии г. Упсалы от 1779 г. Этот знаменитый химик поставил себе целью свести образование различных кристаллов к форме исландского шпата...

Если бы он таким же образом исследовал другие кристаллы, следуя указаниям природы, если бы он не увлекся чисто теоретическими построениями, не согласующимися с наблюдениями (как это можно увидеть по дискуссии, в которую я вступил с ним по поводу его истолкования пирита с двенадцатью пентагональными гранями), он бы имел честь достигнуть полного успеха в первых удовлетворительных взглядах на структуру кристаллов» [4].

Удивительно, что Гаюи в своей первой монографии не упоминает о том, что его работе предшествовало открытие закона постоянства углов кристаллов Ромэ-Делилем. Ведь Добантон, внимательно следивший за новым в науке, не мог не ссылаться в своих лекциях на первое издание «Опыта кристаллографии» Ромэ-Делиля, вышедшее в 1772 г., и на его последующие статьи.

Известно, что Ромэ-Делиль в 70—80-х годах читал лекции по кристаллографии в Париже, но его имя не встречается среди имен выступавших в музее Бюффона и Добантона. Известно также, что Ромэ-Делиль резко отрицательно отнесся к первым работам Гаюи. Намеркая на Гаюи, искавшего истину в обломках расколотого кристалла, он пишет во введении ко 2-му изданию своей «Кристаллографии» (1883) о «нововводителях в кристаллографии, которых приличнее называть кристаллокластами» (т. е. разбивателями кристаллов) [6].

Упоминая о попытках Т. Бергмана проникнуть в сущность строения кристаллов и гневно споря с Гаюи, своим младшим современником и противником, Ромэ-Делиль восклицает: «Но я полагаю, что, прежде чем пытаться проникнуть в тайну природы, осуществляющей бесконечно разнообразное расположение молекул в любом кристаллическом веществе, следовало бы начать с изучения всех разнообразных форм, которые способен принять один и тот же вид кристалла!» [7, 8].

По Ромэ-Делилю «объектом кристаллографии является познание форм, свойственных всем телам минерального царства» [7]; он описывал и систематизировал формы кристаллов на основе открытого им закона постоянства углов. То была передовая идея, позволившая систематизировать беспорядочную массу накопленных фактов.

В более поздних работах Гаюи неизменно отдавал должное Ромэ-Делилю, называя его «искусным натуралистом, знаменитым ученым», «знаменитым натуралистом». Часто ссылаясь на Ромэ-Делиля, Гаюи говорил, что «его кристаллография — плод громадного труда по своему объему, произведение почти совершенно новое по своему предмету и драгоценное по полезности» [9, 10]. Но это было позже, когда уже можно было оценить второе издание «Кристаллографии» Ромэ-Делиля [11], вышедшее в свет одновременно с «Опытом теории структуры» Гаюи (1883) и отличающееся от первого (1772) [12] зрелостью идеи, систематичностью и научным подходом. Когда же Гаюи начинал свои первые опыты, т. е. в 1780—1781 гг., существовало лишь первое издание книги Ромэ-Делиля, в котором взгляды автора еще неопределенны. Трудно представить, чтобы Гаюи и Ромэ-Делиль не встречались и не беседовали, а может быть, и страстно спорили, но история не сохранила нам рассказов об этом.

Как бы то ни было, Гаюи идейно опередил своего

старшего современника. От внешней формы он перешел к структуре кристалла. «Наблюдения, произведенные тщательно и неоднократно, вызвали во мне желание сделать новый шаг в изучении кристаллов; мне представлялось это тем более интересным, что подобные явления, по-видимому, связаны с одной из общих причин движения тел и с самыми значительными явлениями природы» [4].

Разбивая кристаллы разных форм по плоскостям спайности, Гаюи находит осколки одинаковой формы — маленькие ромбоэдры. Так он приходит к идее о том, что каждый кристалл имеет многогранное ядро и сложен из молекул, повторяющих форму этого ядра. «Известно, что когда молекулы минеральных веществ находятся во взвешенном состоянии в жидкости, обладающей определенной чистотой и плотностью, когда им предоставлено, согласно столь точному определению Добантона, «время, пространство и покой», они обнаруживают тенденцию к взаимному сближению. Сближаясь и соединяясь друг с другом, они образуют в совокупности» кристаллы [4].

Выделив форму многогранного ядра, Гаюи начинает складывать из таких ядер кристаллические многогранники. Его идея заключается в том, что всякое кристаллическое вещество характеризуется своим «ядром», «примитивной формой», неизменной для всех его кристаллов и отличной от соответствующих форм других веществ. В исландском шпате — это ромбоэдр, в гранате и пирите — куб, в плавленом шпате — октаэдр, в гипсе и барите — прямые четырехгранные призмы, но с разными углами их оснований.

Разные кристаллические многогранники складываются из этих примитивных форм, причем число и форма внешних граней кристалла могут сильно отличаться от примитивных граней, поскольку новые слои убывают с той или иной стороны и в той или иной пропорции. Внешние грани кристалла всегда можно рассматривать как результат убывания налагающихся слоев, убывания быстрого или медленного, идущего по ребрам или по вершинам. Грани кристалла — это лесенки, а глазу они кажутся плоскими из-за ничтожной малости ступенек. И хотя это было лишь обобщение наблюдений, а не теория, по сравнению с идеей Т. Бергмана, пытавшегося выводить формы всех кристаллов из одной-единственной формы ромбоэдра, это был огромный шаг вперед. Гаюи понимал, что, как в физике, теория будет достоверной, если сможет точно

объяснить известные факты и с такой же точностью предсказать факты еще неизвестные. Если закон убывания верен, то, следовательно, возможно, зная форму ядра и составных молекул, вычислить заранее углы и формы всех вторичных граней, получающихся в результате послойного наложения с убыванием.

Гаюи принимается за вычисления. Но за 15 лет преподавания латыни и церковных служб он почти забыл то немногое, что знал по геометрии, учась в коллегии. И он вновь берется за книги. Теперь он уже может рассчитать углы между гранями, какие должны получиться, если эти грани строятся из составляющих молекул по закону убывания. Затем он измеряет те же углы на реальных многогранниках с помощью прикладного гониометра, недавно вошедшего в употребление, и получает совпадение. Такие расчеты он проделывает для различных форм кальцита, граната, барита и других кристаллов — и везде углы предвычисленные совпадают с реально наблюдаемыми. Более того, он устанавливает, что в большинстве случаев внешние грани кристаллических многогранников математически выводятся по закону убывания, если считать, что убывание происходит в очень простых, пропорциональных отношениях. Это был уже новый закон, который позже стал известен как закон рациональности параметров, или закон кратных отношений. И, наверно, именно тогда, а не только когда он уронил друзу кальцита, Гаюи мог сказать себе: найдено!

Теперь он решился сообщить о своих открытиях Добантону. «Крайне ценное для меня одобрение,— писал Гаюи,— я получил со стороны господина Добантона, руководившего моими первыми шагами в области изучения естественной истории. Он же оказал мне величайшую услугу, проявив интерес к моей работе и посоветовав представить ее на рассмотрение Академии» [4].

Геометрические построения Гаюи были проверены математиком Безу (1730—1783). И даже знаменитый Лаплас внимательно выслушал Гаюи, похвалил его и побудил к новым исследованиям. Добантон стал излагать теорию Гаюи в своих лекциях. И Добантон, и Безу, и Лаплас рекомендовали Гаюи представить его открытия в Академию наук. 10 января 1781 г. он передал туда свой первый мемуар «О структуре кристаллов граната» [13], а в декабре того же года второй — «О структуре кристаллов исландского шпата» [14].

Скромный регент коллегии был так далек от светской жизни и так мало знал обычаи Академии наук, что явился на доклад в своем повседневном облачении — длинной черной сутане. Никакими уговорами нельзя было убедить Гаюи сменить сутану на светскую одежду даже в день выборов в Академию наук, куда Добантон, Безу и Лаплас выдвинули его кандидатуру. Друзья боялись, что это одеяние лишит его нескольких голосов. Однако опасения были напрасны — впечатление от открытия Гаюи было столь велико, что на его внешний вид не обратили внимания. 8 февраля 1783 г. состоялось избрание Гаюи в Академию наук Франции. Головокружительно быстрый успех безвестного аббата был тем более неожиданным, что всего три года назад, в 1780 г., потерпел поражение на выборах в Академию наук кристаллограф Ромэ-Делиль.

Поскольку не было вакантных мест по отделениям физики или минералогии, Гаюи был избран по отделению ботаники. Такое случалось в Парижской Академии наук. Из-за отсутствия вакансии знаменитый Лагранж числился с 1772 г. как «иностраный член Академии наук», а с 1786 г. — как «заслуженный пенсионер» [15].

Должно быть, чтобы как-то оправдать свое избрание в качестве ботаника, Гаюи через год представил Академии наук мемуар «Наблюдения о способе собирания гербариев» [16], где излагал свой метод засушивания цветов с сохранением их естественной окраски. Этой единственной работой он отдал дань науке и больше ею не занимался. Уже в 1782 г. в письме к хранителю архивов Пуарье, ходатайствуя о должности переводчика для своего младшего брата Валентина, он попутно сообщает: «Я покинул ботанику, чтобы полностью отдаться минералогии, где мне посчастливилось создать новую теорию кристаллов, основывающуюся на согласии наблюдений и вычислений. Эта теория излагается в серии из десяти статей. Четыре из них уже представлены в Академию, а остальные непрерывно следуют за ними» [17]. И действительно, с тех пор Гаюи публикует не менее трех-четырех, а иногда и по 10 статей в год. Кроме того, выходят его книги по кристаллографии, минералогии и физике.

В декабре 1783 г. Гаюи представил в «Энциклопедический журнал», а затем издал отдельной книгой «Опыт теории структуры кристаллов и ее применение к различным кристаллическим веществам» [4]. На обложке автор значился как «аббат Гаюи, член королевской Ака-

демии наук, профессор гуманитарных наук Парижского университета».

А в следующем, 1784 г., после 20 лет службы в коллегии Лемуан аббат Гаюи выходит в отставку с пенсией, чтобы полностью посвятить себя научной работе.

В эпоху бурь

Избрание академиком мало изменило образ жизни аббата Гаюи. По-прежнему он жил в келье коллегии Лемуан, исправно выполнял обязанности каноника церкви, носил свою черную сутану. Правда, он оставил преподавание в духовной коллегии и теперь всецело отдался научным исследованиям. За «Опытом теории структуры» последовала серия статей о различных минералах. Гаюи теперь занимался не только структурой кристаллов, но и их физическими свойствами. Имя Гаюи приобретало все большую известность. Богатые меценаты поручали ему разборы своих коллекций минералов. Многие ученые обращались к нему за консультациями. Для них Гаюи прочел специальный курс лекций. Он излагал свою теорию с убедительной ясностью, сопровождая лекции расчетами по изобретенным им методам и демонстрацией кристаллов. Самые знаменитые ученые Франции — Лагранж, Лавуазье, Лаплас, Фуркруа, Бертолле, Гитон де Морво — приходили слушать лекции скромного аббата, совсем сконфуженного тем, что он видит среди своих учеников людей, которых он едва осмеливался почитать своими учителями.

В архиве Кювье сохранилась любопытная записка:

«Курс кристаллографии господина аббата Гаюи в марте 1792 г. в его комнатке в коллегии кардинала Лемуана,

прочитанный господам

Лавуазье, спрашивающему и всегда расширяющему тему своего вопроса;

Лагранжу, размышляющему и иногда говорящему:

Я еще не понял;

Лапласу, педантичному, авторитетно поучающему профессора;

Фуркруа, многословно развивающему следствия из излагаемых

принципов, которыми он не всегда удовлетворен;
Гитону де Морво, выражающему сомнения, особенно
когда речь идет о том, что было раньше;
Бертолле, поступающему, наоборот, просто, чтобы поте-
шить свой характер.
Подписал: Жоффруа Сент-Илер, преподаватель курса лек-
ций» [1].

Жоффруа Сент-Илер (1772—1844) — ученик и пансионер коллегии Лемуан — увлекался естественными науками и медициной. Он был преподавателем на лекциях Гаюи, посещал лекции в Медицинской школе и Ботаническом саду. В конце концов окончательно забросив теологию, Жоффруа занялся зоологией. После реорганизации Ботанического сада он стал хранителем зоологического кабинета и ассистентом Добантона, а затем и директором зоологического сада.

Гаюи по-прежнему ведет замкнутый образ жизни, он весь поглощен наукой. Монастырские стены как бы отгородили аббата Гаюи от бурь и потрясений его эпохи. Лишь большие научные открытия способны взволновать его. Его брат Валентин делится с ним своими мечтами и идеями об изобретении оптического телеграфа. Сам Рене Жюст наконец может заняться давно интересовавшим его электричеством и пишет книгу «Рациональное изложение теории электричества и магнетизма по принципам Эпинуса» [2]. Речь идет об открытом Эпинусом явлении электризации турмалина при нагревании. Турмалин — кристалл, привезенный в начале XVIII в. с Цейлона, называли «пеплопритягателем», или «электрическим камнем», из-за его способности притягивать легкие частицы. Эпинус в 1756 г. объяснил, что эта странная способность турмалина связана с его электризацией, возникающей при нагревании, — тем, что ныне называется пьезоэлектричеством. До того была известна только электризация при трении, поэтому публикация Эпинуса вызвала жаркую полемику. Ряд физиков, в том числе Мушленбек, Вильке, не смогли повторить его опыты и оспаривали их результаты. Кантон и Уилсон, воспроизведя опыты с нагреванием турмалина, показали, что электризация возникает и при охлаждении турмалина, то же явление было обнаружено и в других кристаллах.

Гаюи тщательно повторил опыты Эпинуса и Кантона, привел в порядок все данные об электризации кристаллов

при изменении температуры и обнаружил то же явление у борацита, аксинита и др. Книге Гаюи о теории Эпинуса предшествовали его собственные опыты и наблюдения по электрическим свойствам нескольких минералов. Он сравнивает минералы по их способности более или менее долго сохранять электричество, если их наэлектризовать трением [3].

Итак, аббат Гаюи, член Академии наук, по-прежнему разбирает коллекции минералов, пишет статьи о структуре кристаллов, прогуливается вечерами по аллеям парка в своей длиннополой черной сутане. И он крайне удивлен, когда 12 августа 1792 г. вооруженные люди врываются в его келью и предъявляют ему распоряжение об аресте — все священники должны были присягнуть в верности революционному правительству. Гаюи оказался в числе неприсягнувших — то ли по убеждению, то ли от непонимания требований времени.

— Есть ли у вас огнестрельное оружие? — спросили Гаюи.

— Только вот это, — спокойно ответил аббат, указывая на искру электростатической машины.

Во время обыска он беспокоился прежде всего о том, чтобы не перевернули ящики с коллекциями кристаллов, а когда его повели в тюрьму, он попросил разрешения захватить с собой один из ящиков. Вместе с другими арестованными священниками его поместили в семинарию Сен-Фирмини, превращенную в тюрьму. Он понял лишь, что одну келью заменили другой и что кругом было много друзей. Аккуратно разложив кристаллы в принесенном ящике, он снова занялся ими.

К счастью, вне стен тюрьмы тоже оставались друзья, и прежде всего верный ученик Жоффруа Сент-Илер. Едва узнав о том, что произошло с его учителем, он бросился к Добантону, хотя тот был болен. Жоффруа собрал ходатайства Добантона и еще нескольких академиков и, добившись приказа об освобождении Гаюи, помчался с ним в семинарию Сен-Фирмини. Гаюи встретил его очень спокойно. Сейчас уже поздний вечер, решил он, а так как сегодня церковный праздник, он не может двинуться, пока не кончит все свои молитвы. Вообще здесь не так уж плохо, он не тревожится и предпочитает отложить выход на свободу до завтра. На завтрашнее утро Жоффруа пришлось почти насильно уводить своего учителя из тюрьмы. Рассказывали, что в ночь на 3 сентября

Жоффруа Сент-Илер, взобравшись на стену семинарии Сен-Фирмини, вызволил через окно еще нескольких своих учителей.

Историки утверждают, что Жоффруа Сент-Илер спас своего учителя фразой: «Лучше простить упрямого аббата, чем казнить хорошего ученого». Может быть, это и так, но, вернее всего, здесь сыграла роль абсолютная непричастность к политике Гаюи. Его больше никто не тревожил. Наоборот, волны революции взметнули его вверх. Еще в марте 1791 г. после того, как Борда, Лагранж, Лаплас, Монж и Кондорсе представили в Академию наук доклад о выборе новой системы единиц, Гаюи был введен в состав комиссии по новой системе мер и весов. Установление метрической системы было одной из самых значительных реформ Великой французской революции.

К концу XVIII в. запутанность и многообразие мер и весов во Франции дошли до крайности. Существовали, например, 43 разных единицы измерения площади Земли, больше десятка единиц длины и т. д. Не было никакой возможности установить точные соотношения между мерами французскими и других стран. Достаточно сказать, что знаменитый астроном Лаланд попытался было составить сравнительную таблицу перевода французских мер в иностранные, но вынужден был отказаться, поняв, что задача непосильна даже ему, рассчитавшему движения небесных светил.

Право хранения образцов мер и весов принадлежало не только королю, но и сеньорам, а отсюда — полный произвол в уплате повинностей. Каждый сеньор мог требовать, чтобы взимаемые им подати измерялись его собственной мерой. Хаос в мерах приводил к острым социальным противоречиям и стал одной из подоплек политической борьбы. Реформа мер остро назрела. Ею занималась Академия наук и раньше, но окончательное решение задачи оказалось посильным только революционной Франции. Один из наказов лозунга: «Единый для всей Франции король, единый закон, единые мера и вес», был близок к выполнению.

19 марта 1791 г. комиссия представила Учредительному собранию проект метрической системы мер. Основой этой системы должна была служить единица длины, соответствующая одной десятиллионной части от четверти парижского меридиана. Для измерения истинной длины парижского меридиана были направлены специальные

геодезические экспедиции. За единицу веса комиссия предложила принять вес определенного объема дистиллированной воды при 0° по шкале Реомюра с поправкой на атмосферное давление. Измерение этого веса было возложено на Лавуазье и Гаюи. Лавуазье и раньше занимался измерением плотности воды. Но почему Гаюи стал членом, а затем и секретарем Комиссии мер и весов?

Причина, вероятно, заключалась в своеобразной структуре Парижской Академии наук того времени. Это было не только общество ученых, но и центральный экспертный и консультативный орган страны по науке и технике. Академия наук выносила суждения по изобретениям, как нынешние патентные бюро, производила научно-технические экспертизы, обследовала заводы и создавала комиссии для разработки новых технических проблем. Неудивительно поэтому, что Академия загружала своих членов самыми разнообразными поручениями. Так, академику Лавуазье поручались в разные годы: расчеты паровой машины; сравнение температур двух суровых зим; изучение животного магнетизма Месмера; обследование тюрем и больниц; исследование газов, выделяющихся из выгребных ям; изучение проблемы аэроставов; проект перестройки больницы; изготовление румян из растительных красок; обследование металлургических заводов Крезю [4].

Академику Монжу пришлось решать вопросы относительно одной модели экипажа, о двух математических мемуарах Лежандра, о давлении ветра, о возможности летать, подобно птицам, о машине для обмолота зерна, о движении рек, об оптическом телеграфе и др. [5]. Так что и академику Гаюи пришлось выполнять поручение Академии, не имеющее прямого отношения к его специальности.

23 декабря 1793 г. Комитет общественного спасения исключил из Комиссии мер и весов Борда, Лавуазье, Лапласа, Кулона, Бриссона и Деламбра как людей, «не заслуживающих доверия по недостатку республиканской доблести и ненависти к королям» [1].

Борда и Гаюи направили в Комитет ходатайство от Комиссии мер и весов с просьбой об освобождении заключенного в тюрьму Лавуазье, «считая необходимым присутствие гражданина Лавуазье при важных работах, которые он всегда проводил с таким рвением» [1]. Кювье замечает по этому поводу: «В то время как Лавуазье был

арестован, Борда и Деламбр были отстранены, только Гаюи, этот священник, не приведенный к присяге, ежедневно выполнявший все свои церковные службы, только он мог ходатайствовать за них, что он и делал без колебаний и без промедления. В такую эпоху его безнаказанность была еще удивительней, чем его мужество» [6]. Однако Комитет общественного спасения отверг ходатайство просителей, и Лавуазье был казнен. Секретарем Комиссии мер и весов стал Гаюи.

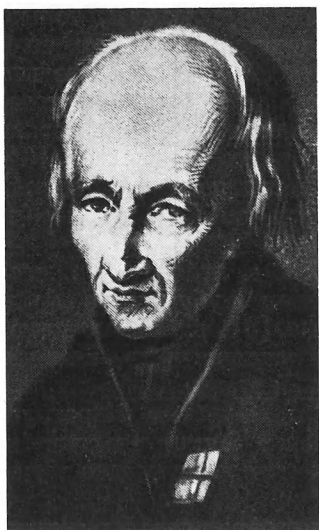
Хотя Гаюи опубликовал в 1791 г. статьи «О способах, употребляемых для измерения кубического фута воды» [7] и «О расширении воды» [8], работа по измерению плотности воды осталась незаконченной — главная роль в ней принадлежала все-таки Лавуазье.

В 1794 г. Гаюи подготовил и выпустил «Краткую инструкцию об измерениях размеров Земли, единых по всей Республике и о вычислениях ее десятичного деления» [9].

7 апреля 1795 г. Конвент, преобразовав Комиссию мер и весов, поручил ей заменить временные единицы мер стандартными и постоянными мерами. Декрет Конвента гласил: «Пользуясь новыми мерами ... граждане дадут доказательство своей преданности единству и нераздельности Республики». Для окончательной доработки проекта метрической системы Конвент назначил 12 комиссаров, и одним из них стал академик Гаюи.

Тем временем крупные перемены происходили и в Академии. Накануне революции во Франции было три парижских академий — Академия наук, Академия надписей, Французская Академия — и множество научных и литературных обществ в провинции, также называвшихся академиями. Естественнаучные проблемы были сосредоточены только в Академии наук, две другие академии занимались литературой, историей и лингвистикой. Необходимость реорганизации всех этих академий как привилегированных корпораций становилась очевидной. Законодательное собрание при обсуждении государственной сметы выразило надежду, что «академии будут поставлены на службу нации» [10, 11].

В дальнейшем оказалось, что часть членов парижских академий была действительно связана различными привилегиями с королевской властью и аристократией. Вокруг академий развернулась ожесточенная борьба. Демократическая печать видела в них оплот реакции. В 1791 г.



Рене Жюст Гаюи

вышла брошюра «Современные шарлатаны, или Письма об академическом шарлатанизме, опубликованные Маратом, другом народа», в которой автор, медик, физик и изобретатель, резко нападал на казенную официальную науку [12].

В апреле 1792 г. на заседании Парижской Академии наук академик Фуркруа внес предложение исключить, как это сделало только что медицинское общество, из состава Академии некоторых ее членов, «известных своей негражданственностью». Но Академия наук, в частности академики Гаюи, Кулон, Бомэ, Кассини, Лаланд, Ламарк, Лаплас, Лагранж, Борда, Бертолле, Вик д'Азир, Монж и другие, не поддержали пред-

ложение Фуркруа. Это событие еще более укрепило мнение Конвента о необходимости закрыть академии в Париже и в провинции. Высказывалось опасение, что академии и научные общества будут служить центрами объединения лиц, враждебных революционному правительству. Многие деятели, особенно художники во главе с Луи Давидом, считали, что старые академии и общества тормозят развитие свободных наук и искусств.

В августе 1793 г. декретом Конвента были ликвидированы все академии и научные общества в Париже и в провинции. Сохранялась только Комиссия мер и весов с ее секретарем Рене Жюстом Гаюи. В нее были введены новые члены, в том числе Фуркруа и Арбогаст, для наблюдения за ее деятельностью. Сохранено было еще и консультационное бюро Академии наук, в которое также входил Гаюи.

Революционное правительство понимало, что, отказываясь от старых форм организации науки, оно должно разработать новые. Вместо упраздненных академий декретом Конвента от 25 октября 1795 г. был создан Национальный институт наук и искусств.

Институт делился на три класса: физические и математические науки; моральные и политические науки; литература и искусство. В состав первого класса Института по представлению Комитета народного образования были избраны Гаюи, Дарсе, Борда, Добантон, Воклен, Лагранж, Лаплас, Лежандр, Прони, Бертолле, Фуркруа, Ламарк, Доломье, Кювье и др. Секретарем был назначен академик Ласепед, а вице-секретарем — академик Гаюи.

Тем же декретом бывший королевский Ботанический сад был преобразован в Музей естественной истории и первым профессором минералогии и директором Музея назначен Добантон.

Распустив академии наук, Конвент закрыл также все университеты и высшие специальные школы. Многие специалисты, подготовленные в дореволюционных школах, эмигрировали. Иные, оставаясь на родине, не поддерживали новое правительство и не сотрудничали с ним. Проблема кадров стала одной из самых острых и трудных для молодой республики.

Декретом Конвента были организованы Политехническая и Нормальная школы. Первая была призвана готовить инженеров, вторая — в основном учителей. Еще в начале революции по призыву Дантона: «После хлеба просвещение есть первейшая потребность народа», было решено открыть во Франции народные училища, а учителей для них не хватало.

Две новые школы, Политехническая и Нормальная, были призваны ускоренными темпами готовить специалистов, поэтому педагогами школ стали самые выдающиеся ученые. Среди 14 профессоров Нормальной школы были Лагранж и Лаплас (математика), Монж (начертательная геометрия), Добантон (естественная история), Воклен (химия), Гаюи (физика).

Да, Гаюи стал теперь профессором физики и минералогии. К этим обязанностям он отнесся с присущей ему добросовестностью и читал лекции, в которых излагал свои взгляды на структуру минералов, на их электрические свойства, двупреломление света. После уроков в духовной коллегии и курса, прочитанного узкому кругу ученых в коллегии Лемуан, это были первые публичные лекции Гаюи.

В Нормальной школе, в отличие от старых университетов, не допускалось чтения лекций по тетрадам [13]. Лекции тщательно записывались и издавались для слу-

шателей. Так, были напечатаны лекции Гаюи по физике и по минералогии [14]. В протоколах научных заседаний Нормальной школы зарегистрировано множество его выступлений о структуре и свойствах кристаллов [15].

Один из учеников Гаюи Жозеф Фурье, будущий непременный секретарь Академии наук Франции, писал о своем учителе: «Гаюи, бывший аббат, отличается исключительной простотой и скромностью. Он не стар, одет как священнослужитель... Он говорит очень отчетливо и изящно, его прекрасно слышно, и все понятно. Невозможно представить себе, чтобы кто-либо говорил лучше. Он так застенчив, что если кто-нибудь начинает спрашивать у него разъяснения, он приходит в замешательство и отвечает плохо или совсем не отвечает» [1].

Аудитория Гаюи расширялась. Он стал также профессором во вновь организованном Парижском горном училище. С 1795 по 1802 г. он читал здесь курсы лекций по физике и минералогии. Был создан также Горный корпус, в состав которого входили инспектора, геологи, инженеры и ученики недавно организованной Политехнической школы. В здании корпуса размещались богатая библиотека, лаборатория, коллекция моделей и кабинет минералогии, «содержащий все творения земного шара и все создания Республики, расположенные по их месторождениям» [1]. Вскоре состоялось назначение Гаюи хранителем кабинета минералогии, что значительно улучшало его материальное положение — профессора Горного корпуса обеспечивались дровами, питанием, одеждой, парой туфель и парой чулок; Гаюи к тому же получил квартиру в доме корпуса, куда он и переехал в 1795 г., покинув свою келью в коллегии Лемуан.

В 1798—1799 гг. Гаюи поглощен подготовкой «Курса минералогии». Этот фундаментальный труд был задуман им давно, но осуществить свой замысел Гаюи смог только благодаря тому, что стал профессором Горного училища. До сих пор в его распоряжении была лишь собственная небольшая коллекция минералов. Конечно, он имел свободный доступ к собранию минералов в Ботаническом саду, но оно в то время было еще невелико. Горное училище располагало богатыми коллекциями минералов, непрерывно пополнявшимися как преподавателями, так и учащимися. Гаюи мог пользоваться еще и великолепной коллекцией кристаллов Ромэ-Делиля после смерти ученого, собиравшего ее многие годы и тщательно описавшего

каждый образец. Возможно, именно в результате разбора этой коллекции Гаюи написал мемуар «О заслугах в области минералогии Ромэ-Делиля» [16], а в «Курсе минералогии» более 300 раз ссылается на Делиля, неизменно подчеркивая свое к нему уважение [17].

Итак, теперь через руки Гаюи проходило великое множество образцов камней. Интересно, что этот великолепный знаток кристаллов, автор классических трудов по минералогии и кристаллографии никогда не видел камней в природе. Всю жизнь он провел в своем кабинете и, по выражению его современника, минералога Жюль де Ломона, «ни один удар его геологического молотка не был им произведен за пределами его комнаты» [1].

Наряду с установленными им законами кристаллической структуры Гаюи считал важным рассмотрение каждого отдельного вида минералов. Этому и посвящен пятитомный «Курс минералогии гражданина Гаюи», опубликованный Горным корпусом в 1801 г. [18]. Ему предшествовали краткий «Элементарный курс минералогии гражданина Гаюи» [19], напечатанный в 1796—1797 гг., и серия статей в «Горном журнале».

«Курс минералогии» полностью основан на теории кристаллической структуры, развитой автором и приложенной ко многим разновидностям минералов. В минералогию введена рациональная классификация. Минерал определяется формой его молекул. Детальное описание кристаллической формы автор считает столь же важным, как химический анализ минерала. Гаюи исследует электрические и магнитные свойства кристаллов, их цвет и двойное лучепреломление. Он предлагает простые портативные приборы для измерения свойств кристаллов. Любопытно отметить, что сам он всю жизнь пользовался прикладным гониометром для измерения углов кристаллов и не пытался применять изобретенный уже к тому времени надежный отражательный гониометр Волластопа.

Можно сказать, что лишь после «Курса минералогии» Гаюи минералогия становится точной наукой, подобной физике или астрономии. Кювье писал, что «Гаюи по отношению к Вернеру и Ромэ-Делилю то же, что Ньютон по отношению к Кеплеру и Линнею» [6].

Опубликовав в 1801 г. свой фундаментальный труд, Гаюи продолжал работу над ним еще 20 лет, и в 1822 г. вышло второе издание «Курса минералогии», расширенное новыми наблюдениями, в особенности о физических

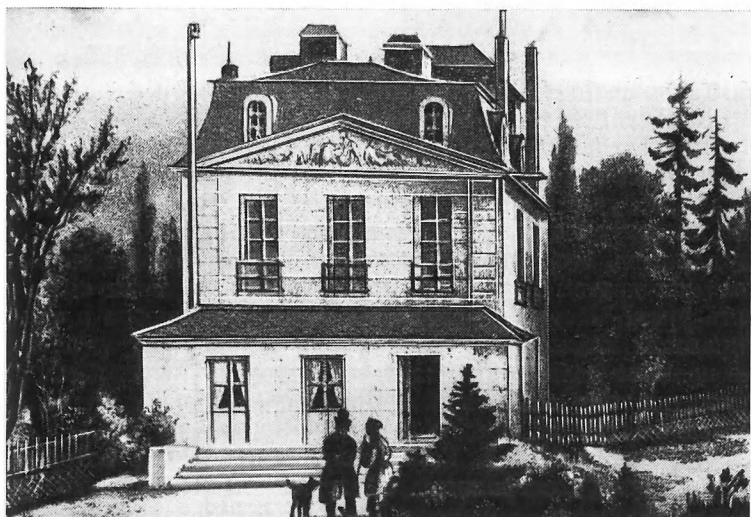
свойствах минералов. Эту работу он завершил уже в Музее естественной истории, так как с 1802 г. по приказу Наполеона был назначен профессором минералогии и хранителем Кабинета минералогии в Музее естественной истории.

Это место освободилось после смерти Добантона, последовавшей 1 января 1800 г. Добантона заменил минералог Доломье, избранный девятью голосами против одного, поданного за Гаюи. Профессор Доломье прославился не только своими работами в области минералогии и геологии, многочисленными путешествиями, участием в египетском походе Наполеона, но также и активной политической деятельностью. Назначение на место Добантона застало осмелившегося вступить в спор с Наполеоном профессора Доломье в тюрьме в Сицилии. За его освобождение активно выступали парижские профессора (в числе самых горячих заступников был Гаюи) и ученые других стран. В результате Доломье был освобожден и в марте 1801 г. вернулся в Париж, где приступил к своим новым обязанностям.

Независимо от недавнего соперничества Доломье и Гаюи, сдружившиеся еще в пору совместной работы в Горном корпусе, высоко ценили друг друга. Во введении к «Курсу минералогии» Гаюи признавался: «Все, что в этом курсе есть самого интересного о месторождениях минералов, сообщено мне гражданином Доломье» [1].

После смерти Доломье в ноябре 1802 г. профессора музея единогласно выдвинули кандидатуру Гаюи на пост его преемника. Это назначение было утверждено Бонапартом. Первый консул Республики, уже готовившийся стать императором, забирая всю власть в стране в свои руки, взял на себя и управление наукой. Надо, впрочем, отметить, что Гаюи был не только коллегой первого консула по Национальному институту. После конкордата, т. е. соглашения с папой римским о восстановлении прав церкви во Франции в 1802 г., Наполеон утвердил Рене Жюста в звании почетного каноника парижского собора Нотр-Дам.

Итак, почетный каноник, аббат и академик Гаюи, оставив Горный корпус, вступил в должность профессора и хранителя Минералогического кабинета Музея естественной истории и исполнял ее до конца жизни. Теперь он поселился в мансарде здания музея в Ботаническом саду; первый этаж дома занимал академик Фуркруа.



Дом, где жил Р. Ж. Гаюи

Для Гаюи началась новая жизнь. Прежде всего он на- вел порядок в минералогической коллекции музея, заме- нив старую классификацию Добантона той, что была при- пята в Горном училище и в его «Курсе минералогии». Богатое собрание минералов постоянно пополнялось — Гаюи получал образцы от своих учеников, бывших со- трудников, от ученых разных стран. Как свидетельствует Кювье, «Европа минералогическая обращалась сюда не столько, чтобы любоваться так красиво представленными образцами, но чтобы слушать профессора столь элегант- ного, столь ясного и главное столь любезного. Его при- родное доброжелательство проявлялось сразу же по отношению к тем, у кого было желание его слушать. Он приглашал их в свой кабинет, показывал им свои собст- венные коллекции и не отказывался ни от каких объяс- нений. Самых скромных учеников он принимал так, как если бы они были самыми учеными или августейшими особами» [6].

Ежегодно Гаюи читал в музее лекции по минерало- гии, привлекавшие множество слушателей, в том числе и иностранных. Один из его учеников, Альберт де Бройль (прадед современного физика Луи де Бройля), оставил нам воспоминания о лекциях в музее:

«Профессора были не только людьми достойными уважения, но и людьми редкой доброты и беспредельной любезности. В особенности господин Гаюи был одним из самых приятных ученых, каких я встречал на своем долгом жизненном пути. У него был голос слабый, но живой и выразительный; его преподавание отличалось замечательной ясностью; он охотно позволял перебивать себя не только ученикам, но и всем присутствующим. Сколько раз после урока, недостаточно усвоив порядок и последовательность его идей, я подходил к нему, чтобы задать тот или другой вопрос, и он повторял для меня одного весь урок! Часто он приглашал меня после урока в свой скромный кабинет, вся меблировка которого состояла из нескольких соломенных стульев, бюро из еловых досок и распятия над ним; к кабинету примыкала маленькая молельня, где он каждое утро служил мессу» [1].

8 февраля 1803 г. Гаюи получил письмо, в котором, в частности, говорилось: «Доверие, питаемое мною к вашим большим талантам, заставляет меня пожелать, чтобы вы возложили на себя труд по составлению элементарного учебника для математических классов национальных лицеев». Подписано оно было Бонапартом.

«До сих пор я занимался физикой от случая к случаю,— писал Гаюи Пьеру Прево в Женеву 24 ноября 1803 г. Специальные работы по минералогии и курсы лекций, читаемые мною в музее, так утомили меня, что все мои собраты уговаривали меня взять отпуск, когда первый консул оказал мне честь обратиться ко мне с письмом, в котором он требовал от меня курса физики для преподавания в лицеях и выражал желание, чтобы этот труд появился к началу вандемьера... Хотя у меня уже были готовые материалы из лекций, прочитанных мною в Нормальной школе, все пришлось переделывать заново, добавляя теорию гальванизма и теорию света, которые я считаю областями физики самыми трудными и самыми сложными для изложения. Все это заняло примерно шесть месяцев, в течение которых мне приходилось быстро осуществлять написание и редактирование этого труда. И тревога, испытываемая мною при мысли о дне, когда он появится, была для меня тяжелее, чем сама работа, сколь ни трудна она была. Но мои усилия были оценены, и мне за них воздали должное... Я обратился к некоторым моим знаменитым собратям по институту, и они отнеслись ко мне благожелательно и с вниманием,

в особенности г-н Лаплас, чьи познания оказали мне большую помощь, г-н Био, тоже давший мне очень хорошие советы, и господа Лагранж и Бертолле, сообщившие мне свои наблюдения, которыми я воспользуюсь, если у меня будет возможность второго издания, на что можно надеяться, учитывая, как расходится первое издание... После небольшого отдыха я вернусь к минералогии и использую эту осень для подготовки второго издания моего курса этой науки. Снова просматривая мои кристаллы, я готов их упрекать в том, что они познакомили меня с физикой благодаря явлению двойного лучепреломления или явлениям электричества, возникающего при нагревании. Я физик только по обязанности, а меня считали физиком в полном смысле этого слова. Моя физика всегда была самой приземленной и заурядной, и вот внезапно ей пришлось испытать взлет» [20].

Надо сказать, что, считая себя физиком заурядным, Гаюи проявляет излишнюю скромность. Лучше всего об этом сказал известный русский кристаллограф Г. В. Вульф:

«Гаюи не считал себя знатоком физики, и если он даже издал руководство по физике, то сделал это неохотно... Однако в построении кристаллографии он является настоящим физиком, для которого геометрия существует в природе не сама по себе, а в тесной связи со свойствами вещества» [21].

В самом деле, Гаюи в это время опубликовал уже ряд статей об электрических свойствах различных минералов, о двупреломлении кальцита, горного хрусталя и других веществ, об удельном весе минералов, о пьезоэлектричестве (электризации, возникающей при нагревании кристаллов), о природных магнитах, об окраске кристаллов, об отражательной способности серы и др. Наряду с пьезоэлектричеством он открыл электризацию при давлении, т. е. пьезоэлектричество.

Гаюи классифицировал минералы по их физическим свойствам, описал явления света (блеск, цвет, отражение), удельный вес, твердость, лучепреломление, продолжительность электричества трением, электричество посредством теплоты, действие на магнитную стрелку [22].

В 1801 г. Гаюи возглавил созданную комиссию Национального института по изучению исследований гражданина Вольта, в которую вошли Лаплас, Кулон, Монж, Фуркруа, Шарль и Био. На трех заседаниях этой комиссии Вольта докладывал о своих опытах и демонстрировал

опыты с гальванической батареей. Председательство в комиссии, состоящей из столь выдающихся ученых, свидетельствовало о том, что Гаюи относили к числу крупных физиков.

Успех его курса по физике в Нормальной школе послужил достаточным основанием для того, чтобы выбрать Гаюи в качестве автора нового учебника физики. Это было нелегкой задачей — написать полный учебник физики в ту эпоху, когда так бурно менялись ее основные идеи, когда совершались великие открытия Юнга, Малюса, Араго, Кулона, Френеля, Вольты, Ампера, Ома. Гаюи вносит новые факты в каждое последующее издание. Курс написан очень ясно, с множеством примеров. Автор постоянно побуждает читателя ставить опыты. В оптике он, естественно, придерживается еще корпускулярной теории, хоть и отмечает, что некоторые явления могла бы объяснить лишь волновая теория. За этот труд Гаюи был награжден орденом Почетного легиона.

«Курс элементарной физики для национальных лицеев» в двух томах выдержал три издания: в 1803, 1806 и 1820 гг. [23]. По учебнику физики Гаюи училось несколько поколений. Один из творцов волновой теории света Огюстен Жак Френель в письме к брату от 15 мая 1814 г. просит прислать ему «Курс физики Гаюи и статьи, по которым можно было бы ознакомиться с открытиями французских физиков по поляризации света» [24].

На титульном листе первого издания «Курса физики» (1803) значился уже не просто гражданин Гаюи. Там перечислялись все звания автора, в том числе и «почетный каноник собора Парижской Богоматери». Титульный лист следующей его книги выглядит так: «Сравнительные таблицы результатов кристаллографии и химического анализа, относящиеся к классификации минералов господина аббата Гаюи, почетного каноника столичной церкви Парижа; члена ордена Почетного легиона и Института; профессора минералогии Музея естественной истории и факультета естественных наук императорского университета, академий наук Парижа, Берлина и многих других научных обществ. Париж 1809».

К этому длинному перечню нужны пояснения. Гаюи был избран почетным профессором Сорбонны в 1808 г.; иностранным членом Российской Академии наук — в 1806 г., позже он становится членом академий наук Берлина, Мюнхена, Стокгольма, Лиссабона, Ливорно, Анг-

лийского Королевского общества и 19 научных обществ разных стран.

К Рене Жюсту Гаюи пришла заслуженная слава, но он по-прежнему жил весьма скромно. Все свое время отдавал изучению кристаллов, книгам и ученикам.

В 1817 г. он выпустил четыре тома «Трактата о физических свойствах драгоценных камней» [25]. Как пишет Кювье, перед глазами Гаюи за его долгую жизнь прошли все лучшие драгоценные камни Европы, и он определял их характерные свойства, но никогда не рассматривал их иначе как кристаллы. «Градусом больше или меньше у какого-то угла шерла или шпата было для него несравненно интереснее, чем сокровища двух Индий» [6].

Он подготовил третье издание «Курса физики» [26], второе двухтомное издание «Курса кристаллографии» [27] и второе издание «Курса минералогии» [28], полностью переработав и расширив их. Два последних фундаментальных труда вышли в свет в 1822 г., за несколько месяцев до кончины Гаюи, последовавшей 3 июня 1822 г.

Предшественники Р. Ж. Гаюи в истории кристаллографии

Рассказывая о творчестве Р. Ж. Гаюи, мы склонны рассматривать его достижения как самые первые шаги только что родившейся тогда науки о кристаллах. Действительно, становление и выдвижение кристаллографии в качестве строго научной и вполне самостоятельной дисциплины связано с именами Гаюи и его старшего современника и соотечественника Ж. Б. Ромэ-Делиля. Вместе с тем история науки показывает, что этим двум ученым предшествовала обширная плеяда мыслителей, натуралистов, экспериментаторов, пытавшихся проникнуть в сущность явлений кристаллизации и мечтавших разгадать тайну внутреннего строения удивительных геометрически правильных кристаллических полиэдров. Цепочка их имен тянется в глубину веков и ведет нас к мудрецам Древней Греции и Рима.

Прежде всего напомним, что само слово «кристалл» родилось под солнцем Эллады. Раскрыв учебник кристаллографии, мы узнаем, что слово «кристаллос» у древних греков обозначало лед. Так же назывался у них и водяно-прозрачный кварц (горный хрусталь), который отождествлялся с льдом, будто бы окаменевшим под влиянием сильного холода. Эти представления продержались столетия и дожили вплоть до XVIII в. Их отражения и отголоски мы находим во множестве научных трактатов и поэтических произведений. Вот, например, строки из «Эпиграмм» римского поэта Клавдиана (390 г. н. э.):

«Ныне скажи мне, кристалл, окаменевшая влага,
Кто заковал тебя? — Север.— Кто раскует тебя? — Юг...
Ярой альпийской зимой лед превращается в камень,
Солнце не в силах затем камень такой растопить» [1]

Семью веками позже Марбод Реннский (1035—1123), автор «Книги о камнях», воспевающей «кристалл» (горный хрусталь), высказывает некоторые сомнения в непогрешимости прославленной легенды:

«Чистый кристалл — это лед, отвердевший за долгие годы,—
Так говорят мудрецы, относя к доказательствам веским
То, что тает он в себе от рожденья и холод и ясность.
Но отрицают другие подобное истолкованье,
Ибо находят кристалл зачастую в полуденных странах,
Там, где суровой зимы и снегов никогда не бывает» [2]

Еще через пять с половиной веков, в 1600 г., французский поэт и посланник в Швейцарии Марк Лескарбо, ознакомившись с Альпийскими месторождениями, уже активно протестует против отождествления льда с горным хрусталем:

«Творцы ученых книг! Писать бы я не стал,
Что «однородны» лед и каменный кристалл!» [3]

Несмотря на это, древняя легенда дожила до конца XVII в., когда знаменитый английский химик и физик Р. Бойль (1627—1691), основываясь на измерениях удельных весов льда и кварца, убедительно доказал ее несостоятельность.

Нас все же интересует не история слова «кристалл», а зарождение понятий, связанных с геометрическими особенностями кристаллических фигур и причинами их возникновения. Характерное ограничение окристаллизованных минералов с незапамятных времен помогало горнякам и рудокопам распознавать полезные ископаемые и сопутствующие им каменные образования.

В литературе первое известное нам указание на кристаллографию минералов находится в книге «О камнях» ученика Аристотеля — Теофраста (372—287 до н. э.). Здесь упоминается «красный камень... покрытый плоскими гранями, которые иногда образуют шестиугольник (гексагон)». Далее добавляется: «В некоторых отношениях сходной особенностью обладает также адамант» [4].

Не будем особенно углубляться в споры о том, какой именно красный минерал имелся здесь в виду. Одни специалисты считают, что это корунд или железистая разновидность кварца, другие ссылаются на октаэдры шпинели, шесть вершин которых образуют пространственный «шестиугольник», или, точнее, «шестивершинник». С последним толкованием хорошо согласуется упоминание об «адаманте» — ведь алмаз (если только его подразумевал Теофраст) чаще всего кристаллизуется в виде октаэдров. Сейчас нам важно отметить другое. Во-первых, древнегреческий автор обратил внимание на плоскогранность кристаллов (закон плоскогранности и прямореберности кристаллов является, по А. К. Болдыреву, первым законом геометрической кристаллографии) [5]. Во-вторых, уловленную им закономерную геометрию «красного минерала» Теофраст охарактеризовал численно, подчеркнув наличие «на его кристаллах шести «углов», или «вершин» (цифра «шесть», как увидим далее, будет играть особенно важную роль в позднейших кристаллографических построениях).

Наибольшая заслуга древнегреческих мыслителей заключается в том, что они дали нам первоначальные идеи о строении материи вообще, в частности и о строении кристаллических тел. Представление об атомах зародилось впервые, по-видимому, в V в. до н. э. Само слово «атом» («неделимый») приписывается философу Левкиппу. Им, Демокритом (460—370 до н. э.), а впоследствии и Эпикуром (342—270 до н. э.) было развито стройное учение о материи, состоящей из невидимых мельчайших частиц —

атомов. Атомы различных веществ, согласно этому учению, различаются формой, величиной и весом.

Позднее философские воззрения Эпикура нашли свое поэтическое воплощение в известной поэме «О природе вещей» Лукреция Кара (99—55 г. до н. э.). В следующей цитате из этой поэмы дается описание формы и расположения атомов, образующих твердые, в том числе и кристаллические тела:

«...Что представляется нам затверделым и плотным,
То состоять из начал крючковых должно несомненно,
Сцепленных между собой на подобие веток сплетенных.
В этом разряде вещей, занимая в нем первое место,
Будут алмазы стоять, что ударов совсем не боятся.
Далее — твердый кремнь и железа могучего крепость,
Так же, как стойкая медь, что звенит при ударах в засовы» [6]

Итак, по Эпикуру и Лукрецию, атомы твердых тел должны быть «крючковатыми». В отличие от них, Гаюи, как будет показано далее, стремился приписать молекулам, слагающим кристалл, строго геометрическую «полиэдрическую» форму.

Ряд интересных для нас сведений содержится в многотомной «Естественной истории» древнеримского писателя и натуралиста Плиния Старшего (23—79 н. э.). Описывая все тот же «кристалл» (горный хрусталь), Плиний обращает основное внимание на плоскогранность и уже задумывается о причинах шестиугольности минерала: «Почему он родится шестисторонним, тому трудно найти причину, тем более что концы его неодинаковый вид имеют и что гладкость боков его столь совершенна, что того никаким искусством произвести невозможно» [7]. В некоторых местах текста более или менее ясно выступает мысль о том, что различным веществам соответствует различная кристаллическая форма. Так, например, в описании неизвестного нам камня «пангониуса» говорится: «драгоценный камень не длиннее пальца и имеет много углов, дабы не почитался за кристалл (горный хрусталь)». Относительно «радужного камня» (?) отмечается: «Известно, что он имеет шестиугольный вид, подобно кристаллу. Но сказывают, что у некоторых бывают шероховатые бока и неравные углы». Последняя фраза является тем более замечательной, что в ней упоминаются величины углов на кристаллах.

Таким образом, здесь мы встречаемся с первым намеком на закон постоянства углов — закон Стенона, Ломоносова, Ромэ-Делиля, игравший важнейшую роль в теоретических построениях Гаюи. Встречаются у Плиния и указания на спайность каменной соли и «зеркального камня» (слюды или гипса), а ведь именно спайность была принята Гаюи в качестве основы его структурной теории. Тем самым Плиния, несомненно, можно считать одним из самых ранних предшественников великого французского кристаллографа.

Основоположником горно-геологической науки в Европе является саксонский врач и натуралист Георгий Агрикола (Георг Бауэр) (ок. 1494—1555), выдающийся специалист в области рудного дела и металлургии. Как практик-горняк, он обращал внимание на внешние признаки минералов, в том числе и на их форму: «облики», или «габитусы», кристаллов, «округлые», «цилиндрические», «пластинчатые» и т. п. При описании «угловатых фигур», т. е. хорошо выраженных кристаллических многогранников, характеризовалась их геометрия — «треугольная», «четырёхугольная», «шестиугольная». Однако в случае наиболее распространенных минералов, и прежде всего «кристалла» (горного хрусталя), Агрикола старательно описывал детали, отмечая не столько строгую геометрию форм, сколько неодинаковое развитие одноименных граней и искажения облика: «Совершенные кристаллы образуют, как правило, столбик, обычно с неровными гранями (гексагональная призма.— *М. III., II. III.*). Четыре из них являются более узкими, а две, хотя и неодинаковые между собой,— более широкими. Реже находят четыре более широкие грани с двумя более узкими... Пирамидальное заострение (грани двух ромбоэдров на одном конце кристалла.— *М. III., II. III.*) также имеет шесть граней. Они отличаются от граней столбика тем, что не всегда узкая грань противостоит узкой же, а широкая — широкой...» [8].

В приведенном отрывке, как видим, дается подробное описание кристаллов кварца с неодинаковым развитием граней гексагональной призмы и обоих ромбоэдров. Следует заметить, что в природе чаще всего встречаются именно такие искаженные формы. Не имея еще понятия о законах симметрии и геометрии кристаллических форм, Агрикола без всяких обобщений, но весьма тщательно описывает то, что привлекает внимание при рассматрива-

нии реальных природных кристаллов. В этом отношении он является родоначальником словесно-описательного направления в кристаллографии, наиболее видными представителями которого впоследствии явились Н. Стенон, А. Г. Вернер, Ж. Б. Ромэ-Делиль.

В отличие от Агриколы, его младший современник, итальянский математик, философ, физик и врач Д. Кардано (1501—1576), уже пытался истолковать первопричину формирования шестигранной призмы все того же кварца. Приведем его высказывания по этому поводу. «Теперь следует объяснить, почему кристалл имеет шесть поверхностей. Дело в том, что пчелиные ячейки окружаются другими ячейками и по этой причине имеют форму шестиугольников. Кристаллы представляют куски, состоящие из других кусков. Но почему же те, которые другими окружаются, имеют форму шестиугольников, тогда как сфера окружается двенадцатью, а не шестью одинаковыми сферами? Лучше будет сослаться на силу в природных телах. Ибо всякое тело, ограниченное прямолинейными поверхностями, обладает высотой, шириной и длиной и состоит из шести противоположных плоскостей. Вот почему кристалл и другие поделочные камни, как берилл, имеют шесть граней. Следует сказать, что кристалл произошел не из льда, но образовался при помощи собственных соков» [1].

В начале, как видим, Кардано сопоставляет шестигранность горного хрусталя (имея в виду грани гексагональной призмы) с аналогичной формой пчелиных ячеек. Далее, однако, он упоминает об окружении шара в плотнейшей шаровой упаковке 12 такими же шарами (зачатки современных представлений о плотнейших шаровых упаковках и координации шаров). Но замеченное им на кварце наличие только шести призматических граней привело его к отказу от плодотворной идеи, намечающей аналогию между геометрией кристаллов и геометрией шаровых упаковок. В результате Кардано пришел к неправильному выводу, уподобляя расположение шести призматических граней кварца расположению шести граней параллелепипеда.

Эту ошибку уловил Ю. Ц. Скалигер (1484—1558). Он справедливо указал на то, что Кардано не заметил шестигранной двойной пирамиды кварца (т. е. его ромбоэдрические грани) и что в качестве образца трехмерного тела с тремя парами противоположных граней (как у паралле-

лепипеда) лучше было бы взять куб пирита, а не шестигранную призму горного хрусталя. И все же сама попытка Кардано привлечь к объяснению кристаллической формы кварца геометрию шаровых упаковок должна занять почетное место в истории кристаллографии. В этом вопросе он был предшественником И. Кеплера и позднейшей плеяды ученых — Р. Гука, Х. Гюйгенса, М. В. Ломоносова и других, создававших теорию структурной кристаллографии на основе укладок сферических частиц.

Вместе с тем во фразе: «Кристаллы представляют куски, состоящие из других кусков», смутно намечается и другая теоретическая линия, приписывавшая кристаллическим частицам (молекулам) полиэдрическую форму. Здесь Кардано может рассматриваться как предшественник Гаюи.

Итак, если Агрикола является общепризнанным родоначальником эмпирически-описательного направления в науке о кристаллах, то Кардано следует считать зачинателем структурно-теоретических построений. Оба эти направления в дальнейшем непрерывно разрастались, переплетались, обгоняли друг друга, даже враждовали между собой, с тем чтобы уже в наше время гармонически слиться в единое целое.

В 1611 г. Иоганн Кеплер (1571—1630) опубликовал небольшую книжку под названием «Новогодний подарок, или О шестигульном снеге». Этот замечательный трактат, написанный в шутиливой форме, повествует о размышлениях ученого по дороге к королевскому советнику Вакгеру фон Вангенфельсу, которому он должен был преподнести новогодний подарок. Сам Кеплер сравнивает свой рассказ с «забавой шаловливо щебечущего воробья». Не зная, что подарить своему покровителю, ученый обращает внимание на падающие снежинки. «Этот подарок ниспослан с неба и несет в себе подобие звезд!», — радостно восклицает он [9].

Весь дальнейший текст посвящен мыслям о формировании снежинок. Прежде всего возникают вопросы: «Почему только что выпавшие снежинки всегда являются шестигульными, пушистыми, как перышки, с шестью лучами?.. Почему точно так же не выпадают пятиугольные или семиугольные звездочки?»

В поисках ответа Кеплер переходит к обзору известных ему шестигульных природных образований вообще. Так же, как и Кардано, он вспоминает о пчелиных ячеек-

ках. По форме такие ячейки представляют вытянутые ромбододекаэдры (двенадцатигранники с гранями в форме ромбов). Последние, при условии равенства параллельной ориентировки и смежности по целым граням, нацело выполняют пространство, т. е. принадлежат к тем полиэдрам, которые в 1784 г. положил в основу своей структурной теории Гауи и которые еще позже, в 1885 г., Е. С. Федоров (1853—1919) назвал «параллелоэдрами».

Вот что писал об этом сам И. Кеплер: «Итак, мы имеем дело с известной геометрической фигурой, наиболее правильной, заполняющей твердое пространство так же, как, например, шестиугольник, четырехугольник, треугольник заполняют плоскости» [9]. Далее ученый обращает внимание на то, что форма зерен внутри плода граната также соответствует ромбододекаэдру. Естественно возникает вопрос: «Кто виновник ромбической фигуры в ячейках пчел и зернышках финикийского (гранатового) яблока?»

И здесь Кеплер вспоминает о следующем опыте: одинаковые шарики из мягкого вещества (воска), помещенные в круглый сосуд, сжимаемый со всех сторон медными обручами, принимают форму «ромбических тел», т. е. ромбододекаэдров. Отсюда он приходит к идее о геометрии различных шаровых укладок и о переходах сферической формы в полиэдрическую.

В дальнейшем тексте разбираются случаи как плотнейших, так и менее плотных упаковок из одинаковых шариков и определяются соответственные координационные числа, т. е. числа соседних шариков, соприкасающихся с любым исходным шариком. Всего Кеплер нашел четыре случая. Заменив шары их центрами, получим для первого случая простую кубическую решетку (шарики расположены по вершинам кубической ячейки). Второму случаю отвечает кубическая центрогранная решетка (шарики расположены по вершинам и центрам граней кубической ячейки). Этот случай соответствует плотнейшей шаровой кубической упаковке. В третьем случае возникает гексагональная решетка (шарики располагаются по вершинам гексагональной призмы и в центрах ее оснований). В четвертом случае снова возникает кубическая центрогранная решетка. Мало того, путем всестороннего сжатия шаров в упаковках Кеплер выводит многогранники, нацело выполняющие пространство, при условии их равенства, параллельности в ориентировке и смежности

по целым граням, т. е. «параллелоэдры». Для первого случая шаровых упаковок им был выведен куб, для второго и четвертого — ромбододекаэдр, для третьего — гексагональная призма с пинакоидом. Сравнение этих результатов с позднейшим выводом Федорова показывает, что Кеплер пропустил лишь один из четырех идеальных федоровских параллелоэдров — особую комбинацию куба с октаэдром (ее не знал и Гаюи). В связи с этим ему осталась неизвестной шаровая упаковка, соответствующая кубической центрированной решетке. Не подозревал он и о наличии плотнейшей шаровой гексагональной (двуслойной) упаковки, существование которой впервые отметил В. Барлоу в 1883 г.

Несмотря на это, данные, полученные Кеплером, нельзя не признать замечательными — ведь теория Гаюи возникла в конце XVIII в., а результаты выводов Барлоу и Федорова появились лишь в самом конце XIX в.

Изложив основы геометрии шаровых упаковок, Кеплер возвращается к вопросу о «ромбической» форме зерен граната и пчелиных ячеек. Причину возникновения первых он правильно объясняет разрастанием и всесторонним сжатием одинаковых округлых зерен. Строение ячеек в улье ученый связывает с «инстинктом», которым пчела «обладает от природы». После этого он снова возвращается к основному вопросу своего трактата о причине шестиугольности снежинок. В качестве внешней причины Кеплер называет холод и связанное с ним сгущение влаги. Однако это наводит его на ряд недоуменных вопросов: какая может быть борьба в обширных воздушных пространствах, в чем причина «шестеричного начала» в снежинках, почему шесть лучей снежинки развиваются в одной плоскости? На все эти вопросы ученый не находит ответа, и ему остается лишь сослаться на гармонию природы: «Формообразующая сила выбирает шестиугольник без всякого принуждения со стороны вещественной необходимости и пространства, но только лишь привлеченная этой гармонией» [9]. Итак, высказав гениальные идеи о причине шестиугольных природных образований и заложив основы геометрии шаровых упаковок и связанной с ней теории параллелоэдров, Кеплер не решился применить полученные выводы для истолкования шестиугольности снежинок и строения кристаллов вообще. И все же, несмотря на это, мы должны его причислить к самым выдающимся родоначальникам теории кристаллографии,

среди которых окажутся и те, кто приписывал элементарным кристаллическим частицам сферическую форму, и те, кто, подобно Гаюи, считал их полиэдрическими.

Одним из ранних представителей атомистического миропонимания в Европе был французский философ и физик Пьер Гассенди (1592—1655). Наблюдения над кристаллами привели его к выводу о постоянстве (характерности) для каждого химического вещества определенных кристаллических многогранников. Отсюда следовал вывод, согласно которому полиэдры суть выразители атомов данного тела. Приписав атомам кристаллов полиэдрическую форму, Гассенди предвосхитил тем самым теоретические воззрения Р. Ж. Гаюи.

Через четверть века после Кеплера выдающийся французский философ, математик и физик Рене Декарт (1596—1650) снова пытался истолковать шестиугольную и шестилучевую конфигурацию снежинок. В своем капитальном труде «Рассуждение о методе» (1637) он объясняет их геометрию расположением шаровых клубочков льда внутри плоского облака.

В 1665 г. известный английский физик Роберт Гук (1635—1703) в книге «Микрография, или Некоторые физиологические описания крошечных тел» (1665), независимо от предыдущих авторов, приходит к выводу о строении кристаллов из мельчайших шаровых частиц. «Думаю,— пишет он,— что, обладая достаточным временем и возможностью, я мог бы доказать положение, согласно которому все эти правильные фигуры поразительно разнообразные и причудливо украшающие великое множество тел, образуются в результате лишь трех или четырех расположений или комбинаций сферических частиц» [10].

Это положение иллюстрируется прекрасной гравюрой, изображающей сложение кристаллов квасцов и осколков алмаза из элементарных шариков.

Следует подчеркнуть, что Р. Гук одним из первых наметил основы теории строения для всех кристаллических образований вообще, не ограничиваясь, в отличие от своих предшественников, рассмотрением кристаллов отдельных веществ. Однако геометрия шаровых упаковок сводится у него к расположению шариков на плоскости — плотнейшему (треугольному) и менее плотному (квадратному), а также констатации того, что четыре соприкасающихся шарика образуют в пространстве тетраэдр.

Кеплеровская разработка геометрии шаровых укладок осталась для него неизвестной.

Важный этап в истории кристаллографии связан с появлением знаменитого трактата Николая Стенона (1638—1685) «О твердом, естественно содержащемся в твердом» (1669). Здесь впервые был установлен основной закон кристаллографии — закон постоянства углов: «На плоскости число и длина сторон кристалла по-разному изменяются без изменения их углов» [11]. На примерах кристаллов кварца, гематита, пирита, алмаза Стенон продемонстрировал механизм нарастания граней посредством отложения на них из жидкой среды слоев нового вещества. Тем самым трактат положил начало как геометрической, так и генетической кристаллографии. Являясь в основном представителем точной описательной науки о кристаллах, Стенон вместе с тем дал математически строгую основу для дальнейших теоретических построений.

Следующее по времени высказывание о строении кристаллов принадлежит великому голландскому физику и математику Христиану Гюйгенсу (1629—1695). В «Трактате о свете» (1690) он дает истолкование открытого в 1669 г. явления двупреломления лучей в исландском шпате (прозрачном кальците) на основе созданной им волновой теории света. Рассмотрение данной задачи привело ученого к вопросу о внутреннем строении этого удивительного минерала. Вспоминая о кристаллах горного хрусталя, алмаза, поваренной соли, сахара и снега, Гюйгенс пишет: «По-видимому, правильность, которая обнаруживается в этих произведениях Природы, вызывается расположением составляющих их мельчайших невидимых и равных частиц» [12]. Переходя к вопросу о внутреннем строении исландского шпата, Гюйгенс приписывает ему сложение «из маленьких круглых телец, не сферических, но сплюснутых, сфероидальных».

С помощью таких гипотетических частиц ученый объясняет характерную спайность кальцита, а также его оптические свойства. Изображенная им совокупность упомянутых «телец» дает ясное понятие о решетчатом строении кристалла. Однако сама природа таинственных эллипсоидальных частиц, по собственному признанию автора, остается неразгаданной.

Гениальный Исаак Ньютон (1643—1727) в свою очередь, хотя и весьма кратко, коснулся вопроса о строении кристаллов в своей «Оптике». Оптические свойства все

того же исландского шпата привели его к следующей идее: «Частицы исландского кристалла действуют на лучи все в одном направлении, вызывая необыкновенное преломление. Поэтому нельзя ли предположить, что при образовании этого кристалла частицы не только установились в строй и ряды, застывая в правильных фигурах, но также посредством некоторой полярной способности повернули свои одинаковые стороны в одном направлении» [13]. По справедливому замечанию акад. С. И. Вавилова, здесь уже четко намечена «идея кристаллической решетки» [13].

Прямым предшественником Гаюи является итальянский ученый Доменико Гуглиельмини (1655—1710), опубликовавший в 1688 г. сочинение под названием «Философские размышления, вызванные формами солей». Внимание автора привлекли кубы поваренной соли, октаэдры квасцов, шестиугольные призмы селитры, косоугольные параллелепипеды медного купороса.

В результате наблюдений под микроскопом Гуглиельмини пришел к выводу о неизменяемости форм для растущих кристаллов определенной соли. Одинаковость форм для больших и малых кристаллов одной и той же соли привела ученого к мысли о том, что кристаллы должны слагаться из невидимых маленьких частиц, формы которых в совокупности создают аналогичные формы крупных кристаллов данного вещества. Эта идея побудила Гуглиельмини найти чисто геометрическим путем формы упомянутых гипотетических частиц. В случае поваренной соли дело обстоит просто: деление большого куба параллельно его плоскостям дает все меньшие и меньшие кубики и в конце концов должно привести к элементарным частицам кубической формы. В случае купороса косоугольный параллелепипед также подразделяется плоскостями, параллельными граням, на меньшие подобные же параллелепипеды. «Шестиугольная призма» селитры разрезается на треугольные призмы.

Сложнее дело обстоит с октаэдром. Последний при его делении плоскостями, параллельными граням, подразделяется на шесть меньших октаэдров, примыкающих к вершинам исходного октаэдра, и на восемь тетраэдров, расположенных по срединам его граней. Как же может быть построен большой октаэдрический кристалл из маленьких октаэдрических частиц? Гуглиельмини предположил, что между такими частицами должны находиться

тетраэдрические пустотки. Следовательно, октаэдрические кристаллы квасцов отличаются пористой структурой. Забегая вперед, отметим, что почти 100 лет спустя Р. Ж. Гаюи столкнулся с той же задачей, наблюдая октаэдрическую спайность флюорита (плавикового шпата) и пытаясь воссоздать структуру этого минерала из мельчайших октаэдрических частиц. Так же, как и Гуглиельмини, он склонялся к наличию в кристаллах флюорита пустот, причем колебался, приписывая им то тетраэдрическую (как у Гуглиельмини), то октаэдрическую форму. В дальнейшем мы вернемся к этому вопросу. Здесь же лишь подчеркнем, что Гуглиельмини задолго до Гаюи впервые обратил внимание на эту проблему и нашел решение, к которому вслед за ним пришел и Гаюи.

Ряд глубоких мыслей о внутреннем строении кристаллов был высказан зачинателем кристаллографии в России великим М. В. Ломоносовым (1711—1765). Он выступал как убежденный сторонник «корпускулярного» (атомного, молекулярного) строения кристаллов. Приписывая шаровую форму кристаллическим корпускулам, он продолжал идейную линию Кардано, Кеплера, Гука, Гюйгенса.

Наиболее подробное изложение взглядов Ломоносова на строение кристаллов находится в его диссертации «О рождении и природе селитры» (1749). Приведем небольшой отрывок из этой работы: «Если мы предположим, что так составленные частицы имеют сферическую форму, к каковой по большей части стремятся мельчайшие природные тела, собирающиеся в кучу, то будет очень легко объяснить, почему селитра вырастает в шестигранные кристаллы. Хотя все это основано на одном воображении, однако превосходно отвечает природе составных частей селитры и потому приобретает некоторый вес. Действительно, пусть шесть корпускул расположены друг около друга так, что прямые линии, соединяющие их центры, образуют равносторонние треугольники. В результате получится фигура, ограниченная шестью линиями, подобная разрезу призм, образуемых селитрою. Частицы селитры, размещенные таким образом почти в бесконечном числе, образуют кристаллические призмы селитры, правда часто с неравными сторонами, которые, однако, всегда параллельны отвечают предположенному размещению... Впрочем, предложенная догадка подтверждается тройким образом: 1) при этом способе объяснения форма частиц не предполагается такою же, какую имеют сами кристал-

лы селитры, и вопрос не остается поэтому без ответа, как это нередко бывает; 2) углы кристаллов селитры соответствуют предполагаемому расположению частиц, так как обычно каждый из них составляет 120° ; 3) на основании нашей гипотезы можно легко объяснить другие роды кристаллов, например кубические кристаллы поваренной соли, предположением такого расположения частиц соли, что линии, проходящие через их центры, составляют квадраты» [14].

Итак, согласно воззрениям Ломоносова, кристаллические многогранники образованы множеством одинаковых шариков (корпускул). Вследствие одинакового расположения корпускул во всех однородных кристаллах одинаковыми будут и углы между соответственными гранями. Таким образом, Ломоносов объясняет закон постоянства углов на кристаллах с помощью их внутреннего строения. В данном вопросе он намного опередил своих современников и предвосхитил взгляды позднейших кристаллографов. Особенно глубокий смысл имеет фраза: «Форма частиц не предполагается такою же, какую имеют сами кристаллы селитры». По этому поводу проф. Г. Г. Леммлейн справедливо писал: «Геометрическую правильность форм кристаллов Ломоносов видел в закономерностях укладки шарообразных корпускул, но не в сложении геометрически правильных молекул, правильность которых сама требовала бы объяснения. Справедливость этой идеи полностью может быть оценена только в наше время» [15].

Из сказанного видно, что в своих рассуждениях о внутреннем строении кристаллов Ломоносов ближе стоит к современным нам воззрениям, чем Гаюи с его полиэдрическими молекулами, хотя высказывания нашего ученого были сформулированы значительно раньше (1749), чем теоретические обобщения французского кристаллографа (1784).

В опубликованном в 1760 г. «Рассуждении о твердости и жидкости тел» Ломоносов снова возвращается к вопросу о строении кристаллов из сферических частиц. Им принимается во внимание два вида расположения шаровых частиц: плотнейшее — «ромбическое» (треугольное) и разреженное — «кубическое» (квадратное). Из приложенной к «Рассуждению» гравюры видно, что ломоносовское «тесное положение шаров» является плотнейшей шаровой кубической упаковкой, т. е. соответствует кубической центрогранной решетке (в последней им был выделен состав

ной элементарный ромбоэдр). Разреженное «кубическое» расположение шаров отвечает простой кубической решетке.

Следует, однако, заметить, что сам ученый не подозревал о кубическом характере «тесного положения шаров»: ведь именно такое строение он приписывал псевдогексагональной калиевой селитре и кварцу. В качестве примера собственно кубической решетки им приводились кристаллы поваренной соли. Из сказанного видно, что Ломоносов предугадывал наличие двух статистически главных типов кристаллического мира — кубического и гексагонального, установленных через 150 лет Е. С. Федоровым.

Заканчивая обзор гипотез о внутреннем строении кристаллов, предшествовавших теории Гаюи, следует сказать несколько слов и о работах его соотечественников, затрагивавших в той или иной мере ту же тему.

Французский натуралист Л. Бурге (1678—1742) в «Философских письмах о формировании солей и кристаллов» (1729) придавал элементарным кристаллическим частицам конфигурации в виде сфер, треугольников, квадратов, ромбов, кубов и параллелепипедов.

Ж. Ж. Дорту де Мейран (1678—1771) в «Диссертации о льде» (1716) приписывал частицам солей и льда остроугольную и удлинненную форму, с помощью которой им удобно расталкивать сопротивляющуюся жидкость.

П. Баррэр (?—1755), автор «Наблюдений над образованием и формированием камней» (1746), подчеркивал аналогию между природным образованием минералов и кристаллизацией солей в лаборатории. Задолго до Гаюи он догадывался о том, что по спайности можно судить о внутренней структуре кристаллов. В результате наблюдений над кристаллизацией солей он решил, что ему удалось с помощью лупы уловить самые атомы, слагающие кристалл: «При искусственной кристаллизации... на поверхности отстоявшейся воды, в которой была растворена соль, явственно наблюдается бесчисленное множество атомов или мельчайших корпускул. Рассматривая их в лупу, я, кажется, уловил ромбоиды для купороса и соды, квадраты для буры, морской соли и сахара, треугольники для квасцов, треугольные полосы для селитры» [16].

Известный французский металлург П. К. Криньон (1723—1783) в «Физических мемуарах об искусстве приготовления железа» (1775) сообщил о результатах своих

наблюдений и размышлений, относящихся к металлическим кристаллам. «До сих пор,— писал он,— ничего еще не было сказано о кристаллизации металлов, происходящей в огне» [16].

Рассуждая о кристаллах вообще, Криньон, предвосхищая теорию Гаюи, приходит к выводу о полиэдричных формах кристаллических молекул: «Когда я вижу тело, кубическое по своей природе, я прихожу к выводу, что каждая молекула этого тела есть куб; ромбоэдрическое тело составлено из ромбоидов, и так все прочие».

Академик Г. Ф. Руэль (1703—1770) пытался построить развернутую теорию кристаллизации. Он писал: «Соляные молекулы объединяются вместе и формируют массы кристаллов. Это первый закон кристаллизации» [16]. Изучая кристаллизацию поваренной соли, Руэль обратил внимание на полые кристаллические пирамидки (воронки) соли, плавающие возле поверхности раствора. Ему удалось уловить, что такие воронки сложены из крохотных кубиков. Отсюда Руэль пришел к заключению о том, что «первичное ядро кристалла — кубическое» [16].

Сходные идеи о характерности геометрических форм, элементарных частиц, слагающих кристаллы, и симметричном порядке их расположения высказывали и другие французские ученые, известные химики и физики того времени: П. Макер, Л. Б. Гитон де Морво, А. Лавуазье. Значительный вклад в познание процессов кристаллизации внесли французский химик-технолог Н. Леблан (1742—1806) и химик-аналитик, петербургский академик Т. Ловиц (1757—1804).

Плеяду предшественников Гаюи по линии как описательной, так и теоретической кристаллографии мы заключим именами двух его старших современников — Ж. Б. Ромэ-Делиля, о котором мы уже несколько раз упоминали на страницах данной книги, и Т. Бергмана, чьи исследования и открытия тесно переплелись с творческими достижениями их младшего коллеги.

Творчество французского натуралиста Жана Батиста Луи Ромэ-Делиля (1736—1790) представляет первую серьезную попытку оформить кристаллографию в виде самостоятельной научной дисциплины. Первая половина его жизни, проведенная в далеких и опасных путешествиях, мало походила на мирную кабинетную жизнь ученого. Будучи по образованию военным инженером-артиллеристом, Ромэ-Делиль с 1757 г. служил в Индии и ока-

зался в плену у англичан. Впоследствии он путешествовал по Китаю, жил на острове Св. Фомы.

В 1764 г. ученый возвратился в Париж, где вскоре приобрел известность как глубокий знаток минералов и драгоценных камней. Средства к существованию добывались им главным образом описаниями минералогических коллекций и драгоценностей, принадлежавших богатым вельможам. Помимо этого, он читал для избранного круга любителей курс кристаллографии, по словам В. И. Вернадского, «первые лекции нашей науки, когда-либо читанные» [17].

В 1772 г. Ромэ-Делиль издал «Опыт кристаллографии, или Описание геометрических фигур, свойственных различным телам минерального царства и известных попросту под названием кристаллов» [18]. В отличие от множества предыдущих авторов, называвших «кристаллом» преимущественно прозрачный горный хрусталь, Ромэ-Делиль придает этому термину расширенное значение, приближаясь к современному нам пониманию. Он пишет: «Все тела минерального царства, имеющие многогранные и геометрические облики, нами отнесены к разряду кристаллов, независимо от того, являются ли они прозрачными или непрозрачными» [16].

Описание таких образований и составляет предмет кристаллографии. (До Ромэ-Делиля термин «кристаллография» впервые был предложен в 1719 г. швейцарским ученым М. А. Капелером в качестве названия науки собственно о кварце.) Основной текст «Опыта» посвящен подробным описаниям 110 окристаллизованных веществ, часть которых изображена на превосходных гравюрах. Теоретическое истолкование сущности кристаллизации Ромэ-Делиль заимствовал у знаменитого К. Линнея, согласно курьезным представлениям которого «отцами» кристаллической формы являются соли, а вещество камня соответствует «материнскому началу». Впоследствии автор «Опыта» отказался от этой фантастической концепции.

В 1783 г. Ромэ-Делиль публикует четырехтомную «Кристаллографию», представляющую коренную переработку его первой книги и являющуюся, в сущности, совершенно новым произведением. Полное название этого сочинения в русском переводе таково: «Кристаллография, или Описание форм, свойственных всем телам минерального царства в состоянии соединений соляных, каменных или металлических».

Основное новшество «Кристаллографии» заключается в том, что Ромэ-Делиль заново открыл закон постоянства углов на кристаллах и широко использовал его для характеристики изучаемых веществ *. В его формулировке этот закон сводится к следующему: «Грани кристалла могут изменяться по своей форме, но их взаимные наклоны постоянны и неизменны для каждого рода кристаллов» [18]. Углы между гранями измерялись с помощью незамысловатого прикладного гониометра (транспортира с вращающейся линейкой), изобретенного его помощником Каранжо. Тем самым Ромэ-Делиль явился основоположником гониометрического метода в кристаллографии, сыгравшего в дальнейшем огромную роль в развитии учения о кристаллических формах. В его «Кристаллографии» описано 500 окристаллизованных веществ с приведением их угловых величин. Словесно-описательная кристаллография его первого сочинения во втором издании уступила место математически точной кристаллографии, основанной на гониометрии.

Вот почему В. И. Вернадский совершенно справедливо называл Ромэ-Делиля «первым специалистом-кристаллографом», давшим «исходную точку всего современного развития кристаллографии» [17]. Тщательно и скрупулезно описывая внешнюю форму кристаллов с приведением характеристикующих их угловых величин, Ромэ-Делиль вместе с тем очень настороженно относился к гипотезам и теоретическим построениям, касавшимся внутреннего строения кристаллов. Он ограничивался тем, что умозрительно признавал существование молекул полиэдрической формы, имеющих «свойства соединяться между собой в симметричном порядке и образовывать правильные тела». Однако никакие опытные изыскания в этом направлении он не предпринимал. «Ограничимся же тем,— писал Ромэ-Делиль,— что нам дается наблюдениями, если мы не хотим подменить плодами нашего воображения величественного молчания Природы относительно ее первичных элементов» [16].

Он критиковал попытки Бергмана и Гаюи разгадать внутреннее строение кристаллов с помощью явления

* Ж. Б. Ромэ-Делиль был знаком с трактатом Н. Стенона по неполному французскому переводу, в котором упоминание о законе постоянства углов, находившееся в примечаниях к рисункам, было сокращено. Поэтому, хорошо изучив работу Стенона, он не имел понятия об уже открытом законе постоянства углов.

спайности: «Мы, однако, не приблизимся к цели,— писал Ромэ-Делиль,— если будем раскалывать и разбивать небольшое число кристаллов, поддающихся такому механическому разделению, и искать в центре их так называемое ядро, которое якобы там находится. Даже если бы такое ядро действительно существовало, оно не могло бы быть объяснено с помощью одной геометрии или чисто математических отвлеченных рассуждений» [18].

Сейчас мы знаем, что Ромэ-Делиль потерпел поражение не только в дискуссии с Гаюи, но и в истории дальнейшего развития науки о кристаллах. Именно структурное направление в кристаллографии, одним из зачинателей которого был Гаюи, привело ее к тем грандиозным успехам, свидетелями которых мы являемся. Однако, критикуя идейные позиции Ромэ-Делиля, этого «усерднейшего труженика на поприще исследования кристаллов», по характеристике великого русского кристаллографа Е. С. Федорова (1853—1919) [19], не следует забывать того, что именно он создавал тот фактический фундамент науки, без которого не были бы возможны и последующие построения теоретиков во главе с Гаюи.

Прежде чем перейти к обзору творчества самого Р. Ж. Гаюи, необходимо остановиться на публикациях выдающегося шведского химика и минералога Торберна Бергмана (1735—1784), отчасти предвосхитившего открытия и теоретические обобщения великого французского кристаллографа.

В 1773 г. вышла в свет статья «О различных кристаллических формах шпата, объясненных Торберном Бергманом». Позднее она была включена в книгу «Мелкие заметки химические и физические Т. Бергмана» (1779—1783). Рассуждения ученого базируются на результатах тщательного изучения спайности известкового шпата (на это явление обратил внимание ученик Бергмана И. Г. Ган). Приняв за основу спайный ромбоэдр кальцита, Бергман описывает построение из совокупностей таких ромбоэдров, образующих слои роста различных форм минерала: гексагональной призмы с пинакоидом, тригонального скаленоэдра и др. Однако он не ограничивается этим, а приписывает спайному ромбоэдру кальцита («ядру шпата») чуть ли не универсальное значение, выводя с помощью геометрически подобных ромбоэдров формы других минералов: турмалина, граната, циркона и проч. Само собой разумеется, что при этом совершенно не учитыва-

лись различные угловые величины, свойственные данным минералам.

Выводя из одной единственной исходной формы, геометрически подобной спайному ромбоэдру кальцита, формы различных минералов, Бергман, однако, не связывает непосредственно эти построения с формами элементарных частиц (элементарные частицы представлялись ему в виде одномерных молекул — «нитей»).

В отличие от Бергмана, как будет показано ниже, Гаюи считал, что каждому окристаллизованному веществу соответствует своя характерная форма молекулы, которую он стремился определить, изучая спайные осколки кристаллов (предельно малые осколки отождествлялись им с кристаллическими молекулами).

Несмотря на это коренное различие в основных взглядах обоих ученых, в позднейшей литературе неоднократно появлялись упоминания о зависимости структурной теории Гаюи от теоретических высказываний Бергмана. При этом подчеркивалось, что и Бергман, и Гаюи в своих построениях исходили из изучения спайности кальцита.

Лучшим ответом на такие замечания могут служить как приведенные выше данные о существенном различии теоретических взглядов Т. Бергмана и Р. Ж. Гаюи, так и тексты следующих глав нашей книги, всецело посвященные творчеству последнего.

Первая книга Р. Ж. Гаюи — «Опыт теории структуры кристаллов»

Свои первые открытия и обобщения Р. Ж. Гаюи описал в небольшой книжке, увидевшей свет в 1783 (84) г. Она называлась «Опыт теории структуры кристаллов и ее применение к разнородным кристаллическим веществам» [1]. В этом произведении уже четко намечался тот путь, по которому ученый будет твердо и целеустремленно следовать на всем протяжении своей творческой деятельности.

Приступая к анализу достижений великого французского кристаллографа, необходимо прежде всего ознакомиться с содержанием и сущностью его первой моногра-

фии, занимающей одно из самых почетных мест в истории науки о кристаллах [2].

В кратком предисловии автор предупреждает читателя о трудностях трактовки предмета, где «все является пропорцией и закономерностью». Основная трудность заключается в том, что «необходим испытанный глаз для усвоения чертежей, большая часть которых изображает с помощью пересекающихся по всевозможным направлениям линий рельефные предметы на плоскости». Напомним, что и сейчас все изучающие курс кристаллографии знакомятся с понятиями о трехмерных фигурах (кристаллических многогранниках или структурах) исходя из плоскостных изображений на страницах учебников. На помощь здесь приходят привычные нам объемные модели таких фигур — деревянные, картонные, стеклянные, — хорошо знакомые современным студентам. В конце XVIII в. еще не читались студенческие курсы по кристаллографии, не были известны тогда и учебные модели. Поэтому Гаюи советует своим читателям самостоятельно готовить подобные фигуры: «Желательно, чтобы читатели, которые захотят проследить детали описанных примеров, изготовили бы из картона или других материалов фигуры, изображающие главные разновидности кристаллов». Рекомендует он также воспользоваться «развертками», помещенными в книге. «Это позволит, — заключает ученый, — придать искусственным кристаллам формы, в точности подобные моделям, созданным Природой».

После предисловия следует обширное введение, в котором автор вводит читателя в курс рассматриваемых им вопросов. Очень образно он рассказывает о том, что представляют собой кристаллические образования. «С какой бы точки зрения ни рассматривать Природу, всегда поражает обилие и разнообразие ее творений. Украшая и оживляя поверхность земного шара постоянным чередованием живых существ, она в то же время в своих подземных расселинах тайно подвергает обработке неорганические вещества и, как бы играя, порождает бесконечное разнообразие геометрических форм. Известно, что когда молекулы минеральных веществ находятся во взвешенном состоянии в жидкости, обладающей определенной чистотой и плотностью, они обнаруживают тенденцию к взаимному сближению. Сближаясь и соединяясь друг с другом, они образуют в совокупности многогранники, ограниченные обычно плоскими гранями. Этим телам и

дали название кристаллов. За последние несколько лет изучение таких тел значительно продвинулось вперед и открыло перед естествоиспытателями целый ряд новых интересных явлений, позволило им увидеть, что даже мельчайшие молекулы материи подвержены, в силу высшей мудрости, постоянно действующим законам, порождающим определенную гармонию и порядок».

Переходя к сведениям об окристаллизованных минералах, Гаюи отмечает то, что минеральных видов значительно меньше, чем животных и растений. «В этом отношении их исследование требует меньшего напряжения ума, который не рассеивается между многими объектами и ввиду этого может легко уловить всю совокупность явлений и их взаимную связь».

Однако же здесь встречаются другие трудности, обусловленные тем, что одно и то же вещество может принимать разные формы. По этому поводу Гаюи пишет: «В животном и растительном мире различные индивиды одного и того же рода несут на себе явственный отпечаток своего прототипа... Что же касается минералов и в особенности кристаллов, то здесь, наоборот, разновидности одного рода часто кажутся с первого взгляда не имеющими между собой ничего общего». Здесь и в дальнейшем современный читатель должен иметь в виду, что «разновидностями» Гаюи называл кристаллы одного и того же вещества с разными комбинациями граней. В качестве примера таких «разновидностей» ученый упоминает о трех «ромбоидах» (ромбоэдрах) известкового шпата (кальцита), которые отличаются друг от друга «своими плоскими углами, или, что сводится к тому же, большим или меньшим наклоном своих граней». Вместе с тем, напоминает автор, эти разнообразные формы одного и того же минерала должны быть «образованы совершенно одинаковыми молекулами».

Существует, кроме того, и другое затруднение, прямо противоположное первому. Это — «сходство форм в веществах, абсолютно чуждых друг другу по своей природе». Так, например, самые различные минералы могут принимать форму октаэдра или куба. Здесь Гаюи, несколько забежая вперед, упоминает о том, что им найдены способы, «которые помогли частично устранить эти трудности». Однако, прежде чем перейти к ним, он считает необходимым сообщить о двух основных задачах изучения кристаллов. Первая заключается в определении раз-

личных кристаллических форм с целью распознавания минералов. Вторая состоит в сравнении таких форм между собой с целью объяснения внутреннего механизма их структуры. «Следуя таким путем,— пишет далее Гаюи,— кристаллография сможет стать наукой с твердо установленными принципами, из которых можно будет извлечь соответствующие данные, способные пролить свет на явления, до сих пор еще покрытые мраком неизвестности».

Касаясь первой задачи, ученый категорически заявляет, что «кристаллография никогда не сможет стать основой для классификации минералов. Ведь для этого было бы необходимо, чтобы каждый сорт минерала принимал своеобразную, только ему присущую форму», а этому препятствуют вышеупомянутые разнообразные ограничения одного и того же вещества. Следовательно, эти формы могут быть использованы только дополнительно в качестве второстепенных признаков (наряду с изломом, твердостью, блеском и т. д.). Как будет показано дальше, ученый впоследствии приписывал кристаллографии значительно более важную роль в деле диагностики минералов.

Переходя ко второй задаче («Установление теории на основе кристаллизации»), Гаюи, очевидно полемизируя с Ромэ-Делилем, замечает: «Как мне кажется, до сего времени слишком пренебрегали исследованиями, которые позволили бы достичь этой цели». Несмотря на отмеченные выше затруднения, он отмечает, что все же сходные формы разнородных кристаллов обычно отличаются друг от друга своими угловыми характеристиками, тогда как «эти углы и оси (высоты пирамид) постоянны в одной и той же разновидности кристалла, какова бы ни была страна, откуда он был доставлен». Кроме того, обнаруживаются переходы от одной формы к другой, отчетливые градации, свидетельствующие о сходстве, которого с первого взгляда нельзя было и подозревать.

Эти наблюдения и побудили ученого «сделать первый шаг в изучении кристаллов», тем более что, по его убеждению, подобные явления, «по-видимому, связаны с одной из общих причин движения тел и с самыми значительными явлениями природы». Вместе с тем он не ставит перед собой задачи «изыскания способа действия первоначальных сил, которым подчиняется кристаллизация», оставляют им в стороне и рассуждения об «объеме молекул», «плотности жидкости», «ее температуре», «форме полос-ти», в которой формировались кристаллы, и т. п.

Гаюи задался определенной целью «определить форму составных молекул кристаллов и способ их взаимного расположения в каждом кристалле». (там же). «Именно это сочетание я называю структурой», — подчеркивает он. О некоторых законах, которым подчиняется структура, речь будет идти дальше. С ними связаны те изменения, которые вызывают «все разнообразие форм, наблюдаемое в кристаллах».

Вслед за тем ученый напоминает о том, что создаваемая им теория теснейшим образом связана с геометрией. «Один вид кристаллических многогранников, которые кажутся обработанными невидимой рукой, вооруженной линейкой и компасом, наталкивает на мысль о необходимости применения точных методов математических наук для изучения подобных объектов».

Далее автор «Опыта» описывает свои знаменитые наблюдения над спайностью известкового шпата (кальцита), натолкнувшие его на создание структурной кристаллографической теории. «Наблюдение над известковым шпатом, имеющим форму шестигранной призмы, заканчивающейся двумя шестиугольными гранями (комбинация гексагональной призмы $\{10\bar{1}0\}$ и пинакоида $\{0001\}$. — *М. Ш., II. Ш.*), внушило мне мысль, которая легла в основу всей теории. Я заметил, что кристалл этого рода, случайно отделившись от штуфа, был обломан в косом направлении, причем, судя по чистоте излома и по блеску, полировка была произведена самой Природой. Тогда я решил попытаться получить в той же призме изломы в других направлениях. После многих попыток мне удалось получить с каждой стороны призмы три косых сечения. Посредством новых сечений, параллельных первым, я смог отделить ромбоид (ромбоэдр $\{10\bar{1}1\}$. — *М. Ш., II. Ш.*), совершенно подобный исландскому шпату, который находится в середине призмы. Пораженный этим открытием, я взял другие известковые шпаты, как, например шпат, образующий ромбоид с крайне тупыми углами (тупой ромбоэдр типа $\{10\bar{1}2\}$. — *М. Ш., II. Ш.*), и шпат, поверхность которого состоит из двенадцати пятиугольных граней (комбинация гексагональной призмы $\{10\bar{1}0\}$ и ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$. — *М. Ш., II. Ш.*). Я нашел там то же ромбоидальное ядро, как и в вышеупомянутой призме. Аналогичные опыты, произведенные над кристаллами многих других видов, достаточно мягкими для того, чтобы их можно было четко разделить, дали мне ядра других форм, причем в

кристаллах одного и того же вида эти ядра были неизменными.

На основании опытов, произведенных над вышеупомянутыми кристаллами, и по аналогии с кристаллами, которые не могли быть разделены в силу их твердости, я счел возможным установить общий принцип. Согласно этому принципу всякая разновидность одного и того же кристалла (кристаллического вещества.— *М. III., II. III.*) заключает в качестве ядра кристалл, который имеет примитивную форму своего рода. Эта форма, как видно, не является случайной, а predetermined самой Природой».

Приведенный отрывок требует некоторых пояснений. Прежде всего отметим то, что описание открытия, сделанное самим автором, не совсем совпадает с легендой, рассказанной Кювье. Сперва ученый заметил на призматическом кристалле кальцита ясно выраженный скол по ромбоэдрической спайности. Искусственным путем ему удалось затем получить такие же сколы, параллельные другим ромбоэдрическим плоскостям. Отделяя по спайным плоскостям все новые части кристалла, Гаюи в конце концов получил осколок в форме основного ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$. Таким путем ему удалось выделить из призматического кристалла кальцита его «примитивную форму» — ромбоэдрическое «ядро». Во всех других образцах кальцита, имевших иное огранение (в других «разновидностях известкового шпата», по терминологии самого ученого), выделяемые из них «ядра» были совершенно одинаковыми (т. е. имели форму все того же спайного ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$) (рис. 1).

Из приведенной выше цитаты видно, что Гаюи не ограничился кальцитом. Он стал искать соответственные «ядра» в кристаллах других минеральных видов. При этом обнаружилось, что каждый вид характеризуется своей «примитивной формой», неизменной для всех его кристаллов и отличной от всех соответственных форм других видов. Здесь, конечно, следует подчеркнуть огром-

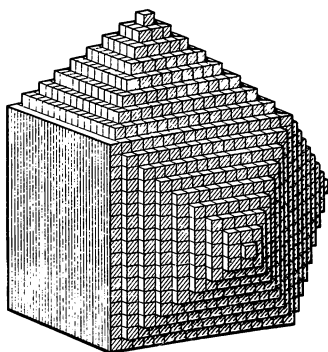


Рис. 1. Строение кристалла из интегрирующих молекул

ное преимущество этих выводов по сравнению с явно неудачной концепцией Т. Бергмана, выводившего формы различных минералов — турмалина, граната, циркона и даже пирита — из одной единственной исходной формы, — все того же спайного ромбоэдра кальцита. Кстати, в конце введения Гаюи упоминает о публикациях Т. Бергмана, отмечая «чистую гипотетичность» его концепции и подчеркивая полную независимость от них своего «способа рассмотрения кристаллизации».

Далее автор «Опыта» переходит к вопросу о том, каким образом из примитивных форм могут складываться вторичные формы, отличающиеся по виду от первичных (примитивных). В частности, как, например, можно получить гексагональную призму кальцита, исходя из основного ромбоэдра? «Я предположил, — писал Гаюи, — что грани вторичных кристаллов не следует рассматривать как геометрические плоскости. Я нашел в них целый ряд мельчайших неровностей. Так, например, их слои имели края, расположенные не на ребрах плоскости, а несколько отступали от них, подобно ступеням лестницы, даже во многих случаях край каждого слоя, вместо того чтобы образовывать цельное ядро, имел зубчатую форму и обнаруживал поочередно входящие и выступающие углы».

Итак, согласно воззрениям ученого, кристаллы представляют нечто подобное кирпичным кладкам, сложенным из «кирпичиков», имеющих форму примитивных «ядер». Грани на поверхности кристалла, не параллельные граням «ядер», образуют при этом не плоскости, а ступенчатые и зубчатые поверхности.

Почему же все-таки эти поверхности нередко кажутся нам более или менее совершенными геометрическими плоскостями? Гаюи предполагает, что такой вид вторичных граней является «обманчивым»: «Если довести механическое деление кристалла до последнего предела, то остаются только молекулы, совершенно сходные друг с другом и с ядром, заключенным в кристалле... Если учесть крайне малую величину составных молекул кристаллов, то легко понять, что в случае абсолютно правильной кристаллизации эти пустоты и неровности, о которых я говорил, будут неуловимыми для наших органов чувств».

Однако природе не всегда удается завершить свою работу и довести ее до полного совершенства. В результате и возникают те ступеньки и шероховатости, о которых

упоминалось выше. Вместе с тем именно эти отклонения от идеальных поверхностей, эти недоработанные до конца детали позволяют, по мнению Гаюи, как бы заглянуть внутрь природной лаборатории, восстановить самый ход кристаллизации. «Именно поэтому,— подчеркивает ученый,— требуется внимательный глаз для того, чтобы проникнуть в ее тайны». Конечно, сейчас попытка известного кристаллографа разглядеть на гранях кристалла с помощью поверхностных скульптур поведение строящих его молекул представляется достаточно наивной. Правильным здесь является лишь то, что отмеченные несовершенства дают понятие об особенностях отложения слоев на гранях кристалла в процессе его роста. Однако сам Гаюи был уверен в правильности своего подхода: «Эти признаки, как мне кажется, подтверждают выдвинутую мной гипотезу».

Желая еще больше укрепить свою теорию, ученый обратился к математическим вычислениям, основанным на геометрических построениях. Для начала в качестве простейшего примера он берет кристаллы «морской соли» (хлористого натрия), кубические спайные осколки которых свидетельствуют, по его мнению, о том, что молекулы этой соли представляют кубики.

На кристаллах хлористого натрия иногда наблюдаются формы, именуемые «ромбододекаэдром» и «пирамидальным кубом» (тетрагексаэдром). Эти формы выводятся из куба путем наложения на каждую квадратную грань последнего четырех граней, образующих квадратную пирамиду. Приведем отрывок о построении таких пирамид из кубических молекул. «Предположим,— писал Гаюи,— что из массы маленьких кубов необходимо образовать пирамиду правильной квадратной формы, состоящую из равномерно убывающих от основания к вершине слоев. Представляется очевидным, что для образования первого слоя надо построить квадрат из маленьких кубических тел. Последующие слои лучше строить так, чтобы каждый из них имел по своему профилю на один, два, три или некоторое число рядов меньше, чем слой, который окажется непосредственно под ним. Таким образом, кубики, которые составляют последующие слои, будут представлены в виде членов убывающего ряда. Чем меньше основные кубы, тем больше вышеуказанная пирамида будет приближаться к форме пирамиды с гладкими гранями. Таким образом, если предположить, что кубы будут бес-

конечно малыми и что род лестницы, образуемой составными слоями при их убывании, станет незаметным для глаза, ступенчатая пирамида предстанет в виде настоящей квадратной пирамиды, высота которой будет изменяться в зависимости от того, будет ли ряд, представляющий вышележащие слои, более или менее сходящимся». Приведенную цитату Гаюи заканчивает следующими словами: «Именно так следует понимать законы убывания на краях пластин, слагающих вторичные кристаллы». При этом ученый ссылается на результаты своих собственных измерений угловых величин на кристаллах: «Существование вышеупомянутых законов доказывается совпадением данных вычислений с наблюдениями, поскольку углы кристаллов как плоские, так и телесные, вычисленные в соответствии с этими законами, оказываются теми же самыми, что и углы, непосредственно измеряемые на кристалле».

Здесь же впервые мы встречаемся с намеком на известный по всем учебникам кристаллографии закон Гаюи (закон рациональности отношений параметров). «Среди бесконечного числа законов убывания только крайне немногие применимы к образованию этих кристаллов». В подстрочном примечании говорится, что законы убывания могут рассматриваться независимо от теории строения кристаллов. «Небесполезно здесь указать, что если даже не принимать во внимание относительных размеров молекул, существование законов убывания тем не менее остается доказанным. В этом случае нельзя только решить, происходят ли убывания через одно, два, три или несколько рядов молекул. Однако утверждение относительно того, что убывания, имеющие место в этом случае, будут двойными по сравнению, например, с теми, которым подвергаются пластины в каком-либо другом случае, останется справедливым. Таким образом, предлагаемая мной теория не зависит в этом отношении от гипотезы, согласно которой самые обычные убывания происходят через один или через два ряда молекул. Вместе с тем такая гипотеза мне кажется вполне вероятной как по причине ее большой простоты, так и потому, что она является единственной, которая соответствует структуре вторичных кристаллов...» В этом замечательном примечании уже явно намечается закон Гаюи в привычной нам формулировке — двойные отношения отрезков, отсекаемых гранями кристаллов на его ребрах, соответствуют целым

и обычно малым числом. В самом деле, Гаюи здесь отмечает, что «самые обычные убывания происходят через один или через два ряда молекул». Указывает он и на то, что законы убывания выводятся из отношений убывания слоев для разных вторичных форм одного и того же кристаллического вещества. Исходя из ограниченности законов убывания для кристаллов данного вещества, Гаюи приходит к выводу о том, что «число разновидностей одного и того же кристалла неизбежно будет ограниченным». Под разновидностями здесь подразумеваются различные типы огранения кристаллов этого вещества (термин «кристалл», по Гаюи, соответствует в нашем понимании «кристаллическому веществу»). Образование вторичных форм ученый считает возможным связать с генетическими условиями кристаллообразования. «Из вышеизложенного следует, что все вторичные формы представляют собой не что иное, как разновидности первичной формы, образовавшиеся вследствие избытка или недостатка вещества».

Далее ученый снова возвращается к своей основной идее, согласно которой каждое кристаллическое вещество обладает своей характерной молекулой с присущей ей особой формой. Вместе с тем некоторые разнородные кристаллические вещества, как уже упоминалось выше, «принимают сходные формы». Однако и в этих случаях Гаюи пытается, ссылаясь на свои изыскания, установить их структурные различия. Так, например, кубы поваренной соли и кубы плавикового шпата (флюорита), несмотря на внешнее тождество кристаллов, обнаруживают различную спайность, а следовательно, и различную «молекулярную структуру». Для первой спайные выколки имеют форму кубов, а для второго минерала — октаэдров. Итак, «надо исходить из формы, образуемой плоскостями расколов в кристаллах, и других признаков структуры в сочетании с законами, которым подчиняется механизм этой структуры». Сущность сочинения Гаюи, по его собственной характеристике, «сводится к решению следующей общей задачи: определить для данного кристалла точную форму его составных молекул, их взаимное расположение и законы, которым следуют изменения слагающих его слоев».

Заканчивая введение к своему трактату, ученый признает, что его новая теория еще требует дальнейшего усовершенствования и что его сочинение предлагается читателям «только в качестве простого опыта».

Как видим, во введении уже содержатся достаточно подробные сведения о теории строения кристаллов и о важнейших выводах, вытекающих из этой теории. Дальнейшие главы дают развернутые формулировки новых понятий и главное — иллюстрируют их конкретными примерами.

Первая глава содержит, согласно ее названию, «Общие сведения о структуре кристаллов и о существовании первичной (примитивной) формы, заключающейся в каждом из них». Гаюи противопоставляет устаревшим сведениям о внутреннем строении кристаллов свои взгляды. Ученые прошлого «предполагали наличие внутри кристаллов подобия кровеносных сосудов, предназначенных для проникновения жидкостей, а также внутреннее движение, способствующее течению этих жидкостей, а вместе с тем развитию и сохранению вида» *.

Гаюи энергично восстает против таких вымыслов: «Внимательное изучение минералов, наоборот, показывает, что в их внутренних частях отсутствует какая-либо подвижность и гибкость. Это — простая структура без органов и без функций, одним словом, симметричное скопление молекул, последовательно соединенных друг с другом посредством силы притяжения».

Далее следует определение кристалла: «Всякий минерал, имеющий правильную форму, с гранями, которые могут быть представлены в виде геометрических фигур, носит название кристалла». Не удовлетворяясь этой несколько поверхностной формулировкой, Гаюи сразу же переходит к кристаллической структуре: «При изучении структуры кристалла следует принимать во внимание: 1) форму его составных молекул и 2) их взаимное расположение, от которого зависит сама форма кристалла».

Уточняется также и понятие «составные молекулы», связанное с представлениями о генезисе кристаллов: «Под составными молекулами я понимаю те молекулы, которые, будучи сначала взвешенными в жидкости, где они находились в растворе, соединились затем друг с другом, об-

* С этими взглядами боролись многие предшественники Гаюи, начиная с Н. Стенона. Здесь уместно напомнить определение минерала из учебника «Минералогия» шведского ученого И. Г. Валлерия (1709—1785). Перевод этой книги на русский язык был сделан в 1763 г. — «Минералы, иначе называемые подземные тела, суть такие тела, которые без жизненности и без всякого в трубочках или в жилах видимого соку растут» [3].

разовав многогранники правильной формы». Затем Гаюи отмечает, что среди различных форм одного и того же кристаллического вещества следует выделять «первичную форму». Все остальные формы являются ее производными, хотя на первый взгляд иногда и кажется, что они имеют с ней очень мало сходного. При этом ученый предупреждает, что «первичная форма указывается самой Природой, а не выбирается произвольно...». Все формы, отличающиеся от первичных, Гаюи называет «вторичными».

Детально рассказывает он об операции отделения на достаточно мягких кристаллах с помощью режущего инструмента «отдельных» слоев. «При этом поверхность этих частей сохраняет тот блестящий глянец, который придает им сама Природа». Как видим, здесь идет речь о кристаллах с хорошо выраженной спайностью. В результате таких операций «удалось установить, что все кристаллы, поддающиеся таким делениям, заключают в себе ядро первичной формы, какова бы ни была исходная форма кристалла». Этот вывод Гаюи относит и к другим кристаллам, не обнаруживающим ясной спайности: «Посредством аналогии и основываясь на внешних признаках структуры, я смог распространить это наблюдение и на те кристаллы, которые не могли быть разделены вследствие их чрезмерной твердости».

В качестве интересного примера приводится детальное описание раскалывания кубического кристалла фосфоресцирующего шпата (флюорита), в результате которого обнаруживаются октаэдрические спайные выколки. В руках ученого оказался кристалл флюорита с хорошо выраженными зонами роста по кубу. «Отличие этих слоев друг от друга может быть обнаружено внутри многих кристаллов по различному цвету или по степени прозрачности», — поясняет Гаюи, пытливо вглядывавшийся во все детали кристаллического тела, как внешние, так и внутренние. Наличие зонального роста по кубу привело его к следующему заключению о росте кристаллов флюорита. «Я считаю поэтому, что работа Природы с самого первого момента ведет в силу законов кристаллизации к созданию мельчайших кубических кристаллов, каждый из которых содержит уже в качестве ядра маленький октаэдр». Этот пример показывает, что законы сложения кристаллов из полиэдрических молекул отнюдь не так просты, как это может показаться с первого взгляда.

Вторая глава трактует «О законах убывания, которым подчинены составные пластины кристаллов, рассматриваемые в процессе их перехода от первичной формы к вторичным формам». В этой главе, помимо уже разбиравшегося выше построения пирамидальных кубов (тетрагексаэдров) из кубических частиц, детально рассматривается более сложный случай сложения октаэдров поваренной соли из тех же кубиков (такие октаэдры получил в лабораторных условиях академик Г. Ф. Руэль). Анализ этих случаев привел Гаюи к уже упоминавшейся выше гипотезе, согласно которой «при убывании дополнительных пластин происходит выпадение части молекул, абсолютно подобных тем, из которых состоит ядро. Иными словами, каждая пластина будет иметь у краев или углов на один или два ряда составных молекул меньше, чем пластина, расположенная непосредственно под ней».

Еще раз подчеркивает Гаюи и то обстоятельство, что грани вторичных форм кажутся ровными плоскостями, хотя в действительности они «сплошь испещрены маленькими бугорками, соответствующими выступающим ребрам... Если бугорки, о которых я говорил, скопятся во многих местах, они станут заметными для глаза. В действительности их можно заметить, если рассматривать с помощью лупы поверхности многих вторичных кристаллов, в которых убывания происходят по углам».

Сейчас на вопрос — можно ли, исходя из характера поверхностных скульптур на гранях, судить об их структуре — следует отвечать с большой осторожностью и существенными оговорками. Штрихи нередко связаны со ступеньками нарастания новых слоев на гранях кристаллов. Известны многочисленные случаи появления на одинаковых гранях кристаллов одного и того же вещества различных штриховок. Таковы, например, различные узоры штриховок на кристаллах пирита, вертикальная и косая штриховки на призматических гранях берилла и др. [4, 5].

Приведенные примеры показывают, что поверхность граней зависит не только от структурно-геометрических причин, она чрезвычайно чувствительна и к изменениям генетических условий [6]. В этом отношении смелый прогноз Гаюи был слишком оптимистичным. Задача определения структуры по внешним особенностям кристаллических поверхностей оказалась гораздо сложнее, чем это казалось в его время. И все же сама попытка поставить

эту задачу представляет большой и не только исторический интерес. Заканчивая вторую главу своего труда, Гаюи еще раз возвращается к своему закону малых чисел и дает более развернутую и вместе с тем очень осторожную трактовку своего открытия: «Несмотря на то что до сих пор мне приходилось наблюдать только убывания, происходящие путем удаления одного, двух и реже трех рядов молекул, можно предположить, что существуют кристаллы, в которых при каждом убывании снимается четыре, пять и более рядов молекул. Мне кажется, что эти случаи встречаются тем реже, чем больше число удаленных рядов, так как образование кристалла при этом все больше отклоняется от самого простого, правильного и, как мы могли убедиться, самого обычного закона убывания».

В дальнейшем нам не раз придется возвращаться к этому основному закону кристаллографии и к его позднейшим вариантам. Сейчас важно отметить, что этот закон был открыт Гаюи не только на основании его гипотетических структурных построений, но и в результате экспериментальных данных, полученных путем измерений угловых величин на кристаллах. Совпадение теории и практики объясняется здесь тем, что структурная гипотеза Гаюи путем замены элементарных «кирпичиков» центрами их тяжестей может быть сведена к теории решетчатого строения кристаллов, развитой впоследствии О. Браве. Сам Гаюи усиленно подчеркивал возможность проверять и уточнять экспериментальные данные теоретически вычисленными по его методу значениями углов: «Теория, которую я предлагаю, позволяет, таким образом, уточнить углы, выраженные в округленных числах и определенные крайне приблизительно путем простого наблюдения формы».

Следующие семь глав, составляющие центральную часть работы, демонстрируют примеры применения новой структурной теории к кристаллам известкового шпата (кальцита), тяжелого шпата (барита), фосфоресцирующих плавленых шпатов (флюорита), гипса, гранатов, топазов Бразилии и Саксонии, окристаллизованного песчаника из Фонтенбло. Особенно детально разработана глава, посвященная кристаллам известкового шпата. «Редко можно встретить кристаллы, более приспособленные для геометрических вычислений,— писал Гаюи.— Спайные плоскости частей, отвечающих нарастанию шпа-

та, очень легко прощупываются. Сечения, которые можно произвести по этим плоскостям, выражены очень ясно и имеют живой и блестящий глянец, не оставляющий никакого сомнения относительно структуры кристалла, хотя бы и сложной».

Здесь дается широко развернутая схема построения различных форм этого минерала из исходной первичной формы (ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$.— *М. III., II. III.*). Описание начинается с подробной геометрической характеристики самой примитивной формы с присущими ей величинами плоских углов. Вслед за тем описываются вторичные формы в виде ромбоэдра с крайне тупыми вершинами ($\{10\bar{1}2\}$.— *М. III., II. III.*), комбинации с очень тупыми вершинами и с треугольными гранями (комбинация двух ромбоэдров $\{10\bar{1}2\}$ и $\{10\bar{1}1\}$.— *М. III., II. III.*), известкового шпата с двенадцатью пятиугольными гранями (комбинация гексагональной призмы $\{10\bar{1}0\}$ и ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$.— *М. III., II. III.*), шестигранной призмы, заканчивающейся двумя правильными шестиугольниками (гексагональная призма $\{10\bar{1}0\}$ с пинакоидом $\{0001\}$.— *М. III., II. III.*), известкового шпата с двенадцатью треугольными неравносторонними гранями, известного под названием «свиной зуб» (тригональный скаленоэдр $\{21\bar{3}1\}$.— *М. III., II. III.*), ромбоэдра с острыми вершинами (ромбоэдр $\{40\bar{4}1\}$.— *М. III., II. III.*). Все эти разнообразные формы кристаллов Гаюи складывает из примитивных ромбоэдров $\{10\bar{1}1\}$ с соответственными законами убывания в выпележащих слоях. Обширные и достаточно трудоемкие теоретические вычисления основываются на тщательно измеренных величинах углов примитивного ромбоэдра.

В главе «О тяжелых шпатах» (барите) Гаюи отмечает затруднения, с которыми встречаются минералоги, пытающиеся «отличить эти шпаты от фтористых фосфоресцирующих шпатов» (флюорита.— *М. III., II. III.*). Эти два разных минерала нередко объединялись вместе в связи с их способностью «светиться в темноте». «Природа этого вещества (барита.— *М. III., II. III.*) еще недостаточно хорошо известна»,— замечает при этом Гаюи. В самом деле, состав флюорита был установлен лишь в 1771 г. Шееле; он же вместе с Ганом в 1774 г. открыл в тяжелом шпате особую «землю» — барий.

Во время публикации книги Гаюи эти открытия лишь входили в сознание химиков и минералогов, а химические анализы обоих минералов осуществлялись с огромным

трудом. Поэтому автор «Опыта теории структуры кристаллов» с полным основанием указывал на преимущества своего метода для распознавания обоих минералов. «В этом случае,— писал он,— структура, по-моему, дает наиболее точные показания для их разграничения. Если отделить с помощью режущего инструмента кусок камня, природа которого является сомнительной, и осторожно ударить по этому камню, то обнаружатся трещинки спайности. В результате получатся или ромбы, которые нельзя подразделить на треугольники, если камень относится к тяжелым шпатам, или же равносторонние треугольники, если кусок взят от фосфоресцирующего шпата». Сказанное легко понять: в случае барита на спайной плоскости пинакоида (001) в виде ромбов проступают трещинки спайности по ромбической призме {210}; в случае флюорита на спайной октаэдрической грани (111) видны следы пересекающихся с ней других октаэдрических же граней.

Структурное описание кристаллов барита Гаюи начинает с характеристики его спайных осколков в виде комбинации ромбической призмы {210} и пинакоида {001}. Эта комбинация принимается им за примитивную форму и берется в качестве основы для дальнейших вычислений. С их помощью он строит формы барита «в виде восьмигранника с острыми вершинами» (комбинация двух ромбических призм {011} и {101}) и «клинообразных кристаллов с тупыми вершинами» (комбинация двух ромбических призм). Все построения охарактеризованы строго математически с помощью соответственных законов убывания.

Существенные затруднения встретил Гаюи при расшивке «структуры» плавиковых шпатов (флюорита). Принятое им множественное число — название «шпаты» — объясняется весьма различной окраской кристаллов данного вещества. «Вследствие такой особенности,— отмечал Гаюи,— этот камень часто отождествляют с фиолетовым горным хрусталем, а также со многими другими драгоценными камнями под названием: ложный аметист, ложный изумруд, ложный рубин и т. д.»

Характеризуя кристаллы флюорита, ученый писал: «Формы плавиковых шпатов ограничиваются октаэдром и кубом... Однако, как увидим в дальнейшем, эти формы, столь простые и столь правильные, скрывают структуру крайне неопределенного характера, позволяющую только догадываться об истинной форме молекул этих шпатов». Дело в том, что в результате раскалывания кристаллов

флюорита по октаэдрической спайности получаются осколки двух сортов: в виде октаэдров и в виде тетраэдров. Об этом двойственном результате сам Гаюи писал следующее: «Различные кристаллы первичной формы, структуру которых мы до сих пор рассматривали, могут быть разделены только на маленькие кристаллы одной формы, имеющей те же углы, что и целый кристалл. Иначе обстоит дело с октаэдром плавикового шпата. Каким бы способом ни производить сечения, чтобы отделить его составные части, невозможно свести их к единой форме. Разделение всегда дает кристаллы по меньшей мере двух форм: октаэдры и тетраэдры». Которую же из этих двух форм следует принять за первичную, соответствующую «истинной форме составных молекул?»

Гаюи не решался ответить на этот вопрос и оставил его открытым: «Так как еще ни разу не удавалось получить фтористый шпат в форме тетраэдра, между тем как октаэдр со всеми его модификациями обычен для этого рода кристаллов, то было бы, по-видимому, более естественным предположить, что молекулы этого шпата имеют форму октаэдров. Однако значительная простота фигуры тетраэдра также позволяет отдать предпочтение именно этой форме. Я не решаюсь здесь остановиться на том или другом решении. Надеюсь, что задуманные мной исследования некоторых других кристаллов, структура которых также позволяет допустить наличие внутренних пустот, прольют свет на вышеуказанную проблему и дадут нам возможность утвердиться в том или другом мнении».

Параграф о первичной форме флюорита кончается вычислениями количеств пустотелых участков по отношению к количеству заполненных веществом октаэдров или тетраэдров. В первом случае количество пустот будет равно почти половине, во втором это количество будет более чем вдвое превышать количество вещества. С таким строением должна быть связана «значительная пористость тел». Двойственность решения относительно формы молекул флюорита рассматривалась ученым как досадное усложнение в его теории. Вместе с тем именно в этом пункте в отличие от других его построений он ближе всего подошел к современным нам понятиям о реальных кристаллических структурах — к структурной модели флюорита. В самом деле, раскалывая спайный октаэдр параллельно его плоскости, Гаюи получает

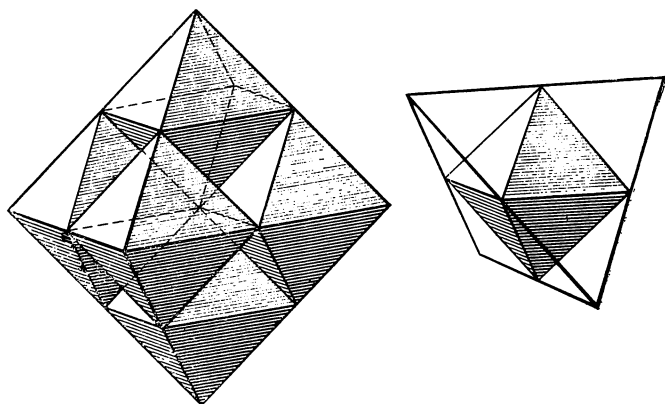


Рис. 2. Строение флюорита

шесть маленьких октаэдров возле вершин исходного октаэдра и восемь маленьких тетраэдров в серединах его граней. Дальнейшее изучение совокупностей спайных осколков показывает, что каждый октаэдр окружен восемью тетраэдрами, а каждый тетраэдр — четырьмя октаэдрами. Следовательно, в общей совокупности число тетраэдров превышает вдвое число октаэдров (рис. 2). Если бы Гаюи был знаком с формулой флюорита в современном ее виде (CaF_2), он смог бы, учитывая два сорта атомов, поместить внутри своих предельно малых тетраэдров атомы фтора, а внутри соответственных октаэдров — атомы кальция. В результате ему удалось бы получить в точности нынешнюю структурную модель флюорита, найденную с помощью рентгеноанализа через 130 лет после выхода в свет его трактата. Как это ни удивительно, но именно тот пункт, который он считал самым слабым местом в своей теории, оказался наиболее интересным впоследствии.

Описывая плавленый шпат «в виде куба», Гаюи относит такую форму к вторичным и рассматривает ее как совокупность убывающих слоев, состоящих из примитивных октаэдров и тетраэдров. В связи с этим грани куба,

по его мнению, «будут все испещрены маленькими бугорками, которые можно было бы заметить, если бы мы обладали достаточно совершенными оптическими приборами». Глава о флюорите заканчивается сопоставлением кубов поваренной соли и плавикового шпата, которые, несмотря на сходство внешней формы, обладают резко различными структурами: «Плавиковый шпат состоит только из октаэдров или тетраэдров, между тем как морская соль является соединением маленьких кубов». В разделе о гипсе первичная форма соответствует «ромбоидальным пластинам», т. е. таблитчатым кристаллам с резко преобладающим развитием спайных плоскостей по второму пинакоиду. Рассмотрены округлые «чечевицеобразные кристаллы», а также известные двойники в виде «ласточкиных хвостов». Подобные усложнения «позволяют предположить наличие множества случайных причин, нарушающих правильность процесса кристаллизации этого вещества».

Вследствие значительной твердости минерала Гаюи не смог получить «различных надрезов для отделения слоев, отполированных самой Природой». Несмотря на это, «приняв во внимание признаки кристаллизации, позволяющие судить о положении слоев», он пришел к выводу о том, что первичной формой здесь является ромбододекаэдр («двенадцать ромбов, равных и подобных друг другу»). Если рассекать такие додекаэдры параллельно их граням, то «в конечном итоге получаются неправильные тетраэдры с равнобедренными треугольными гранями». По мнению Гаюи, такие предельно малые тетраэдры образуют молекулы граната. Аналогичным строением характеризуется и цинковая обманка (сфалерит), обладающая, как известно, совершенной спайностью по ромбододекаэдру.

В небольшой главе о топазах последним приписывается первичная форма в виде четырехугольной (ромбической) призмы с боковыми прямоугольными гранями и двумя основаниями-ромбами (пинакоид {001}). Главы о конкретных минералах заканчиваются небольшой заметкой о принадлежности «окристаллизованного песчаника из Фонтенбло» к известковому шпату, обильно загрязненному кварцевым песком.

В конце своего «Опыта» Гаюи поместил заключительную главу, посвященную «наблюдениям и предположениям относительно образования и роста кристаллов».

Здесь, упомянув еще раз об образовании вторичных форм за счет убывания слоев по вышеуказанным законам, он пришел к выводу, согласно которому «самый обычный ход развития кристаллов соответствует тому, который я указал». Подтверждение сказанному ученый видел, в частности, в том, что «фигура кристалла выявляется с момента ее формирования. Все кварцевые, известковые и другие кристаллы, обнаруживаемые в одной и той же жиле, имеют одинаковую форму, независимо от их объема. Таким образом, те кристаллы, которые вследствие своей крайне малой величины не могут быть замечены без помощи оптического прибора, имеют уже форму самых больших кристаллов». Это высказывание Гаюи требует существенных оговорок: как известно, за время роста один и тот же кристалл может изменять свою форму вследствие зарастания некоторых граней, появления новых плоскостей и пр. Впрочем, и сам автор «Опыта» к приведенной цитате сделал следующее существенное примечание: «В действительности можно иногда встретить в одной и той же жиле кристаллы одинакового характера (одного вещества.— *М. Ш., И. Ш.*), но различной формы. По-видимому, эпоха кристаллизации для одних и других была различной, и они являются, если можно так сказать, «продуктом двух различных формаций».

Далее Гаюи возвратился к уже затронутому выше вопросу об особенностях формирования кубических кристаллов флюорита из октаэдрических (или тетраэдрических) частиц: «Почему невозможно разделить точно куб фосфоресцирующего шпата параллельно его граням?» Ответ, вытекающий из его же структурной теории, таков: «Это объясняется тем, что поверхности слоев (или оболочек), накладывающихся друг на друга во время роста шпата, не являются гладкими плоскостями, а всегда испещрены множеством маленьких бугорков или вершинок крошечных октаэдров либо тетраэдров. При этих условиях пластины, образующие вышеуказанные концентрические слои, окажутся как бы сцепленными одни с другими». Почему, однако, кристаллы флюорита с самого начала растут не за счет отложения слоев, параллельных граням первичного октаэдра, а вопреки им образуют зоны роста по кубу? Здесь уже приходилось ссылаться на воздействие кристаллообразующей среды, влияние которой совершенно правомерно учитывалось ученым: «Кристаллизация вещества в той или иной форме неизбежно зависит

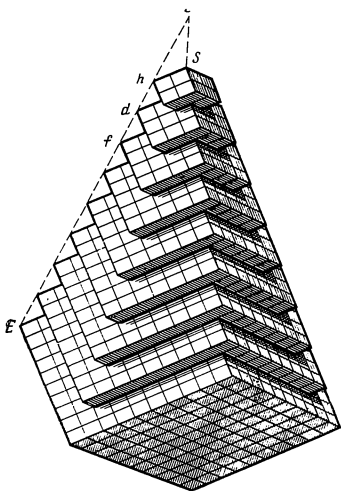


Рис. 3. Построение тригонального скаленоэдра кальцита из кубических интегрирующих молекул

установленного опытом положения, согласно которому форма кристалла есть функция не только его строения, но и свойств среды, из которой он растет» [7]. Как видим, Гаюи уже учитывал это положение.

Не менее интересной является его попытка рассмотреть механизм роста кристалла на примере формирования тригонального скаленоэдра кальцита из его ромбоэдрических молекул (рис. 3). Вот небольшой отрывок из этого рассуждения: «Посмотрим теперь, сколько нужно молекул, чтобы построить слой, не образуя никаких пустот. Пусть три ромбоида (ромбоэдра.— *М. Ш.*, *И. Ш.*) положены так, что их относительные грани параллельны граням ядра. Эти ромбоиды оставят сначала три углубления между теми из их граней, которые будут примыкать к ребрам, смежным с вершиной. Для заполнения этих углублений понадобятся три новых ромбоида. Затем потребуются четвертый ромбоид для того, чтобы заполнить пустоту, оставшуюся у вершины».

Эти теоретические высказывания очень напоминают современные нам рассуждения, рисующие рост идеального кристалла за счет отложения частиц во входящих углах между частицами нарастающего слоя (теория Косселя—

от особых причин, действующих в этом природном процессе. Может случиться, например, что фактором, заставляющим кристаллическое вещество принимать ту или иную форму, является отчасти само качество жидкости, в которой происходит кристаллизация».

Позднее ряд крупнейших кристаллографов, углубившись в геометрию кристаллов, опирались исключительно на их внутреннее строение, игнорируя воздействие внешней среды. Уже в наше время акад. А. В. Шубников, говоря о дальнейшем развитии науки о кристаллах, подчеркивал, что «дальнейшее движение (науки) идет под флагом

Странского, 1927—1928). Подсчитывая числа молекул, отлагающихся на последовательно нарастающих слоях кальцитового кристалла, Гаюи даже приводит специальную формулу, которую «можно рассматривать как алгебраическое выражение для роста кристаллов».

При этом, однако, ученый подчеркивал, что его взгляды выдвигаются лишь в качестве предположений. Вместе с тем далее он писал: «Они мне кажутся тем более правдоподобными, что соответствуют нашим представлениям о наибольшей простоте. Известно же, что простота всегда лежит в основе наиболее удачных объяснений природных явлений».

Несмотря на стремление к простоте решений, Гаюи хорошо представлял себе и многие усложнения в процессах кристаллизации. «Во всех природных процессах всегда встречаются случайности, второстепенные обстоятельства, которые изменяют действие первичных факторов. Это положение кажется особенно справедливым в отношении кристаллизации, подверженной влиянию множества частных причин, действующих друг за другом, перекрещивающихся и уравновешивающих друг друга». И все же действие таких усложнений оказывается ограниченным в пределах «от первичной формы, которую следует рассматривать как самый простой продукт кристаллизации, и до формы, являющейся результатом самых сложных модификаций вышеуказанных законов ... Мне кажется,— замечал ученый,— что определение этих границ является одной из наиболее интересных проблем естественной истории».

Затем он снова возвращается к своему излюбленному известковому шпату и дает попытку вывода «всех возможных форм этого рода кристаллов, основываясь на полученных нами данных относительно наиболее обычных законов убывания составных слоев». В результате этой попытки автор пришел к выводу о крайнем разнообразии кристаллических форм и о возможности открытия в будущем еще множества других форм. Однако он резонно замечал, что, несмотря на все сложности, «не следует с предубеждением относиться к выводам кристаллографии, ибо это может воспрепятствовать развитию науки о минералах».

В противоположность осторожному Ромэ-Делилю, рекомендовавшему ограничиваться лишь наблюдениями и не нарушать «величественного молчания природы отно-

сительно ее первичных элементов», Гаюи заканчивал свой «Опыт» следующими словами: «Будем же рассматривать Природу такой, какая она есть, упрощать изучение ее путем установления непреложных и постоянных принципов и, по мере возможности, устранять трудности, возникающие при этом изучении. Для этого необходимо связывать отдельные частности посредством самых общих взглядов, позволяющих нам расширить крайне ограниченное знание тех конечных причин, от которых зависят явления Вселенной».

Сделанный нами достаточно подробный обзор первой монографии Р. Ж. Гаюи дает представление как о содержании этого замечательного труда, так и о характере его изложения. Последнее привлекает четкостью и простотой объяснений и вместе с тем наглядностью, а местами и художественностью описаний. Чувствуется, что автор не только сам увлечен своим предметом, открытой им прекрасной гармонией кристаллов, но и старается передать читателю это чувство, которое отнюдь не препятствует строго математическим вычислениям и логической обоснованности его геометрических построений.

Резюмируя содержание монографии Гаюи, необходимо подчеркнуть, что в ней уже достаточно выпукло сформулирована его основная идея, согласно которой каждое вещество характеризуется своими, свойственными только ему, молекулами. Придавая таким молекулам полиэдрическую форму, Гаюи развил свою структурную геометрию, позволяющую строить разнообразные формы кристаллов данного вещества из молекулярных «кирпичиков» — предельно малых спайных осколков. Анализ законов убывания таких частиц в последующих слоях нарастания привел ученого к открытию закона целых и малых чисел в кристаллографии — знаменитого закона Гаюи. Даже досадное для его теории усложнение, связанное с октаэдрической спайностью флюорита, приобрело впоследствии исключительный интерес, так как предсказывало истинную атомную структуру плавикового шпата.

Итак, в первой книге великого французского кристаллографа мы находим нечто вроде программы всей его последующей научной деятельности, которой он неуклонно следовал до конца своей жизни, развивая, уточняя и углубляя отдельные ее пункты. «Опыт» произвел огромное впечатление на современников ученого и породил в науке о кристаллах новый этап, справедливо именуемый иногда «эпохой Гаюи».

В статье выдающегося русского минералога-кристаллографа акад. Н. И. Кокшарова, посвященной истории минералогии, находим следующие слова, касающиеся «эпохи Гаюи», которыми мы и закончим эту главу: «Новот является Гаюи, и перед этим великим светилом меркнут почти все другие, ему предшествовавшие. Сочинение его *«Essai d'une théorie sur la structure des cristaux»*, изданное в 1784 г., составило блистательную эпоху для истории Минералогии» [8] (кристаллография рассматривалась как часть минералогии).

Курс кристаллографии

Наиболее полное и детальное изложение теоретических и практических достижений Гаюи в области науки о кристаллах содержится в его капитальном «Курсе кристаллографии», вышедшем в год смерти ученого (1822). Здесь приводятся результаты исследований великого кристаллографа в области излюбленной и во многом им самим созданной науки. Полное название этого обобщающего труда — «Курс кристаллографии, дополненный приложением основ этой науки к определению минеральных видов и новым методом изображения кристаллических форм в проекции» [1]. Объем последнего произведения (два тома по 600 с.) Гаюи наглядно свидетельствует о быстром росте и успешном развитии кристаллографии. Изображения кристаллов и «их структурные модели» скомпонованы в 84 гравированные таблицы, составившие отдельный атлас.

В обширном введении автор рассказывает о содержании своего труда, особенностях его изложения и новых включенных в него материалах. Уже первые фразы свидетельствуют о целенаправленности «Курса»: «Теория, развитие которой является основным объектом данного трактата, находилась в стадии зарождения, когда около тридцати семи лет тому назад были опубликованы первые результаты моих исследований. Эти исследования рассматривались мной как простой опыт, требовавший дальнейших изысканий, которые позволили бы его поставить в один ряд с прочно установленными научными достижениями.

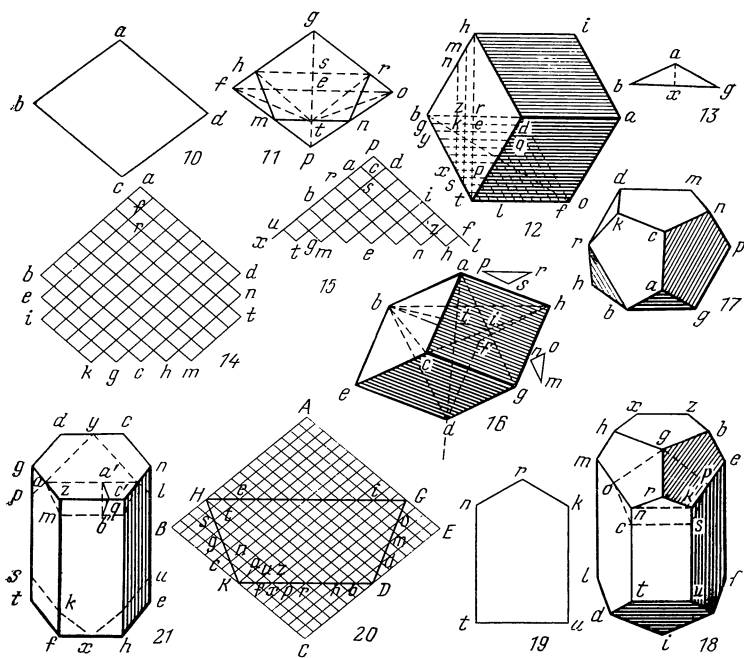


Рис. 4. Таблица из книги Р. Ж. Гаюи «Основы кристаллографии»

Свою теорию я применил лишь к небольшому числу видов, используя частные методы определения углов на кристаллах и проверки геометрических свойств по имеющимся признакам. Надежда, возлагавшаяся мной на дальнейшее успешное развитие первых результатов, реализовалась. Многочисленные применения законов структуры были описаны в моем «Курсе минералогии» 1801 г. и различных позднейших статьях. Все это свидетельствует о широком развитии упомянутой теории и, как мне кажется, все больше и больше утверждает ее правильность. Она возвысилась до степени широкого обобщения, позволяя выводить аналитические формулы, так хорошо согласующиеся с подлинным духом науки. С их помощью множество, казалось бы, отличающихся друг от друга фактов группируются вокруг единого основного факта.

Именно эту теорию я и вознамерился здесь представить в том самом виде, какой она получила в результа-

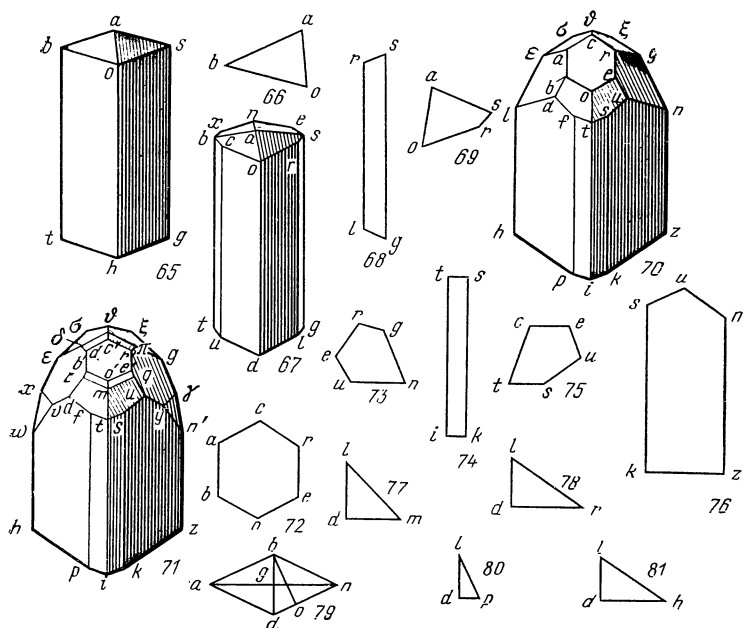


Рис. 5. Таблица из книги Р. Ж. Гаюи «Основы кристаллографии»

те моих усилий и стремлений по линии ее расширения и усовершенствования» (рис. 4, 5).

Из приведенной цитаты явствует, что Гаюи в основу «Курса» положил свою теорию кристаллической структуры, сущность которой была уже нами рассмотрена. В связи с этим в нижеследующем обзоре многое будет неизбежно повторять и даже частично дублировать уже известные нам положения.

Текст «Курса» подразделяется на: 1) Синтетическую часть; 2) Аналитическую часть; 3) Применение кристаллографии для определения минеральных видов; 4) Метод изображения в проекциях кристаллических форм.

В первой части рассматриваются кристаллические формы, «с тем чтобы сделать чувствительным для глаз то, что теория подсказывает разуму». Аналитическая часть содержит вышеупомянутые формулы и рецепты их использования для определения кристаллических форм одного и того же вида, а также выявления их взаимосвязи как между собой, так и относительно исходной примитивной фор-

мы. «Используемые здесь методы вычислений основаны лишь на знакомстве с обычной алгеброй. Однако они требуют упражнений и некоторой умудренности в подходе к построению задач и способу их решения. Ведь здесь имеет место совершенно особый случай, когда природа проявляет свое богатство, создавая свою, свойственную только ей геометрию».

Далее Гаюи переходит к более детальному обзору отдельных частей трактата, который мы здесь опускаем. Введение заканчивается следующими словами: «Я стремился ничего не упустить, с тем чтобы этот «Курс кристаллографии» содержал все способы определения кристаллических форм, рассматриваемых под двойным углом зрения — теории и метода... Мне приходится, однако, опасаться, что мой новый труд снова вызовет нарекания, уже высказывавшиеся прежде. Меня обвиняли в том, что все эти вычисления, которым я стремился приписать такое большое значение, делают минералогию недостижимой для большинства лиц, стремящихся ее изучить. По мнению критиков, наука о минералах должна довольствоваться сама собой. Ведь в учениях подлинно знаменитых людей, достигших большого прогресса в науке и сделавших ее ясной и удобопонятной для всех ученических классов, геометрия играет самую ничтожную роль.

Лучшим ответом, который следует дать ученым авторам таких замечаний, является пример лиц, не побоявшихся одолеть представшие им на пути трудности. По мере продвижения к цели эти трудности исчезли, и в конце концов победители могли поздравить себя с углубленным изучением науки, позволяющей наилучшим способом тренировать и обогащать разум, знакомя его с «объектами» как приятными, так и полезными».

Цитируя концовку введения, мы хотели бы подчеркнуть ее актуальность даже в наше время. Именно сейчас, в связи с математизацией естественноисторических наук, ведутся бурные диспуты о дифференциации и интеграции наук, о специфических особенностях каждой науки в отдельности, о точных определениях объектов каждой самостоятельной науки и т. д. Как видим, эти же вопросы дискутировались, хотя и на существенно отличающемся от современного научном уровне, минералогами и кристаллографами начала прошлого века. Прав оказался Гаюи, стремившийся придать науке о кристаллах, а вместе с тем частично и о минералах, строго геометрический ха-

ракти. Именно ему мы обязаны тем, что кристаллография, значительно опередив другие естественноисторические науки, прочно и безоговорочно встала на математический и структурный путь.

Ознакомившись вкратце с содержанием обширного введения, перейдем к обзору основного текста «Курса кристаллографии». Синтетическая часть «Курса» состоит из 20 небольших глав.

«Общая идея о минералах и об их отличии от органических существ» — таково название первой главы. Здесь мы находим характеристики представителей трех подразделений (царств) Природы: «К первому относятся животные, наслаждающиеся одновременно и жизнью и способностью чувствовать и управлять своими движениями при помощи чудесной комбинации присущих им органов. Во втором подразделении размещаются растения, также обладающие началами жизни, но лишенные чувств и произвольных движений. Третье подразделение, резко отграниченное от предыдущих, содержит минералы, состоящие из грубой, нечувствительной и неактивной материи. Они представляют совокупности однородных молекул, связанных между собой той силой, которую химики называют притяжением».

Далее Гаюи переходит к вопросу об отличительных признаках минералов в отношении их формирования и роста: «Способ роста минералов проводит еще одну новую разграничивающую черту между ними и представителями двух других царств. Рост животных и растений совершается путем одновременного развития всех частей индивида с помощью питания, получаемого через соответственные органы. Наоборот, минералы растут посредством простого наложения частиц на их поверхность. Начало их формирования обусловлено несколькими молекулами, сгруппированными вокруг одного общего центра. Новые молекулы, притянутые этим крохотным твердым телом, обволакивают его, причем каждая из них прикрепляется в точке своего соприкосновения с исходной группой».

Дальнейшее нарастание продолжается таким же способом. В результате образуется концентрическая последовательность перекрывающих друг друга слоев, каждый из которых добавляет свой объем к объему основного тела.

Можно одним штрихом обрисовать разницу между минералами, с одной стороны, и животными и растения-

ми — с другой: последние имеют организацию, а первые — только структуру. Организация предполагает комбинацию сил, пребывающих в постоянной активности. Здесь происходит что-то вроде непрестанной игры между внутренними частями, совершающими свои различные функции. Эту игру можно уподобить общению (беседе) между индивидами. В отличие от организации механизм структуры ограничивается одинаковым расположением молекул. Сила притяжения закрепляет их друг за другом и держит впоследствии связанными между собой. Если они получают возможность двигаться, то это связано с нарушениями тела».

Заканчивая первую главу, Гаюи отмечает большую привлекательность наук о животных и растениях по сравнению с наукой о мертвых минералах, «лишенных живой физиономии и языка». Однако минералы также должны привлекать внимание своим удивительным закономерно правильным видом, связанным со структурными законами, а также своими примечательными оптическими, электрическими и магнитными свойствами.

Вторая глава содержит «Понятие о кристаллической форме». Исходя из структуры минералов, Гаюи дает следующее определение кристаллов: «Молекулы, присоединяясь друг к другу поверхностями, наиболее приспособленными к такому объединению, слагают в совокупности правильные тела, ограниченные плоскими гранями и аналогичные фигурам геометрии. Такие тела называют в общем **кристаллами**, независимо от того вещества, из которого они сложены».

Нельзя не подчеркнуть ярко выраженного структурного характера этого определения, явно предвосхищающего современные определения кристаллов. Вслед за тем проводится еще одно существенное различие между минералами и органическими существами. Ссылаясь главным образом на ботанику, Гаюи пишет об этом следующим образом, отчасти повторяя высказывания своего первого труда: «Мысленно облетев земные просторы, где так хорошо распределены, согласно природным условиям, растительные богатства всех стран мира, мы придем к следующему выводу — все индивиды одного вида сходны по своей форме. Так, например, все цветы одинаковы по числу тычинок и пестиков и по их расположению. То же самое можно сказать относительно лепестков и чашечки цветка. Сходство простирается вплоть до формы стебля и

общего расположения листьев. Разница проявляется лишь в незначительных нюансах облика, в величине, в окраске. Таким образом, видевший один индивид может сказать, что он видел весь вид целиком. Наоборот, в царстве минералов кристаллы, принадлежащие одному и тому же виду, часто образуют формы, сами по себе правильные, но существенно различающиеся между собой либо по числу, либо по относительному расположению граней. В дальнейшем тексте я приведу многочисленные примеры, из которых будет видно, что существуют абсолютно несходные формы, кажущиеся совершенно чуждыми друг другу, а между тем принадлежащие одному и тому же виду. Эти контрасты тем более поразительны, что представляющие их формы несут на себе печать геометрической закономерности, а характер их правильности вызывает идею о постоянстве и однообразии.

Главной целью настоящего труда является разъяснение парадокса, порождающего такие контрасты. Будет также показано, что для множества результатов, каждый из которых кажется совершенно новой работой Природы, всегда можно распознать общее и постоянное взаимное сходство».

В следующей главе «Разделение кристаллических форм, рассматриваемых в общем виде» приводятся краткие сведения о контурах граней на кристаллах (треугольных, квадратных, ромбических, трапециевидных и др.), об углах (плоских, двугранных, телесных), о ребрах (вертикальных, горизонтальных, косых). Заслуживает внимания определение кристаллографической оси: «Осью я называю в общем прямую линию, проходящую через центр кристалла, по отношению к которой все части кристалла расположены симметрично». Здесь, еще не зная об истинных законах симметрии, Гаюи все же явно предвидит их, приписывая осям важное кристаллографическое значение. Мало того, он выделяет «главные оси», или «оси кристаллизации», которые отличаются от других «своей вертикальной направленностью, когда кристалл находится в своей натуральной ориентировке». Впоследствии понятие о кристаллографических осях будет выдвинуто на первый план немецким кристаллографом Х. С. Вейссом (1780—1856), а затем они будут играть ведущую роль в геометрической кристаллографии.

Существенный интерес представляет перечень важнейших кристаллических форм, отмеченных Гаюи. Список

начинается с тетраэдра, или «трехгранной пирамиды». Под эту рубрику попадают все четырехгранники с треугольными гранями, начиная с правильного тетраэдра и кончая низкосимметричными «триклинными» и «моноклинными» комбинациями в современном понимании. Примечательно, что тетраэдрические формы ученый обнаружил и на гранате, и на цирконе. Это объясняется тем, что, выдвигая важнейшие кристаллические формы, Гаюи исходил из излюбленных им спайных выколков. Второе место занимает куб и всяческие параллелепипеды — прямоугольные и косоугольные — вплоть до самых низкосимметричных. Отдельно выдвигается ромбоид (ромбоэдр), сыгравший такую выдающуюся роль в становлении теории. Отмечаются также призмы: «прямоугольные» (тетрагональные и комбинации из трех пинакоидов) и «ромбические» (собственно ромбические призмы). Особняком стоят «правильная гексаэдрическая» (гексагональная) и «треугольная с одинаковыми боковыми гранями» (тригональная) призмы. Далее следуют октаэдры, возглавляемые правильным (кубическим) октаэдром, из которого выводятся всяческие восьмигранники с треугольными гранями (к ним в нашем понимании относятся тетрагональные и ромбические дипирамиды и низкосимметричные комбинации). Следующими формами являются двенадцатигранники (додекаэдры) во главе с «ромбоидальным додекаэдром» (ромбододекаэдром) — «формой, принадлежащей гранату и сернистому цинку (сфалериту)». К «додекаэдрам» отнесен также «бипирамидальный додекаэдр» (гексагональная дипирамида). По мнению Гаюи, эта форма «принадлежит кварцу». В конце главы дается обстоятельное описание прикладного гониометра Каранжо — основного измерительного прибора, с которым работал ученый.

Список форм, названных Гаюи, с первого взгляда поражает своей бедностью. В нем отсутствуют такие хорошо известные Гаюи формы, как пентагон-додекаэдр пирита, тригональные скаленоэдры кальцита, тетрагон-триоктаэдры граната и т. д. Перечень напоминает по своей скудности «семь основных обликов кристаллизации», выдвинутых в 1774 г. знаменитым основателем словесно-описательной минералогии А. Г. Вернером (1750—1817) (пентагон-додекаэдр, икосаэдр, куб и ромбоэдр, «столбики», или призмы, пирамиды, таблички, линзы). Близок к списку Гаюи перечень основных форм Ж. Б. Ромэ-Делиля: тет-

раэдр, куб, октаэдр, ромбоэдр, ромбическая и гексагональная дипирамиды. Все остальные формы, по Ромэ-Делилю и Вернеру, получаются путем усечения ребер и вершин исходных основных многогранников.

Однако, несмотря на близость приведенных списков, подход к ним их составителей был совершенно различным. Ромэ-Делиль и Вернер выдвигали на первый план те кристаллические фигуры, которые чаще всего им попадались на глаза. Тем самым к форме кристаллов они подходили исключительно с внешней ее стороны. В противоположность им Гаюи, исходя из своей структурной теории, пытался вывести внешнее ограничение из внутреннего строения кристаллических тел. Единственной «лазейкой» внутрь кристаллической структуры в то время являлась спайность, которую Гаюи и принял за основу своих построений. Выделенные в его списке исходные формы были найдены в результате тщательного сопоставления наблюдавшихся многогранников с соответствующими спайными выколками. Все формы, не вошедшие в его перечень, строятся путем наложения убывающих молекулярных слоев на грани основных многогранников. Таковы, например, пентагон-додекаэдр, тригональный скаленоэдр и др.

Само собой разумеется, что попытка Гаюи создать структурную морфологию кристаллов была во многом преждевременной и имеет сейчас преимущественно исторический интерес. Однако отдельные моменты в современном учении о реальных кристаллических формах, безусловно, напоминают построения ученого. Так, например, имеются указания на то, что основной формой роста алмазных кристаллов является октаэдр, тогда как остальные формы получаются путем наложения убывающих треугольных пластинок на октаэдрические грани. Ясно, что схематические изображения таких построек почти копируют модели Гаюи.

Вопрос о доминирующих гранях на кристаллах остается и до сих пор весьма актуальным. Развитие этой проблемы пошло всецело по структурному пути, намеченному Гаюи. В середине прошлого столетия О. Браве сформулировал свой закон, согласно которому важнейшие грани соответствуют плотнейшим сеткам кристаллических решеток. С существенными уточнениями и дополнениями такой подход практикуется в основном и сейчас.

Следующая небольшая глава «Курса» — «Об изменениях кристаллических форм». Здесь прежде всего приво-

дятся примеры различных форм для кристаллов одного и того же минерала. Так, «сернистое железо» (пирит) появляется в виде: кубов, «додекаэдров с пятиугольными гранями» (пентагон-додекаэдров) и «форм с 24 трапециодовидными гранями» (дидодекаэдров). На кальците, помимо ромбоэдров, наблюдаются «додекаэдры с гранями в виде неправильных треугольников» (тригональных скаленоедров).

Затем Гаюи переходит к комбинациям из нескольких форм: «Во всех до сих пор рассматривавшихся формах грани были равны и сходны между собой; однако гораздо чаще находятся кристаллы, поверхность которых состоит из двух, трех или большего числа различных граней. При этом, если взять отдельно грани одного сорта и продолжить их до взаимного пересечения, то получится многогранник, который существует или может существовать самостоятельно для данного вида вещества».

В современной терминологии «грани одного сорта» соответствуют граням одной простой формы. В качестве простейшей комбинации из двух форм Гаюи приводит 14-гранник, состоящий из граней куба и октаэдра. Пример сложнейшей комбинации представляет кристалл пирита из коллекции самого автора, покрытый 134 гранями, подразделяющимися на 8 сортов. Этот кристалл обладал максимальным количеством граней среди всех наблюдавшихся Гаюи образцов. Отметим также замечания относительно постепенных переходов от одних форм к другим в результате постепенного развития одной из форм, входящих в комбинацию (так, комбинация куба с октаэдром в результате прогрессирующего развития одной из этих форм в конце концов переходит либо в октаэдр, либо в куб).

Далее следует серия глав, посвященных общим началам теории. Открывается она параграфом о примитивных формах. Понятие о последних выясняется из следующего отрывка: «Идея, положенная в основу изучения различных кристаллических форм одного и того же минерального вещества, заключается в том, что среди этих форм существует один тип, к которому могут быть сведены все остальные. Исходя из этой идеи, можно заключить, что твердое тело, соответствующее упомянутому типу, состоит из частиц, сходных с ним самим или строго согласующихся с ним по форме. Это твердое тело как бы вписано в каждую из различных конфигураций данного ве-

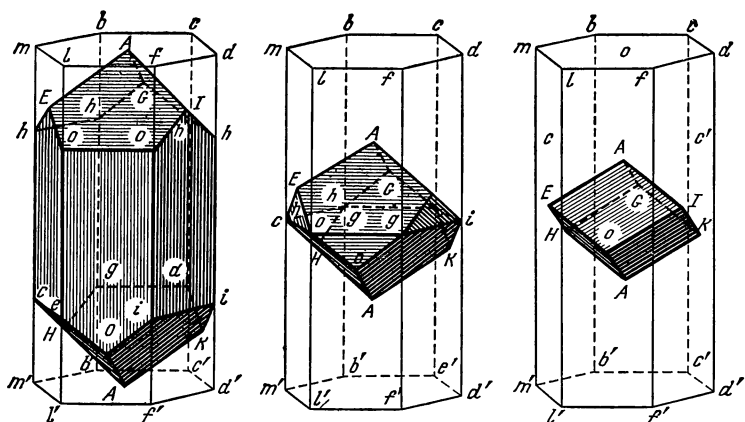


Рис. 6. Результаты последовательного раскалывания по ромбоэдрической спайности призматического кристалла кальцита

щества. Такие конфигурации зависят от законов, которым подчинены частицы наслаивающейся материи, располагающиеся симметрично вокруг внутреннего исходного тела.

Однако, для того чтобы эта идея согласовалась с реальностью, теория должна удовлетворять двум следующим условиям. Во-первых, установление формы-типа должно быть не надуманным, а указанным самой Природой. Во-вторых, расположения частиц, вызывающие переходы от типичной формы к другим, должны быть показаны с самой строгой точностью».

Затем Гаюи подробно описывает свое знаменитое открытие ромбоэдрического ядра кальцита в результате раскалывания различных по форме кристаллов минерала по плоскостям спайности. Описание иллюстрируется прекрасными гравированными рисунками, изображающими последовательные стадии этого деления с постепенными переходами от гексагональной призмы с пинакоидом до окончательного результата — «ядра» в форме спайного ромбоэдра $\{01\bar{1}1\}$ (рис. 6).

Переходя к кристаллам других минералов, обладающих спайностью, Гаюи обнаружил «ядра» иной формы. В результате он сделал следующие выводы: «Формы «ядер», полученных путем механического деления, которые я назову **примитивными формами**, относятся к сле-

дующим пяти типам: параллелепипед, октаэдр, правильный тетраэдр, правильная гексагональная призма и додекаэдр с равными и сходными ромбическими гранями». Как видим, эти формы почти повторяют перечисленные выше важнейшие кристаллические формы.

Здесь следует отметить, что «примитивные формы» Гаюи в известной мере предшествуют «параллелоэдрам» Е. С. Федорова. Напомним, что «параллелоэдрами» называются многогранники с попарно параллельными гранями, нацело выполняющими пространство при условии равенства, параллельности в ориентировке и смежности по целым граням. Четырьмя исходными параллелоэдрами являются куб (трипараллелоэдр), гексагональная призма с пинакоидом (тетрапараллелоэдр), ромбододекаэдр (гексапараллелоэдр) и кубоктаэдр (гептапараллелоэдр). Все остальные параллелоэдры получаются в результате однородных деформаций (сдвигов и растяжений) из четырех вышеназванных многогранников.

Возвращаясь к пяти «примитивным формам» Гаюи, мы убеждаемся, что только незнание октаэдра с притупленными вершинами (федоровского кубоктаэдра) заставило его рассматривать по отдельности октаэдр и тетраэдр. Все остальные примитивные формы соответствуют параллелоэдрам. В дальнейшем нам еще придется возвратиться к вопросу о теории кристаллического строения Е. С. Федорова, чтобы показать, в чем заключается ее сходство, а вместе с тем и глубокое различие, с учением французского кристаллографа.

Заключив обзор «примитивных форм», Гаюи переходит к вопросу о формах «интегрирующих молекул». Последние соответствуют предельно малым многогранникам, получающимся в результате дальнейшего деления примитивных форм вдоль плоскостей, параллельных их граням. Формы интегрирующих молекул соответствуют трем типам: тетраэдру, или простейшей (по числу граней) пирамиде, трехгранной, т. е. простейшей, призме и параллелепипеду — простейшему из всех многогранников с попарно параллельными гранями. Эти формы, ограниченные четырьмя (тетраэдр), пятью (трехгранная призма с пинакоидом) и шестью (параллелепипед) гранями, являются одновременно и простейшими замкнутыми многогранниками по числу граней. Рассмотрим, каким образом эти многогранники получаются при делении перечисленных выше пяти примитивных форм.

Легко представить, что раскалывая параллелепипед по плоскостям, параллельным его граням, мы всегда придем к более мелким параллелепипедам. Получение остальных примитивных форм — более сложное явление. Примитивное ядро в форме гексагональной призмы путем разделения по плоскостям, параллельным граням, распадается на шесть тригональных призм (основания призм — правильные треугольники). Аналогичным образом плоскости, параллельные шести парам взаимно параллельных граней ромбододекаэдра, пересекают последний на 24 равных четырехугольника, которые Гаюи называл «тетраэдрами». Гранями их являются равнобедренные треугольники (рис. 7).

Как мы уже знаем, существенное затруднение представило для Гаюи истолкование структуры кристаллов с примитивными формами в виде правильных октаэдров и тетраэдров. Случай октаэдрической спайности плавикового шпата (флюорита) и рассуждения о форме его молекул были подробно рассмотрены выше.

Дальнейшее деление интегрирующих молекул, согласно взглядам Гаюи, приводит к нарушению вещества. При этом возникают «элементарные молекулы», которые мы могли бы уподобить с известными оговорками атомам или их группировкам. «Итак, — писал Гаюи, — мы предполагаем в минералах наличие двух сортов молекул. Одни из них я называю «интегрирующими молекулами». Это мельчайшие твердые тела, которые можно выделить из минерала, не нарушив его природы. Другие я называю «элементарными молекулами». В случае кальцита это частицы извести и углекислоты».

Анализ интегрирующих молекул в виде тетраэдров, параллелепипедов и тригональных призм показывает, что все они могут складываться в параллелепипеды. В самом деле, две тригональные призмы легко сложить так, что они дадут ромбическую призму. Основание последней образует ромб с углами в 120° и 60° . Таким же образом шесть «тетраэдров», получающихся при делении ромбододекаэдра, можно сгруппировать в виде ромбоэдра. Грани последнего имеют те же углы, что и ромбы, ограничивающие додекаэдрическое ядро. В случае октаэдрического ядра Гаюи обращает внимание на то, что совокупность октаэдра и двух тетраэдров, помещенных на двух противоположных октаэдрических гранях, опять-таки соответствует ромбоэдру. Следовательно, во всех случаях,

группируя соответственным образом интегрирующие молекулы, мы приходим к параллелепипедам. Такие параллелепипеды Гаюи называет «молекулами убывания» (*Molécules soustractives*). Они-то и представляют, по его мысли, те мельчайшие молекулярные кирпичики, которые слагают в совокупности кристаллы, наподобие кирпичной кладки. Придя к выводу о наличии в каждом кристалле совокупностей маленьких параллелепипедов, равных между собой и смежных по граням, Гаюи тем самым заложил основу для теории решетчатого строения кристаллов, согласно которой кристаллические структуры соответствуют параллелепипедальным системам точек. Как известно, развитие этой теории связано с именем О. Браве, заменившего параллелепипеды Гаюи центрами их тяжести. Своим зарождением современная структурная кристаллография в основном обязана Гаюи.

После краткого обзора учения Гаюи об элементарных частицах, слагающих кристаллические тела, вернемся к вопросу о различии внешних форм кристаллов одного и того же вещества. Сам Гаюи отмечал, что с помощью «молекул убывания» теория приходит к простым законам относительно различных метаморфоз в кристаллах.

Для выяснения этих законов Гаюи пытается реконструировать кристалл, идя путем прямо противоположным тому, с помощью которого он подошел к молекулярным многогранникам. Выше описывалось, каким образом можно выделить из кристалла его ядро (примитивную форму). Это достигалось путем откалывания от кристалла последовательных пластинок слоев, параллельных граням ядра. По мере приближения к ядру размеры отделяемых пластин в общем увеличивались. Ясно, что при реконструкции кристалла следует накладывать на ядро те же пластины, но в обратном порядке. По мере удаления от ядра размеры их будут убывать. В качестве простейшего примера приводится уже рассмотренное выше построение ромбододекаэдра из кубических интегрирующих молекул с основным ядром в форме куба (см. рис. 1). Для пентагон-дodeкаэдра слои, налегающие на исходный квадрат кубического ядра, образуют как бы четыре лестницы. Две из них, направленные от двух противоположных сторон квадрата, слагают ступеньки, ширина которых вдвое превышает высоту. Напротив, ступеньки двух лестниц, идущих от второй пары сторон квадрата, имеют высоту, вдвое превышающую ширину. Таким образом, пер-

вые две лестницы поднимаются в четыре раза медленнее, чем две вторые. Совокупности описанных ступенек образуют грани пентагон-додекаэдра (так же как и в случае ромбододекаэдра грани эти кажутся плоскими в связи с ничтожными размерами интегрирующих молекул). Полученный пентагон-додекаэдр с первого взгляда напоминает правильный додекаэдр геометров, с которым

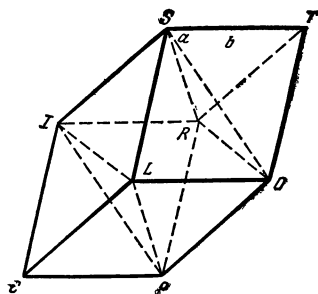


Рис. 7. Ромбоэдр, сложенный из двух тетраэдров

его нередко отождествляли минералоги. Изменяя высоту и ширину ступенек из кубических молекул, можно получить различные типы пентагон-додекаэдров. Однако, как доказал Гаюи, ни один из законов убывания слоев не приводит к образованию правильного додекаэдра. Последний, следовательно, не имеет места в кристаллографии. Это утверждение, являющееся элементарной аксиомой современной кристаллографии, в свое время было совершенно неожиданным. Ведь незадолго до этого А. Г. Вернер к числу основных кристаллических форм причислял и правильный додекаэдр и икосаэдр.

До сих пор мы имели дело с построением кристаллических форм из кубических молекул, налегающих на кубическое ядро. На рис. 3 изображено построение дитригонального скаленоэдра кальцита путем убывания слоев ромбоэдрических молекул, лежащих на основном ромбоэдрическом ядре.

Рассмотренные выше примеры, согласно Гаюи, относятся к так называемым законам «убывания по ребрам». Действительно, в случае построения ромбододекаэдра и пентагон-додекаэдра каждый новый выпшележащий слой отличается от нижнего слоя тем, что в нем содержится на один или на несколько рядов меньше интегрирующих кубиков, причем все эти ряды идут параллельно ребрам квадратной грани исходного ядра. Аналогичное явление имеет место и для скаленоэдра кальцита.

В отличие от законов «убывания по ребрам» Гаюи выделил законы «убывания по углам». Сюда относится случай построения октаэдра с помощью кубических молекул на основе кубического ядра. (Реальным примером

такого случая, по мнению Гаюи, являются октаэдры поваренной соли, получающиеся при добавлении к раствору мочевины.) При таком построении в каждом последующем квадратном слое приходится удалять молекулярные кубики, начиная от угла квадратного слоя. Так, в первом слое, налегающем на квадратную грань ядра, возле вершины квадрата удаляется один интегрирующий кубик. Следующий слой отличается от предыдущего отсутствием возле вершины квадрата трех интегрирующих кубиков: один из них лежит, как и раньше, у самой вершины, два других находятся по соседству с ним вдоль ряда, параллельного диагонали квадрата. В третьем слое возле вершины квадрата отсутствует уже шесть интегрирующих молекул: три из них расположены так же, как и во втором слое, а три других лежат в следующем ряду, опять-таки параллельном диагонали квадратной грани. Дальнейшее построение слоев идет по тому же правилу.

Грани, полученные описанным выше способом, представляют собой совокупности множества выступов, принадлежащих свободным вершинам интегрирующих кубов. Согласно Гаюи, такие выступы не улавливаются вследствие предельно малой величины молекул, и поэтому грани представляются в виде плоскостей.

Помимо отмеченных законов убывания, Гаюи рассматривает еще и другие случаи «промежуточного» и «смешанного» убывания, которые мы здесь опускаем. Законы убывания молекул в большинстве случаев чрезвычайно просты. «Кристаллизация ограничивается лишь некоторыми случаями, незначительно отступающими от наибольшей простоты,— писал ученый.— Чаще всего убывания молекул осуществляются в результате отступления на один или два ряда, иногда на три или четыре, реже на пять или шесть». Так формулируется основной закон кристаллографии, известный теперь под названием «закона Гаюи». Он ограничивает возможность появления сложных вторичных форм, получаемых из первичного ядра. На основании этого закона можно предсказать теоретически, какие формы будут наиболее вероятными для того или иного кристалла.

Значение целых и малых чисел приводит на память известный закон кратных отношений Дальтона — если два элемента образуют друг с другом несколько химических соединений, то на постоянное количество одного из них приходится разные количества другого, относящиеся

как целые и притом небольшие числа. Это сходство особенно бросается в глаза, если вспомнить современную формулировку закона Гаюи — двойные отношения отрезков, отсекаемых двумя любыми гранями кристалла на пересекающихся ребрах его, равны отношению целых и обычно малых чисел.

Отмеченное сходство двух законов не является случайным. Гаюи и Дальтон (1766—1844) были современниками, оба основывали свои теоретические высказывания на одной и той же гипотезе — строения материи из мельчайших элементарных частиц (атомов, молекул). Закон Дальтона сводится в общем к тому, что в состав химической молекулы обычно входит небольшое число атомов. В свою очередь, по закону убывания Гаюи, число элементарных частиц, присоединяющихся друг к другу при образовании ступенек в кристаллических постройках, также очень невелико. (Напомним, что свой закон целых и малых чисел Гаюи сформулировал в 1783 г., тогда как открытие Дальтона относится к 1803 г. Не исключена возможность, что он знал об открытии Гаюи.)

Для полноты обзора теории Гаюи необходимо остановиться на его законе симметрии: «Законы убывания подчиняются другому закону, который мы назовем законом симметрии. Согласно требованию этого закона, на всех идентичных частях ядра одновременно повторяется один и тот же род убывания частиц. Идентичные части ядра обладают между собой таким сходством, что при их взаимной замене путем перемещения ядра относительно глаза облик ядра будет казаться неизменившимся». Так, например, при убывании частиц на одном из ребер куба или на одной из его вершин подобное убывание будет наблюдаться и на всех других его ребрах или вершинах. Этим, по сути дела, и ограничивается все то, что Гаюи подразумевал под симметрией кристаллов. Следует, однако, иметь в виду, что до него вообще почти не обращалось внимания на эту основную особенность кристаллических тел. Любопытно отметить, что неодинаковость двух концов турмалина Гаюи рассматривал как исключение из закона симметрии и приписывал это явление влиянию посторонних причин, связывая с ними и пирозлектрические свойства турмалина.

Исходя из своего закона симметрии, Гаюи создал особые символы для точного обозначения кристаллических форм. Он первым осознал необходимость математически

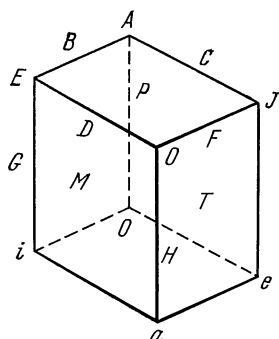


Рис. 8. Рисунок, поясняющий кристаллографические символы

точных характеристик для форм кристаллов и с этой целью разработал систему символов. Сейчас эта отошедшая в область истории система представляет для нас интерес потому, что она всецел основана на теории кристаллического строения Гаюи. Его символы являются в своем роде «структурными символами».

Как указано выше, по теории Гаюи, кристаллы состояются из элементарных многогранников. Такие частицы,

присоединяясь друг к другу, образуют на основных гранях кристалла постройки в виде ступенчатых лестниц. Поднимаясь от одной ступеньки к другой, мы констатируем закономерное убывание частиц, входящих в состав ступенек. Каждой кристаллографической форме отвечает свой строго определенный «закон убывания». С помощью законов убывания Гаюи и разработал кристаллографическую символику. В основу ее он кладет упомянутые выше примитивные формы. Вершины и ребра примитивной формы обозначаются специальными буквами (симметричным частям приписываются одинаковые буквы). Буквы сопровождаются цифрами, характеризующими закон убывания, имеющий место для того или иного ребра или вершины и дающий в результате ту или иную вторичную форму.

Вершины параллелепипеда обозначены гласными буквами, следуя алфавиту: *A, E, I, O*. Ребрам соответствуют согласные буквы: *B, C, D, G, H*. Грани основной формы отмечены буквами *P, M, T* — это начальные буквы слогов в слове Primitive (рис. 8).

Пусть вершина *O* рассматриваемого параллелепипеда притуплена гранью вторичной формы. Такая грань может получиться путем убывания по направлению к грани *P, T* либо *M*. В первом случае цифра ставится над буквой, во втором — справа от нее, в третьем — слева. Например, символ $\overset{2}{O}$ указывает на убывание в два ряда шириной параллельно диагонали *EI* основной грани *P*. Таким же образом O^3 соответствует убыванию в три ряда парал-

лельно диагонали Ia грани T . Наконец 4O обозначает убывание в четыре ряда по диагонали Ea грани M .

Убывание частиц по ребрам B , C , D , F также обозначается соответственно расставленными цифрами. Например, 2D обозначает убывание в два ряда, направленное от ребра к C ; 3D — убывание в три ряда, идущее от ребра D к грани M ; 4H — убывание в четыре ряда, направленное от H к G , и т. д.

Символы Гаюи представляют интерес как первая попытка обозначения внешних форм с помощью примитивной формы, т. е. внутреннего строения. В дальнейшем учение о кристаллографических символах базировалось на законе рациональности отношений параметров, отвечающем вышеупомянутому закону Гаюи. Из курса элементарной кристаллографии известно, что, исходя из этого закона, мы принимаем за кристаллографические оси ребра кристаллов (или оси симметрии) и вычисляем двойные отношения отрезков, отсекаемых гранями на данных осях. При этом одна из граней, пересекающая координатные оси, принимается за единичную (отрезки, отсекаемые ею на координатных осях являются единицами измерения или масштабами для соответствующих осей).

Главой о символах («показательных обозначениях кристаллов») заканчивается первая, «синтетическая» часть «Курса» Гаюи.

Вторая, «аналитическая» часть демонстрирует различные законы убывания для важнейших примитивных форм: ромбоэдра, куба, параллелепипеда, гексагональной призмы, ромбододекаэдра, октаэдра, тетраэдра. Текст насыщен математическими формулами, примерами вычислений, рецептами для дальнейших изысканий. Отдельно рассматривается случай «бипирамидального додекаэдра» (гексагональной дипирамиды), характеризующего кристаллы кварца. Гаюи относит эту форму к вторичным, правильно приписывая кварцу примитивную форму в виде ромбоэдра.

Представляет особый интерес глава «О гемитропиях и транспозициях». «Слово гемитропия (греч. «полуповорот»), которым я обозначаю некую игру кристаллизации, описанную ниже, не должно пониматься в прямом смысле. Оно обозначает лишь то, что соответственное тело, называемое мной гемитропным кристаллом, выглядит так, как будто во время его формирования одна из его половин повернулась на поворот вокруг его центра и затем при-

соединилась в повернутом виде к другой половине, оставшейся неподвижной» [2].

Далее Гаюи отмечает, что на таких кристаллах часто наблюдаются входящие углы. Под именем «гемитропных кристаллов» ученый имел в виду двойниковые сростки. Однако сюда же он присоединил и некоторые одиночные кристаллы, обладающие центром инверсии — элементом симметрии, тогда еще неизвестным.

Последняя глава «аналитической» части описывает «закругления на многих кристаллах, связанные с разрушающими причинами» — окатыванием и растворением.

Третья часть «Курса» посвящена «применению кристаллографии для определения минеральных видов». Трактующие здесь вопросы будут рассмотрены в следующей главе нашей книги.

Наконец, последняя, четвертая часть содержит описание «метода изображения в проекциях кристаллических форм». Здесь мы находим подробные рецепты изображения кристаллов в виде ортогональных проекций.

Заключая обзор монументального «Курса» Гаюи, дающего наиболее ясное представление о его достижениях в области науки о кристаллах, необходимо подчеркнуть ряд важнейших моментов, давших основу для будущей структурной кристаллографии. Напомним еще раз, что вывод Гаюи о наличии в каждом кристалле совокупности маленьких равных параллелепипедов, параллельно ориентированных и смежных по целым граням, стал первоосновой для теории решетчатого строения кристаллов. Учение Е. С. Федорова о роли параллелоэдров в кристаллической структуре во многом родственно теории Гаюи.

Выдержала испытание временем и основная мысль Гаюи о том, что каждое кристаллическое вещество характеризуется своей, присущей только ему, формой молекул, т. е. структурой. Следует отметить, что именно эта идея после открытия немецким физиком Э. Митчерлихом (1794—1863) явлений изоморфизма и полиморфизма подверглась наибольшим нападкам. Однако сейчас положение, согласно которому каждое кристаллическое вещество характеризуется своей структурой, не вызывает возражений. Лучше всего это подтверждается словами крупнейшего современного кристаллохимика В. М. Гольдшмидта (1888—1947): «Первое важное положение кристаллохимии выражается законом Гаюи, согласно которому каждому химически однородному веществу соответствует

группа кристаллических форм, характерная именно для данного вещества, так что одинаковость и неодинаковость двух веществ можно установить уже по форме кристаллов... Закон этот до сих пор является основой кристаллохимии, ибо он содержит в себе положение, что кристаллическое строение вещества зависит от химического состава и что изменение химического состава влечет за собой изменение строения кристалла» [3].

Наконец, следует упомянуть и еще один закон, носящий ныне имя его первооткрывателя, — целых и малых чисел для кристаллов. Этот закон Гаюи содержится во всех курсах элементарной кристаллографии.

Перечисленное, на наш взгляд, убедительно показывает, почему имя Гаюи стоит на одном из первых мест среди имен величайших кристаллографов: Стенона, Ромэ-Делиля, Вейсса, Браве, Федорова.

Р. Ж. Гаюи — минералог, химик, физик

Имя Р. Ж. Гаюи занимает почетное место не только в истории кристаллографии, видная роль принадлежит ему в развитии минералогии, химии, физики. Прежде всего следует напомнить, что в конце XVIII — начале XIX в. наука о кристаллах почти всецело базировалась на минералогическом материале и в связи с этим рассматривалась как часть минералогии. Не случайно и значительно позднее курсы кристаллографии в высших учебных заведениях именовались курсами «предуготовительной минералогии», а самой кристаллографии отводили роль «служанки минералогии». Лишь немногие выдающиеся ученые понимали, что наука о кристаллах с ярко выраженной спецификой изучаемых ею объектов представляет совершенно самостоятельную научную дисциплину, тяготеющую к математике, физике и химии, хотя и связанную исторически с минералогией. К числу таких ученых принадлежал Р. Ж. Гаюи.

Его кристаллографические концепции положены в основу построения строго научной (мы бы сказали, структурно-кристаллохимической) классификации минералов.

В 1822 г. параллельно с «Курсом кристаллографии» выходит в свет и монументальный четырехтомный «Курс

минералогии» [1]. Просматривая список публикаций Гаюи, мы видим, что подавляющее их большинство посвящено выявлению структурных особенностей множества минералов. Вместе с тем ряд исследований посвящен их физическим свойствам: оптическим, электрическим и магнитным. Весь этот материал в обобщенном виде был скомпонован автором в его последнем «Курсе».

Современники Гаюи высоко ценили его заслуги в области минералогической классификации. Не случайно знаменитый Ж. Кювье в речи, посвященной памяти великого кристаллографа, характеризуя его роль в науке, назвал Гаюи «законодателем минералогии».

Приступая к обзору достижений Гаюи в области минералогии, обратимся прежде всего к его «Курсу минералогии» и вкратце ознакомимся с его содержанием.

На титульной странице Гаюи уведомляет читателя, что его «Курс» выходит вторым изданием (первое появилось в 1801 г.) «с пересмотренным, исправленным и существенно дополненным автором текстом». Далее следует оглавление, дающее ясное понятие о содержании «Курса».

Затем идет специальная описательная часть под заглавием «Методическая классификация и описание минеральных видов». Мир минералов здесь подразделяется на вещества металлические (простые и сложные) и неметаллические (в том числе горючие). Первое место занимает углекислая известь в виде кальцита. Разбор отдельных минералов дается по следующему плану: геометрические свойства; физические свойства (удельный вес, твердость, лучепреломление, электричество, возникающее при давлении, блеск); химические свойства; разновидности (законы убывания, определяющие формы, комбинации форм).

Многие главы повторяют разделы, уже известные нам по «Курсу кристаллографии»; вместе с тем ряд разделов посвящен физическим свойствам и химизму минералов. В этом отношении «Минералогия» Гаюи явно предвосхищает современные минералогические курсы, насыщенные данными по физике и химии природных кристаллов. Обращает внимание необычайно широкий подход ученого к трактуемому им предмету, попытки проникнуть в самую глубину затрагиваемых проблем и философски их осмыслить.

Читая главы об отличии минералов от органических веществ, о систематике и номенклатуре минеральных ви-

дов на основе структурных и химических данных, мы невольно вспоминаем о широчайших обобщениях и глубоких выводах выдающегося ученого акад. В. И. Вернадского (1863—1945), сделанных в его грандиозных трудах: «Опыте описательной минералогии» и «Истории минералов земной коры». Спустя столетие им развивались существенно обновленные основополагающие идеи в минералогии, зачатки которых отчасти намечены в трудах Гаюи.

Обзор достижений Гаюи в области минералогии и их оценка с точки зрения современной науки даны в обширной статье Ж. Орсея «Гаюи и определение вида в минералогии» [2]. В дальнейшем мы во многом будем следовать плану изложения французского автора и ссылаться на его примеры.

До Гаюи минералогия представляла достаточно пеструю картину, изобиловавшую путаными, а подчас и фантастическими умозаключениями. В качестве иллюстрации приведем следующее любопытное высказывание Ж. Л. Бюффона: «Можно сказать со всей строгостью, что существует только одно первичное стекло — кварц. Вещество последнего, видоизмененное окраской железа, формирует яспис. Расслаиваясь, оба эти минерала образуют слюду. Тот же кварц при больших количествах железа и других материй превращается в полевой шпат и перл. Этими пятью веществами природа ограничила число первичных стекол, порожденных первозданным огнем. Из них впоследствии составились все другие стекловатые образования минерального царства» [3]. Так автор «Естественной истории» рисует происхождение важнейших природных минералов — силикатов. Здесь же уместно отметить, что Бюффон не придавал значения кристаллическим формам и не считал их надежными диагностическими признаками для минералов. «Вся работа кристаллографов,— писал он,— лишь показывает, что всюду, где они предполагают однообразие, имеются разнообразные вариации. Их многочисленные наблюдения должны были бы убедить их в том и напомнить о простой метафизике, согласно которой в природе нет ничего абсолютно и совершенно правильного» [3].

Значительно строже подошли к науке о минералах известные шведские химики-минералоги А. Кронштедт и Т. Бергман. Основой минералогии они считали химию. По их определению, минералогический вид представляет

совокупность неорганических особей, сходных по составу. Гаюи сперва присоединился к такому подходу. В своем первом труде, как мы уже знаем, он даже предполагал, что «кристаллография никогда не даст основания для методической классификации минералов... главным образом вследствие сходства форм для веществ, далеко отстоящих друг от друга в природе» [2]. Не отвергая вышеприведенного определения шведских минералогов, Гаюи лишь отмечал его неполноту и предлагал принимать во внимание кристаллографические данные. Однако, развивая свою структурную теорию и проверяя ее на многочисленных минеральных образованиях, он убедился в том, что ее можно с успехом использовать для классификации минералов.

Из предыдущих глав нам уже известно, что в процессе образования минералов ученый различал два периода. В первый — комбинации «элементарных молекул» (атомов или групп атомов) образуют «интегрирующие молекулы». Во второй — полиэдры «интегрирующих молекул», соприкасаясь соответственными плоскостями, объединяются и начинают построение кристалла.

Таким образом, «интегрирующие молекулы» являются производными «элементарных молекул» и несут на себе их отпечаток. Отсюда следует, что точное и полное определение минералогического вида требует учета и кристаллографии, и химии. Согласно Гаюи, «минералогический вид представляет совокупность тел, интегрирующие молекулы которых сходны по форме и состоят из одинаковых начал (элементов), объединенных в одинаковых отношениях» [2].

Нельзя здесь не отметить ярко выраженного кристаллоструктурного и вместе с тем кристаллохимического характера этого замечательного определения. Однако в свое время оно было принято далеко не всеми. Обращаясь к минералогам, ставившим на первое место химию и игнорировавшим кристаллографию, Гаюи приводит ряд убедительных примеров, доказывающих правоту его подхода. Описывая так называемый «песчаник из Фонтенбло», некоторые кристаллы аксинита и топаза из Сибири (с Урала?), ученый демонстрирует различия в химическом составе, окраске, прозрачности для отдельных частей одного и того же окристаллизованного экземпляра. Вместе с тем кристаллографические формы последнего неопровержимо доказывают принадлежность всех этих

частей к одному кристаллическому индивиду. «Часто интегрирующие молекулы одного вещества случайно располагаются между молекулами другого вещества, не нарушая, однако, при этом принадлежности последних к одному и тому же виду» [2]. К счастью, в таких смещениях форма интегрирующих молекул остается неизменной, и это постоянство молекул позволяет разграничивать виды различных веществ. По словам самого Гаюи, «геометрия дает абстракцию, не принимающую во внимание нарушения, искажающие однородность вещества, не затрагивая, однако, постоянства молекул... Можно сказать, что для геометрии все минералы являются чистыми».

В дальнейшем мы увидим, что такой подход к минералам, превращающий последние в идеально чистые вещества, привел впоследствии Гаюи к ряду затруднений и недоразумений. Однако, как мы уже знаем, этот подход по самой своей сути оправдал себя. Ведь он опирается на его основную идею, согласно которой каждому веществу соответствует свойственная только ему конфигурация молекул. Именно эта идея в обновленной формулировке лежит в основе современной кристаллохимии — каждое кристаллическое вещество имеет свою характерную структуру.

Все это позволило Гаюи, несмотря на ряд встретившихся препятствий, произвести основательную «чистку» в минералогии и привести в должный порядок многие ее разделы. Например, опираясь на свои кристаллографические определения, Гаюи отделил друг от друга такие минералы, как натролит (мезотип), десмин (стильбит), хабазит и анальцим, фигурировавшие прежде под обобщенным названием «цеолиты» (по современным данным, натролит относится к ромбической сингонии, десмин и хабазит — к моноклинной, анальцим — к кубической). Не менее впечатляет и упорядочение в вопросе о так называемых «шерлах», к которым в XVIII в. относили множество самых разнообразных минералов со столбчатым обликом.

Сам Гаюи характеризовал этот хаос минералов, случайно сгруппированных вместе, следующим образом: «В натуральной истории не найдется другой ассоциации веществ, столь плохо рассортированных и столь чуждых друг другу. Может показаться, что минералоги задались целью объединить наибольшее количество возможных ошибок на минимальном участке» [2].

Из этой беспорядочной группы Гаюи выделил и кристаллографически охарактеризовал: пироксен, амфибол, эпидот, турмалин, аксинит, ставролит, анатаз, топаз (красный перл), альбит (белый перл из Дофине).

С другой стороны, на основании кристаллографических данных он объединял в один минералогический вид разновидности, рассматривавшиеся до него как разные минералы. Именно ему мы обязаны тем, что сапфир, рубин и наждак оказались в одной общей группе корунда. Гаюи впервые установил идентичность изумруда и берилла и тем самым помог Вокелену открыть новый элемент — бериллий. Множество предложенных им названий, впервые введенных в науку о минералах, укоренилось в ней и широко используется в настоящее время. Предлагая такие названия, Гаюи стремился основываться на характерных физических, химических, кристаллографических особенностях минералов, отвергая собственные имена и географические названия. Ниже приводится ряд названий, предложенных Гаюи (даны переводы греческих слов, положенных в основу названий, и некоторые пояснения к ним).

- Амфибол — «сомнительный», «двуличный»; минерал трудно отличается от других.
- Анальцим — «слабый»; кристаллы слабо электризуются.
- Анатаз — «растянутость»; характерно наличие острых дипирамид.
- Апофиллит — «распадается на листы»; совершенная спайность по пинакоиду.
- Аксинит — «топор» — отличительная форма кристаллов.
- Гиперстен — «над», «сила»; большая твердость по сравнению со сходными минералами.
- Диаспор — «рассыпающийся».
- Диоптаз — «смотрится насквозь».
- Дистен — «двойная сила»; резкое различие твердости по разным направлениям кристалла.
- Нефелин — «облако», «туман»; в кислотах разлагается и становится мутным.
- Пироксен — «огонь», «чужой»; фенокристаллы в лаве считались остатками нерасплавленного минерала.
- Сфен — «клин» — характерная форма кристаллов.
- Эпидот — «добавок»; в основании призмы одна сторона длиннее другой.

Эвклаз — «удобно», «ломаться»; весьма совершенная спайность по (010), хрупкость.

Попытка Гаюи давать минералам, по возможности, рациональные названия представляет интерес и в настоящее время. Он считал целесообразным называть минералы по их химическому составу, однако сложность его для большинства природных соединений заставила ученого отказаться от такого начинания. До сих пор сохранились и некоторые петрографические термины (трахит, долерит, пегматит и др.), принадлежащие Гаюи.

Заканчивая характеристику достижений Гаюи в области минералогии, следует отметить, что французский ученый неоднократно исследовал минералы, найденные на Урале и в Сибири. Он дал первые кристаллографические описания диоптаза, крокоита, хромита, сиберита (розового турмалина) и др.

Кристаллоструктурная классификация минералов, по Гаюи, вскоре вызвала ряд нападков со стороны минералогов и химиков. Основные трудности, с которыми сталкивалась эта классификация, сводились главным образом к двум пунктам. Во-первых, минералогам было известно существование чрезвычайно сходных в кристаллографическом отношении, но неодинаковых по составу минералов группы кальцита, которым, казалось бы, следует приписать идентичные интегрирующие молекулы. С другой стороны, отмечалось и обратное явление: минералы кальцит и арагонит имели одинаковый химический состав, но резко различались по своей кристаллографии (как нам сейчас известно, кальцит принадлежит к тригональной сингонии, а арагонит — к ромбической). Несколько позднее, в 1818—1825 гг., эти явления экспериментально воспроизвел и изучил немецкий химик Э. Митчерлих, заложивший начало учения об изоморфизме («равноформии») и полиморфизме («многоформии»).

В настоящее время нам известно, что, по сути дела, изоморфизм не противоречит структурной теории Гаюи. Сходство состава различных веществ вызывает близость их структур, в результате чего появляются близкие по форме кристаллы. Слово «близкие» здесь следует подчеркнуть: тщательные и тонкие измерения показывают незначительные, но все же ощутимые различия в их кристаллографических характеристиках.

Итак, разные, хотя и родственные по составу вещества образуют сходные, но не тождественные структуры.

Следовательно, по понятиям Гаюи, они должны обладать близкими по форме, но все же не идентичными «интегрирующими молекулами». Однако сам Гаюи производил измерения угловых величин на кристаллах с помощью прикладного гониометра, представляющего соединение транспортира с вращающейся линейкой. Точность такого примитивного инструмента не превышала половину градуса и не позволяла ученому уловить незначительные колебания в угловых величинах.

Явление полиморфизма связано с тем, что при различных температурах, давлении и химических особенностях кристаллообразующих сред одни и те же атомы складываются в различные структуры. Следовательно, добавив к высказываниям Гаюи оговорку, согласно которой при различных физико-химических условиях одни и те же элементарные частицы могут соединяться в различные по форме «интегрирующие молекулы» (структуры), можно было бы спасти теорию Гаюи от ожесточенных нападков его противников. Однако то, что совершенно ясно для нас, было еще неизвестно как самому ученому, так и его критикам. Особенно резкие возражения встретил Гаюи со стороны известного французского химика К. Л. Бертолле (1748—1822).

Обороняясь от критических замечаний, Гаюи написал острую полемическую статью в виде обширного письма к своему русскому ученику П. А. Рахманову под названием: «Ответ г-на Гаюи на возражения г-на Бертолле». Эта статья, представляющая особый интерес для истории науки, была опубликована в 1810 г. в России, в «Журнале Московского общества натуралистов». В ней ученый подробно рассказывает о своем подходе к структурной классификации минералов. «Я надеялся,— писал он,— что эта своего рода сравнительная анатомия кристаллов, хотя она и уступает во многом подлинной анатомии, оказавшей столь серьезную поддержку зоологии, сможет тем не менее привести к дальнейшему усовершенствованию минералогии... Именно геометрия кристаллов должна взять на себя задачу определения видов и кристаллических разновидностей... К химии же относится определение рода и высших подразделений» [4].

Далее Гаюи разбирает возражения, которые были выдвинуты против его теории Бертолле. Гаюи, утверждавший, что каждому определенному веществу соответствует своя строго определенная структура, был убежденным

сторонником закона постоянства состава. Бертолле в качестве возражения выдвигал наблюдения над текучестью состава изоморфных веществ. Гаюи делает попытку объяснить с помощью своей теории это явление. Вот, например, как он подходит к вопросу о сходстве кристаллов железного шпата (сидерита), жемчужного шпата (марганцовистого сидерита) и кальцита: «Это вещество (железный шпат) и жемчужный или бурый шпат имеют такую же интегрирующую молекулу, как и углекислая известь, из которой фактически и состоят эти два минерала с дополнительным количеством железа и марганца. Кроме того, формы, образуемые этими минералами, встречаются среди разновидностей углекислой извести. Из этого я заключил, что их не следует рассматривать как отдельные виды, тем более что количество железа и марганца в них значительно меняется. В связи с этим я их поставил после углекислой извести, явный отпечаток которой они несут на себе» [4]. Однако в другом месте статьи автор отмечал, что «некоторые минералы различных видов имеют молекулы одинаковой формы».

Как видим, Гаюи, пытаясь защитить свои взгляды, давал не совсем удачные объяснения. Прав был молодой Д. И. Менделеев, писавший, что «та резкость изложения общих законов, какую находим в творениях Гаюи, несогласна с подвижными и гибкими законами природы» [5].

В дальнейшем спор Бертолле с Гаюи перерос в известную дискуссию того же Бертолле с Ж. Л. Прустом (1754—1826). Окончательное решение этой важной проблемы было найдено уже в наше время в работах акад. Н. С. Курнакова (1860—1941) о дальтонидах (соединениях с постоянным составом) и бертоллидах (веществах переменного состава), а также в трудах чл.-кор. АН СССР Г. Б. Бокия, давшего их структурную кристаллохимическую расшифровку.

Письмо Гаюи к П. А. Рахманову, затронувшее глубокие теоретические вопросы химии и минералогии, представляет одну из интересных работ.

Необходимо остановиться также на вкладе Рене Жюста Гаюи в физику. Многие его работы, начиная с 1785 г., посвящены электричеству в кристаллах. Через 50 лет после публикации мемуаров Эпинуса и Бергмана Гаюи продолжил и расширил их опыты по пирозлектричеству в кристаллах. Он описал наблюдения над пирозлектричеством в кристаллах турмалина, борацита, аксинита, натро-

лита, цинкита, сфена и других минералов [6]. Ему удалось установить важный факт — в кристаллах, обнаруживающих пьезоэлектричество, в частности в турмалине, противоположные концы кристалла неодинаково ограничены. Например, как пишет Гаюи, в турмалине при охлаждении «стеклянное» (положительное) электричество появляется на том конце кристалла, где есть шесть граней, а «смоляное» (отрицательное) — там, где на конце имеется три грани. Говоря современным языком, Гаюи тем самым обнаружил связь пьезоэлектричества с полярным характером симметрии кристалла [7].

Кроме пьезоэлектричества, Гаюи исследовал также электричество, возникающее при трении и при сдавливании кристалла, т. е. ему принадлежат первые наблюдения пьезоэлектричества в кристаллах, причем тоже установлена связь пьезоэлектричества с полярностью кристалла, выявляемой по его огранке. Но Гаюи, по-видимому, не сумел ясно разделить явления пьезоэлектричества и трибоэлектричества. Все же описание его опытов настолько интересно, что мы приведем несколько цитат из его статьи 1817 г.

«Я уже описывал результаты опытов, которые позволили мне сравнивать различные минералы в отношении их способности более или менее сохранять электричество, полученное с помощью трения. Недавно я открыл другой способ электризовать те же самые тела. Я и не думал получить столь заметный эффект, используя для его возбуждения, казалось бы, весьма слабое действие. Это действие сводится к сдавливанию испытываемого тела между пальцами в течение очень короткого времени. После указанного воздействия это тело не должно скользить своей поверхностью *. Затем его подносят к маленькой металлической игле, свободно вращающейся на острие и описанной в моем Курсе минералогии (т. I, с. 239). Эта игла притягивается более или менее сильно, в зависимости от той степени наэлектризованности, которую тело получило в результате давления...

Следует представлять себе, что пальцы, так сказать, плотно прилегают к поверхности тела и в то же время сжимают его, в связи с чем происходит легкое движение

* «если бы это случилось, тело наэлектризовалось бы сильнее. Однако мы поставили себе задачу изучить эффект, получаемый с помощью простого давления без добавления других воздействий» (примеч. Гаюи).

молекул, подчиняющихся этому действию. По удалении сжатия точки контакта стремятся вернуться в свои прежние позиции, уничтожая при этом сдвиги, обусловленные давлением пальцев. Это и производит эффект, аналогичный эффекту обычного трения» [8].

Далее Гаюи подразделяет вещества по длительности сохранения заряда, полученного сдавливанием. При этом на первое место он ставит исландский шпат, который, по его описанию, сохранял заряд до 11 дней, тогда как кварц сохранял заряд лишь 1 час.

«Тут мы получаем новый отличительный признак, который следует добавить к геометрии кристалла и другим физическим свойствам, позволяющим различать... вещества... минералов». Это сравнение и различие он проводит на примере кальцита и арагонита, у которых длительность сохранения заряда оказалась разной.

«Способность электризоваться» и «продолжительность электричества трением» Гаюи относит к свойствам, характеризующим кристаллы. Однако остается неясным, что же за явление он обнаружил, сдавливая пальцами кальцит, какая тут смесь явлений.

Вслед за Гаюи и другие минералоги указывали на «длительность сохранения заряда» как на отличительный признак минерала. Такая характеристика приводится в изданной в Петербурге в 1833 г. книге [9] «Техническое распределение драгоценных камней, с отличительными признаками их, извлеченное из сочинений аббата Гаю, членом-учредителем графом Г. К. Разумовским с прибавлением и замечаниями по собственным его наблюдениям. В книге имеется предуведомление:

сие техническое распределение драгоценных камней помещено в виде таблицы на конце сочинения аббата Гаю о сих камнях» (см. таблицу).

Интересно, что Г. К. Разумовский не только перепечатывает таблицы «аббата Гаю», но добавляет и свои наблюдения, сделанные по тому же методу. Так, к турмалину усть следующее примечание Разумовского:

«Продолжительность электричества трением. Что касается до сибирита (красно-фиолетовый турмалин из Сибири), то электричество его бывает без продолжения?, но красивый турмалин с остр. Эльбы, прозрачный, частью бесцветный или фиолетовый и зеленый, недавно открытый (в 1825 г.), остается электрическим несколько долее одной минуты».

Названия	Явления света	Относительный вес	Твердость	Лучепреломление	Продолжительность электричества трением	Электричество по средству теплоты	Действие на магнитную стрелку
Алмаз	Блеск чрезвычайно сильный, именуемый алмазным блеском	3,5	Режет все прочие камни	Простое	Около получаса и часто менее, редко более	Нет	Нет
Горный хрусталь	Блеск стекла, называемого обыкновенно хрусталем	2,65	Сильно режет белое стекло	Двойное в средней степени	Около получаса и часто менее	Нет	Нет
Сапфир восточный (яхонт синий)	Синего василькового цвета, молочные отливы в некоторых образцах	4,2	Сильно режет горный хрусталь	Двойное в слабой степени	Несколько часов	Нет	Нет
Водяной сапфир (кордиерит)	Цвет приметен через преломление, синевато-желтый, смотря по тому, как зрительный луч расположен в том или другом направлении	2,7	Слабо чертит горный хрусталь	Двойное в слабой степени	Четверть часа или менее, редко более	Нет	Нет

Как видим, исследование электризации минералов, по Гаюи, продолжало жить еще и в 40-х годах XIX в. Однако затем эти наблюдения были забыты, явление пьезоэлектричества было предсказано вновь и открыто братьями Кюри на основании соображений симметрии, и из «электрического» наследия Гаюи остались его безусловной заслугой лишь наблюдения пирозлектричества.

Что касается работ Гаюи по оптике кристаллов, то они сохранили свое значение и в наши дни. О методе, которым пользовался Гаюи, можно судить по той же книге Разумовского, например:

«Турмалин (пеплопритягатель, электрический шерл).

Лучепреломление. Двойное в средней степени в некоторых образцах. Одно из двух изображений булавки, видимое насквозь, кажется только тенью или даже не приметно. Но если смотреть вечером на пламя восковой свечи, то они оба явственны в равной степени».

Открытое Э. Бартолином в 1669 г. в исландском шпате двупреломление света и слабее выраженное двупреломление в кварце, установленное Х. Гюйгенсом в 1690 г., считались до XIX в. курьезной особенностью, свойственной только этим двум минералам. Но уже в 1801 г. Гаюи в своем «Курсе минералогии» приводит список двупреломляющих минералов, полученный в результате его собственных изысканий. Опыты Гаюи сводились к тому, что он, как описано выше для турмалина, разглядывал сквозь грани кристалла (или сквозь призму, выточенную из него) тонкую иглу, различным образом ориентируя ее и помещая на разных расстояниях от изучаемого кристалла. В случае достаточно сильного двупреломления игла представлялась удвоенной. Однако при слабом двупреломлении часто нельзя было установить, обладает ли кристалл «простым» или «удвояющим» лучепреломлением.

В результате в списке Гаюи, содержащем 20 «двупреломляющих» и 10 «однопреломляющих» минералов имеются ошибочные данные. Так, например, к «однопреломляющим» минералам, наряду с правильно определенными плавленым шпатом, шпинелью, гранатом, цинковой обманкой, причислены также апатит, турмалин, аксинит, дистен. Вместе с тем в этом списке отсутствуют алмаз и каменная соль, хотя в тексте отмечается их принадлежность к «однопреломляющим».

Однако, несмотря на эти упущения, важно то, что Гаюи впервые выделил оптически изотропные кристаллы,

не обнаруживающие двупреломления. Более того, он установил обобщающую закономерность: кристаллические вещества, у которых «интегрирующие молекулы» отличаются высокой симметрией, обладают простым лучепреломлением. Таковы кристаллы в форме кубов, октаэдров, ромбододекаэдров. Говоря современным языком, Гаюи уже предвидел, что оптически изотропные кристаллы должны принадлежать к одной группе, позднее охарактеризованной как кубическая сингония.

Мало того. Им было найдено, что в двупреломляющих кристаллах имеются направления, вдоль которых нет двупреломления. Понимая важность учета оптических свойств минералов, Гаюи предложил пользоваться ими практически для определения и отличия ограненных драгоценных камней.

Уже из сказанного ясно, как значительна роль творческого наследия Гаюи в физике кристаллов. Но и это не все. Как уже указывалось, Гаюи — автор объемистого «Курса физики». Курс Гаюи в течение нескольких десятилетий был одним из наиболее полных и ясных изложений физики. Он был, по-видимому, также и наиболее современным, т. е. отражавшим достижения той эпохи, когда новые физические открытия следовали одно за другим с головокружительной быстротой. Так, в 1801 г. Гаюи входил в состав комиссии, знакомившейся с опытом Вольта, а уже в 1803 г. в первое издание своего «Курса» он ввел разделы «О теории Вольта» и об опытах со «Столбом» (получившим впоследствии наименование Вольтова столба). Впервые в курс физики включены разделы о формах кристаллов и о двойном лучепреломлении света в кристаллах.

Воззрения автора на физику раскрываются во Введении к «Курсу»: «Различные точки зрения, с каких можно рассматривать природные тела и явления, ими производимые, породили различные виды учений, число которых умножалось по мере того, как прогресс освещал их и добавлял новые ветви к уже сложившимся наукам. Все знания, из них вытекающие, образовали три большие части, которым даны имена Физики, Химии и Естественной Истории.

Если мы считаем свойства тела общими и постоянными или если изменения в теле преходящи, т. е. достаточно убрать причину, их вызвавшую, чтобы тела вернулись в начальное состояние; если, кроме того, законы, которые

определяют взаимное действие этих же тел, распространяются на более или менее значительные расстояния, то результаты наших наблюдений лежат в области **Физики**.

Но когда явления зависят от ближнего действия одних молекул тела на другие на расстояниях, почти бесконечно малых, в силу которого эти молекулы отделяются друг от друга, чтобы собраться затем в другом порядке и привести к новым комбинациям или новым свойствам, тогда изучение явлений принадлежит **Химии**.

Наконец, если наше внимание обратится к отдельным существам, из которых одни наслаждаются жизнью и самопроизвольным движением, другие живут, не двигаясь, а третьи имеют только структуру без организации, и если наша цель — классифицировать и описать эти существа, то предлагаемая нами точка зрения охватывает всю **Естественную Историю**, которая одна включает в себя три разные науки — **Зоологию, Ботанику и Минералогию**. В действительности же, все науки, относящиеся к природе, составляют одну и ту же науку, которую мы подразделяем так, чтобы различные умы могли поделить между собой изучение различных ветвей и охватить каждый весь размах именно той, на которой он остановил свой выбор. Поэтому не надо удивляться, если часто случается так, что несколько наук встречаются у одной и той же истины таким образом, что нет из них ни одной, которая не была бы связана с другими во многих точках соприкосновения».

Содержание «Курса физики» Гаюи полностью отражает состояние науки в то время. Не случайно он был широко распространен во Франции. И хотя по «Курсу физики» учились многие поколения французских ученых, все же имя Гаюи вошло в науку как основателя структурной кристаллографии.

Значение научного наследия Р. Ж. Гаюи. Оценка его трудов русскими учеными

В конце XVIII — начале XIX столетия Гаюи пользовался большим авторитетом среди минералогов и кристаллографов всего мира. Его теория кристаллического строения легла в основу наиболее распространенных в то время курсов и учебников минералогии. Наглядным и ярким свидетельством популярности французского ученого в России может служить бронзовая доска, находящаяся у входа в колонный зал музея в Ленинградском горном институте. Выгравированный на доске текст гласит:

«Минеральный кабинет

Горного Корпуса.

Разобран и приведен в порядок

по системе

ВЕРНЕРА.

Кристаллография кабинета разложена

по системе

А. ГАЙЮ

под руководством

Е. И. Мечникова

обер-гиттенфервальтером

Соколовым.

1819 год»

Приведенная историческая надпись требует некоторых пояснений. «Горным корпусом» назывался в то время нынешний Ленинградский горный институт, открытый в 1773 г. и называвшийся сперва Горным училищем, затем Горным корпусом, а еще позднее — Горным институтом. А. Г. Вернер, известный немецкий минералог и геолог, основатель описательной минералогии, базировавшейся исключительно на внешних признаках минералов (цвет, внешний облик, блеск, прозрачность и т. д.). Эта система, ограничивавшаяся чисто словесными характеристиками минералов без учета их химического состава и точных кристаллографических данных, длительное время прочно держалась в курсах минералогии. В следующих строках упоминается аббат (отсюда и буква А. на доске) Гайю (т. е. Р. Ж. Гаюи).

Как видим, уже в то время минералоги Горного корпуса не удовлетворялись одним описательным методом

Вернера, а дополняли его строго математической кристаллографической систематикой Гаюи. Е. И. Мечников и Д. И. Соколов — преподаватели минералогии корпуса — пропагандировали учение Гаюи среди русских студентов горняков. (Е. И. Мечников был в то время директором корпуса, Д. И. Соколов — блестящим лектором и автором славившихся в свое время курсов геологии и минералогии.)

Приведенный текст красноречиво свидетельствует о безусловном признании теоретических выводов Гаюи и широком их использовании в педагогической практике того времени. Однако, как нам уже известно из предыдущих глав, открытие Э. Митчерлихом явлений изоморфизма и полиморфизма поколебало теорию великого французского кристаллографа.

Открытие полиморфных модификаций серы, углерода, углекислого кальция, а также многочисленных изоморфных рядов, казалось бы, нанесло жестокий удар основным положениям Гаюи. Ведь только недавно структурное изучение кристаллов с помощью рентгеноанализа выявило сущность полиморфизма и изоморфизма, физико-химическую динамику реальных кристаллических структур. Тем самым, правда с известными оговорками, была реабилитирована основная идея Гаюи о характерности структуры каждого кристаллического вещества. Но в прошлом столетии об этом судили иначе. После блестящего триумфа теория Гаюи была если не ниспровергнута, то во всяком случае временно отодвинута на второй план. Большую роль в этом сыграла школа немецких кристаллографов во главе с Х. С. Вейссом (1780—1856).

Ученик А. Г. Вернера, Х. С. Вейсс уже в начале своей деятельности осознал недостаточность вернеровской описательной системы и оценил преимущества строго математического подхода к кристаллам Гаюи. Однако, работая над немецким переводом «Курса минералогии», Вейсс стал сомневаться в правильности структурного истолкования кристаллических форм и предложил свою теоретическую концепцию, которая была изложена им в статье «Динамическое воззрение на кристаллизацию» (опубликована в качестве дополнения к переводу «Курса Гаюи [1]). В ней атомистической структурной теории противопоставляется динамическое учение о строении вещества. Согласно последнему, материя образована не атомами, а силами притяжения и отталкивания. В течение

всей своей жизни Х. С. Вейсс поддерживал это идеалистическое направление, выступая противником атомистической теории, а следовательно, и теории Гаюи. Кристаллография, по его мнению, должна базироваться исключительно на изучении внешних форм. В основу учения о кристаллах он положил понятие об осях, хотя четкое понятие о симметрии в его сочинениях отсутствует. Тщательное изучение внешней формы кристаллов привело Вейсса к открытию известного «закона поясов», носящего его имя, и установлению шести (семи) кристаллографических систем (сингоний). Последние были описаны им в 1815 г. в статье «Наглядное изложение естественного деления систем кристаллизации» [2]. Заслугу классификации кристаллов по сингониям Вейсс разделяет с Ф. Моосом (1773—1839), автором общеизвестной десятибалльной «шкалы твердости».

Несмотря на эти неоспоримые заслуги немецких кристаллографов, Е. С. Федоров все же ставил выше их структурно-теоретическое направление Гаюи. Он писал: «Вейсс отбросил представление о каких-либо примитивных формах, а вместе с тем и о правильности расположения частиц в пространстве, а изложение кристаллографии основал на понятии о кристаллографических осях ... В общем Вейсс по сравнению с Гаюи был явным шагом назад, так как вместо систематического развития идеи, положенной Гаюи как надежное основание будущего здания, Вейсс, уступая духу эмпиризма, в значительной мере стал делать шаги ощупью» [3].

Многочисленные последователи Вейсса и Мооса (К. Ф. Науманн, Г. Розе и др.), отказавшись от глубоких теоретических обобщений, занялись исключительно изучением и описанием кристаллических форм, основываясь главным образом на точных гониометрических измерениях. (Вместо прикладного гониометра Каранжо, с которым работал Гаюи, получили распространение отражательные однокружные гониометры Волластона и Митчерлиха, позволявшие получать результаты с точностью до минут.) Несмотря на временную победу немецкой описательной школы, ряд авторов пытались все же продолжать и структурное направление в кристаллографии. Исходя из теории Гаюи, они стремились внести в нее ряд поправок и уточнений.

В 1813 г. выдающийся английский ученый В. Г. Волластон (1766—1828) обратил внимание на то, что поли-

эдрическая форма кристаллических молекул Гаюи может быть выведена из элементарных шариков Гука и эллипсоидов Гюйгенса (4). Так, положив на плоскость три соприкасающихся равных шарика и поместив в гнездо между ними четвертый вышележащий шарик, мы увидим, что центры этих шариков образуют правильный тетраэдр. Уложив в гнезда между четырьмя шариками, образующими на плоскости квадрат, пятый шарик сверху и шестой снизу, получим октаэдр. Добавление к двум противолежащим граням такого октаэдра еще двух шариков даст острый ромбоэдр, представляющий фрагмент кубической центрогранной решетки.

При выводе строения гексагональных призматических кристаллов берилла и других минералов Волластон заменил шаровую форму элементарных частиц вытянутыми эллипсоидами вращения. Предвосхищая позднейшие достижения структурной кристаллографии, он предлагал для кристаллов с кубической спайностью использовать укладки шаров двух сортов (черных и белых), расположенных точно так же, как ионы натрия и хлора в современных моделях строения поваренной соли. Кроме того, Волластон считал, что шарообразные частицы можно заменять математическими точками, вокруг которых действуют взаимно уравновешенные силы притяжения и отталкивания, так что шаровая форма частиц является, по сути дела, мнимой. Это его высказывание напоминает нынешние представления о сферах действия атомов и ионов внутри кристаллических структур. Вместе с тем замена шариков центральными точками подводила непосредственно к идее о пространственных решетках. Именно к этой идее подошел в 1824 г. профессор во Фрейбурге Л. А. Зеебер [5]. Прежде всего он обратил внимание на то, что вплотную прилегающие друг к другу элементарные «кирпичики» Гаюи не объясняют ряда явлений, в частности расширения кристаллов при нагревании и сжатия их при охлаждении. Далее он пришел к выводу о невозможности сказать вообще что-либо достоверное об истинной форме гипотетических элементарных «кирпичиков». Все это натолкнуло его на мысль заменить их центрами тяжести. Такой подход привел Зеебера к системе точек, которую он и назвал впервые пространственной решеткой. Значительно позднее, в 1843 г., к аналогичным выводам пришел ученик и последователь Гаюи Ж. Делафосс (1796–1878) [6].

Развитие теории пространственных решеток, а также учения о решетчатом строении кристаллов связано с именами двух выдающихся кристаллографов — М. Л. Франкенгейма (1801—1869) и О. Браве (1811—1863). Первый из них в 1835 г. опубликовал геометрическое исследование различных возможных типов пространственных решеток [7]. Эти типы рассматривались в соответствии с имеющимися в природе формами кристаллов. В результате было выведено 15 «сетчатых», т. е. решетчатых, расположений точек, которым по габитусам и спайности отвечали 15 основных кристаллических форм. К сожалению, Франкенгейм допустил ошибку, приняв за две разные одну и ту же моноклинную решетку. Впоследствии, в 1856 г., уже вслед за Браве, он должен был признать это упущение и уступить приоритет в правильном и исчерпывающем выводе пространственных решеток своему французскому сопернику.

Окончательное оформление вывод 14 пространственных решеток получил в классическом «Мемуаре о системах точек, правильно распределенных на плоскости или в пространстве» О. Браве [8]. Применение теоретических результатов к конкретным кристаллическим телам и их строению Браве описал в «Кристаллографических этюдах» [9]. Здесь, в частности, впервые сформулировано известное правило, связывающее решетчатое (сетчатое) строение кристаллов с их внешним ограничением (закон Браве): «Грани, наиболее часто встречающиеся на кристалле в процессе кристаллизации, или, другими словами, плоские сетки, наиболее пригодные для ограничения кристалла, являются в общем теми, ретикулярная плотность которых наиболее значительна» [10]. Здесь мы находим решение в общем виде задачи, поставленной в свое время Гаюи о зависимости кристаллических форм от внутренней структуры.

Дальнейшее развитие структурно-теоретической кристаллографии в трудах Л. Зонке, а затем Е. С. Федорова и А. Шенфлиса привело к разработке учения о правильных системах точек. Е. С. Федоров характеризует последние следующим образом: «Под правильною системою фигур я подразумеваю такую бесконечную во всех направлениях совокупность конечных фигур, что если мы приведем по законам симметрии в совмещение две из фигур, входящие в состав системы, то совместятся и сами системы... Если в одной из фигур системы мы возьмем некото-

рую точку, а затем определим положение всех соответственных точек как в той же самой фигуре, так и во всех остальных фигурах, то получим правильную систему точек» [14]. Вывод законов бесконечной симметрии для правильных систем точек привел Е. С. Федорова (1890) и А. Шенфлиса (1891) к 230 пространственным группам. Через четверть века после публикации упомянутого вывода первые же расшифровки У. Г. и У. Л. Брэггами реальных кристаллических структур с помощью рентгеноанализа показали, что 230 пространственных групп соответствуют законам, которым подчиняется пространственное расположение материальных частиц — атомов, ионов, молекул — внутри кристаллических образований. Тем самым достижения Е. С. Федорова и А. Шенфлиса подводят нас вплотную к современной структурной кристаллографии.

Выведенные законы бесконечной кристаллографической симметрии Федоров связывал со своей теорией строения кристаллов. Как уже отмечалось выше, в основу этой теории было положено учение о параллелоэдрах — многогранниках, нацело выполняющих пространство при условии равенства, параллельности в ориентировке и смежности по целым граням. Такой подход к строению кристаллов, безусловно, родствен теория Гаюи. Однако в отличие от своего предшественника Федоров не представлял себе кристаллы в виде вплотную прилегающих друг к другу материальных элементарных кирпичиков-многогранников. Его параллелоэдры — это результат деления кристаллического пространства на равные участки, внутри которых находятся определенные группы атомов.

В известной мере их можно уподобить элементарным ячейкам, с помощью которых описываются в настоящее время кристаллические структуры. Такие ячейки, а также полиэдрические структурные модели Л. Полинга и Н. В. Белова, получившие всемирное распространение, невольно напоминают нам о своих предшественниках — параллелоэдрах Федорова и геометрически сходных с ними элементарных кирпичиках — «молекулах убывания» Гаюи.

Нельзя здесь не отметить и еще одной заслуги великого французского кристаллографа. Им был дан первый толчок к развитию учения о симметрии, занявшего впоследствии первенствующее место в геометрической кристаллографии, а ныне вышедшего за рамки науки о кристаллах и победоносно внедряющегося в физику,

биологию, геологию, географию. Скромный «закон симметрии», отмеченный Гаюи, перерос в нахождение законов конечной симметрии И. Ф. Х. Гесселя (1830), установление 32 классов симметрии для кристаллических многогранников А. В. Гадолина (1867), выводы 230 групп бесконечной симметрии Е. С. Федорова и А. Шенфлиса (1890, 1891). Мощный поток новейших достижений в области многоцветной симметрии (Н. В. Белов и др.), антисимметрии и симметрии подобия (А. В. Шубников), гомотопии (В. И. Михеев), криволинейной симметрии (Д. В. Наливкин) и др. имеет своим истоком все то же, ныне почти забытое и кажущееся таким наивным на фоне блестящих современных успехов, открытие Гаюи.

Для полноты обзора о роли научного наследия Гаюи в развитии кристаллографии и минералогии обратимся к вопросу о его научных связях с русскими учеными и об оценке его трудов последними.

Имя французского ученого получило известность в России с самого начала прошлого столетия. Уже в 1806 г. (17-го сентября) на заседании Петербургской Академии наук Рене Жюст Гаюи был избран ее почетным иностранным членом, в 1817 г. — почетным членом Петербургского минералогического общества и Московского общества испытателей природы.

В 1807 г. академик В. М. Севергин (1765—1826) в своем «Подробном словаре минералогическом» придерживался в основном кристаллографической номенклатуры Гаюи. Он писал: «А как в нынешние времена два наипаче способа рассматривания и определения ископаемых тел соделались, по справедливости, наиболее принятыми, то есть способ г. Вернера в рассуждении наружных признаков, и г. Гаю в отношении к кристаллографии, то для вящего удовлетворения российской публики соединял я при каждом более известном ископаемом теле определение обоих сих знаменитых минералогов» [12].

Во вступлении к «Словарю» содержатся следующие параграфы: первые понятия о кристаллографии Гаюи, основания наименований кристаллов по Гаюи; о знаках, употребляемых Гаюи при описании кристаллов; описание кристаллических видов ископаемых тел, извлеченное из «Минералогии» Гаюи, исправленное и дополненное по новейшим наблюдениям. Важно подчеркнуть, что, активно пропагандируя теорию Гаюи, Севергин тем самым стал в ряды сторонников атомистической теории.

В 1824 г. выходит в свет книга профессора Петербургского университета физика Н. П. Щеглова (1794—1831) «Минералогия по системе г. Гаю». Предисловие к своей книге Щеглов начинает следующей характерной фразой: «Целому свету известно, что покойный Гаю глубокими исследованиями своими поставил минералогию на степень точной науки» [13]. Здесь важно обратить внимание на последние слова. Минералогия, благодаря трудам Гаюи, стала точной наукой. Кристаллографическая теория французского ученого дала возможность подвести математический фундамент под минералогические описания.

Во введении к биографии выдающегося русского минералога, автора классических «Материалов для минералогии России» Н. И. Кокшарова (1818—1892) читаем: «Особенно сильное впечатление произвела на Н. И. книга Гаюи (*Traité de mineralogie*) с принадлежащим к ней атласом кристаллизации минералов и таблицами углов кристаллов по измерениям, сделанным самим автором. Тогда же у Н. И. явилась мысль создать нечто подобное для минералов России» [14].

В статье «Предмет минералогии; краткая ее история; кристаллы, как настоящие индивидуумы неорганической природы» (1867) Н. И. Кокшаров писал: «Но вот является Гаюи, и перед этим великим светилом меркнут почти все другие, ему предшествовавшие ... Со времени Гаюи именно началась собственно вычислительная кристаллография, так как он первый применил метод строго математический для рассмотрения кристаллических форм» [15].

В самом конце прошлого столетия известный профессор минералогии Петербургского горного института академик П. В. Еремеев (1830—1896) в своих лекциях, как свидетельствует акад. М. А. Павлов, восторженно отзывался о теоретических построениях «гениального Гаюи» [16]. Высоко ценил французского ученого и Е. С. Федоров. Идеи Гаюи он рассматривал, как «надежное основание будущего здания кристаллографии» [3]. В. И. Вернадский писал: «Гаюи ... ввел в научное сознание еще две глубокие, крайне важные идеи: 1) ... он утвердил в науке о кристаллах идею симметрии; он впервые заметил закономерную повторяемость определенных элементов многогранника и 2) он применил идею симметрии не только к форме многогранников, но и к физическим свойствам их, так как ясно сознавал тесную связь между той и

другими. Идея о возможности познать путем изучения кристаллов форму атомов, найти, овладевши ею, новые неизвестные явления природы придавала своеобразную поэтическую окраску его трудам; она вдохнула жизнь в колоссальную, тяжелую, мелочную работу, сделанную в это время Гаюи и его ближайшими последователями. Гаюи сразу сделался центром научной мировой работы в этой области и все время оставался на высоте современного ему уровня науки» [17].

В связи со столетием со дня смерти Гаюи в 1922 г. известный русский кристаллограф Г. В. Вульф (1863—1925) опубликовал статью, посвященную памяти французского ученого. В ней особенно подчеркивалась роль Гаюи как кристаллографа-физика: «Гаюи не считал себя знатоком физики, и если он даже издал руководство по физике, то сделал это неохотно и по настоянию друзей, ценивших его способность изложения. Однако в построении кристаллографии он является настоящим физиком, для которого геометрия существует в природе не сама по себе, а в тесной связи со свойствами вещества» [18].

Для полноты картины остановимся и на критических высказываниях русских ученых о трудах Гаюи. Очень интересные замечания о Гаюи содержатся в диссертации Д. И. Менделеева «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу» (1855). «Изучение кристаллических форм, как и первое на опыте основанное соглашение их с химическим составом, во всяком случае принадлежит известному основателю кристаллографии Гаюи», — писал Менделеев. Подробный разбор взглядов французского ученого приводит его к следующим выводам: «Итак, вся ошибка Гаюи состояла в том, что он придавал очень тесный смысл понятию о сходстве химического состава. Как верны и основательны мнения Гаюи по отношению к кристаллографическому внешнему строению минералов, так по большей части легки суждения его по отношению к химическому составу минералов, особенно к изоморфизму... Во всяком случае, та резкость изложения общих законов, какую находим в творениях Гаюи, несогласна с подвижными и гибкими законами природы» [19].

Критически подошел к выводам Гаюи и московский профессор минералогии М. А. Толстомятов (1836—1890), один из основоположников учения о реальном кристалле. В своей диссертации «Общие задачи учения о кристал-

логепезисе» (1869) он писал: «В первой главе я останавливаюсь на основном положении Гаюи относительно увеличения массы кристалла *per juxtapositione* (путем наложения) и в опровержение его приведу факты, раскрывающие в высшей степени сложное, иногда запутанное строение кристалла, по наружности простого» [20]. Далее Толстопятов заключает: «Гаюи, увлеченный непогрешимой точностью математического анализа, введенного им в кристаллографию, построил понятие об идеальном кристалле, который заменил ему естественный кристалл».

Само собой разумеется, что такие критические высказывания могли появиться лишь в последующий этап развития науки. Теория Гаюи об идеальном кристалле была исторически необходимой ступенью для дальнейшего развития кристаллографии.

Среди многочисленных учеников и слушателей Гаюи были и русские ученые. В числе их — известный метеоролог и кристаллограф, член Петербургской Академии наук А. Я. Купфер (1799—1864). В своей автобиографии он писал о себе в третьем лице: «Проникнутый глубоким уважением к высоко даровитому и отечески доброму Гаюи (на похоронах которого он с другими нес его гроб), полный восторженного удивления к другим выдающимся людям, украшавшим эту столицу (Париж), он покинул ее, прожив в ней полтора года, и отправился в Петербург» [21].

Лекции Гаюи слушали известный московский профессор Г. И. Фишер фон Вальдгейм (1771—1853) и выдающийся палеонтолог Э. И. Эйхвальд (1795—1876). Оба эти ученых написали на русском языке учебники по минералогии и кристаллографии.

Особенно близок к Гаюи был талантливый русский математик и музыкант Петр Александрович Рахманов (ок. 1770—1813). В 1803 г. Рахманов приехал в Париж, где слушал курсы Лагранжа, Био, Лежандра и Гаюи. П. А. Рахманову Гаюи доверил передачу своих трудов Петербургской Академии наук. Об этом свидетельствует сохранившееся в Архиве Академии наук СССР письмо Гаюи от 1 июня 1805 г.:

«Оглашено в Конференции 28 августа 1805 г.»

«Париж, 1-го сего июня 1805.

Гг. членам императорской С. Петербургской

Академии наук.

Милостивые государи!

Благодаря моим сношениям со многими из Ваших соотечественников, я имел случай узнать, что мои труды по минералогии и физике были благосклонно приняты в России. Из всех тех наград, какие я получил за свое рвение и свои усилия, нет ни одной, которая была бы для меня более почетной и более лестной, чем этот прием в стране, где науки насаждаются с таким успехом. Всюду на них сказывается благотворное влияние знаний, распространяемых Вами, милостивые государи, в Вашем окружении; тем интересом, который могли в нем вызвать мои работы, я обязан Вам как первоисточнику. Это внушило мне желание преподнести Вам по экземпляру каждой из двух моих работ. Для пересылки Вам я пользуюсь поездкой г. Рахманова, который был столь любезен, что согласился их передать. Я имел удовольствие числить его среди слушателей моего курса по минералогии и быть свидетелем быстрых успехов, сделанных им в различных науках, которыми он занимался во время своего пребывания в Париже. Мое подношение, доверенное столь достойному учепому, будет иметь больше цены в Ваших глазах и будет принято Вами с большей снисходительностью.

Примите уверения в почтительной преданности, с каковой имею честь оставаться, милостивые государи, Ваш смиреннейший и покорнейший слуга Гаюи» [22].

Гаюи с большим уважением относился к научной деятельности Петербургской Академии наук, о чем свидетельствует публикуемое ниже письмо, которым он сопровождал посылку своего нового труда (очевидно, «Таблиц, сравнивающих результаты кристаллографических и химико-аналитических исследований в приложении к классификации минералов»).

«Оглашено в Конференции 7 марта 1810 § 99».

«Париж, 4 сего ноября 1809.

Гг. членам императорской С. Петербургской
Академии наук.

Милостивые государи!

Имею честь препроводить Вам новый результат исследований, предпринятых мною с целью придать минералогии ту точность, которая, как мне всегда казалось, должна быть ей свойственна. Мои усилия и стремления достичь этой цели удваивались благодаря мысли, что, публикуя этот труд, я использую право, которым я обязан Вашей



Медаль в честь Р. Ж. Гаюи

доброте,— право числить среди моих званий еще и то, каким Вы, милостивые государи, меня почтили, приняв меня в вашу знаменитую корпорацию. Примите этот знак моей благодарности и почтительной преданности, с которой я остаюсь, милостивые государи,

Ваш смиреннейший и покорнейший слуга Гаюи» [20].

Необходимо отметить здесь характерное для Гаюи высказывание о его стремлении придать минералогии строгую точность.

О серьезном научном контакте между знаменитым французским ученым и его русским учеником П. А. Рахмановым свидетельствует неоднократно упоминавшаяся выше обширная статья в виде письма к П. А. Рахманову, опубликованная в первом томе «Известий Московского общества испытателей природы» («Ответ Гаюи, почетного члена Общества, на высказывания г. Бертолле, против его метода классификации (Химическая статика, т. I, с. 433 и следующие) г. Рахманову, своему ученику и члену Общества») [22].

Историческое значение творчества Р. Ж. Гаюи велико. Имя его известно не только специалистам, но и студентам всего мира, изучающим науку о кристаллах и минералах. Во всех учебниках элементарной кристаллографии на первых же страницах мы встречаем упоминания о первой структурной теории французского ученого и его знаменитом законе.

В 1943 г. 200-летний юбилей со дня его рождения отмечался не только во Франции, но и в ряде других стран, в том числе и в Советском Союзе.

В 1954 г. в честь третьего Международного конгресса кристаллографов, проводившегося во Франции, была выбита медаль, на одной стороне которой изображен Гаюи, а на другой — его модели строения кристаллов. Избранные сочинения великого кристаллографа, посвященные структуре кристаллов, вышли в издательстве Академии наук СССР в серии «Классики науки» (1962).

Валентин Гаюи

Тесная дружба связывала братьев Гаюи всю жизнь, но судьбы их сложились по-разному.

Как и Рене Жюст, Валентин учился сначала в церковной школе в своем родном городе, затем закончил школу каллиграфии. Позже, переехав в Париж, занялся изучением иностранных языков, был переводчиком и преподавателем [1, 2]. Валентину было уже 37 лет, когда по ходатайству старшего брата, ставшего в то время известным ученым, он поступил на государственную службу. В сохранившемся письме к начальнику архивной службы Рене Жюст рекомендует Валентина как искусного специалиста по расшифровке старинных надписей и ведению дипломатической переписки [3]. Валентин получает должность секретаря и переводчика в министерстве иностранных дел (позже он войдет в состав комиссии по народному образованию). Кроме живых европейских языков, Валентин владеет латынью, греческим, древнееврейским, читает на восточных языках. Ему доводится расшифровывать не только депеши, но и старинные надписи, письма, договоры, всевозможные скорописи и сокращения.

Валентин по-прежнему жил в Париже с родителями. Он счастливо женат, у него дочь. Казалось бы, жизнь его вполне устроена, но он ищет нового. В очень кратких автобиографических заметках, написанных уже в конце жизни, он вскользь упоминает, что создал собственный метод чтения, пригодный для любого языка.

Работая с текстами, Валентин думает о том, как передать мысль от одного человека к другому? Не обязательно

при помощи речи, это может быть система символов, знаков, т. е. шифр, который позволит общаться даже с глухонемыми и слепыми. Зрячий способен воспринять мысль на расстоянии с помощью оптического телеграфа. Используя же условные шифры, можно сделать эту передачу секретной.

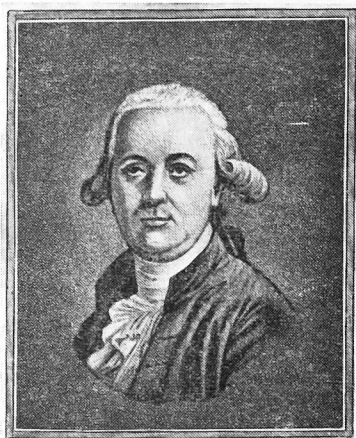
Идея оптического телеграфа в то время занимает многих ученых. В 1793 г. между Парижем и Лиллем начинает действовать оптический телеграф Шаппа.

Его триумфом стала передача извещения о победе французских войск 1 сентября 1794 г. В апреле 1796 г. знаменитый Гаспар Монж посвящает оптическому телеграфу свой первый доклад в Национальном институте наук и искусств. Говорят и об аббатах Д'Эпе и Сикаре, разработавших метод обучения глухонемых с помощью «системы знаков» и открывших специальную школу.

В те годы в Париже концертировала слепая пианистка Мария Парадиз из Вены. Встретившись с ней, Валентин Гаюи расспрашивает, как она воспитывалась и училась. Его поражают живой ум и широкая образованность пианистки.

Валентин знакомится и с ее учителями, в том числе с тем, который сам ослеп на седьмом году жизни. Он собирает редкие книги о жизни слепых.

У Валентина постепенно зреет мысль о том, чтобы по примеру Д'Эпе и Сикара учить слепых, делать их трудоспособными. Как-то на одном из бульваров Парижа он останавливается в толпе, собравшейся вокруг жалкого самодеятельного оркестра слепых нищих. Наблюдая за их игрой, за тем, как они на ощупь различают монеты, Валентин серьезно задумывается: а нельзя ли развить осязание и слуховые способности слепых. Может быть, попытаться выработать систему условных сигналов подобно телеграфным сигналам и передавать их слепым с помощью осязания?



Валентин Гаюи

Так у Валентина Гаюи возникает план основания учебного и ремесленного заведения для слепых, но не для исключительно одаренных натур и не для детей состоятельных родителей, а для массы обездоленных, подчас лишенных каких бы то ни было способностей. Чтобы осуществить этот план, не хватает пока одного — денег. Валентин обращается в благотворительное общество, на попечении которого состоят слепые дети. Он берется бесплатно обучать детей и сделать их трудоспособными, лишь бы общество обеспечило их питание. Однако общество отказывает ему в этой просьбе.

На паперти одной из парижских церквей просит милостыню семнадцатилетний слепорожденный мальчик Лезюэр. На нем Гаюи решается испробовать свой метод. Но родители мальчика не соглашаются отдать его в обучение, они боятся лишиться подаяния, которое он собирает.

Валентин заключает с ними договор: он обязуется из своего скудного жалованья уплачивать родителям Лезюэра сумму, которую по среднему расчету мальчик выручает ежедневно на паперти. Беспримерные условия приняты, и Валентин приступает к занятиям. Он учит Лезюэра чтению, письму, арифметике, игре на рояле, ремеслам. У мальчика появляется не только интерес, но и тяга к знаниям.

Молва об успешном обучении слепорожденного распространяется в Париже. Валентина Гаюи приглашают продемонстрировать успехи его подопечного. На вечерах делают сборы, и Валентин берет их, надеясь скопить средства для полного осуществления своей идеи. Его принимают даже в Версале, где он демонстрирует способности своего ученика. Король Людовик XVI и королева Мария Антуанетта восхищены, Валентину назначают пенсию.

В январе 1786 г. Валентин Гаюи является в совет недавно образованного Человеколюбивого общества. Он просит членов совета принять собранные им деньги при условии, что впредь будет иметь возможность обучать вместе с Лезюэром еще 12 слепых детей, призреваемых обществом. Так возникает учебное заведение «Приют слепых тружеников». В конце 1786 г. оно преобразуется в первый казенный институт для слепых. Согласно королевскому указу в нем должно обучаться 30 человек, но очень скоро число воспитанников достигает 120. Лезюэр

помогает Валентину теперь уже как младший учитель и как эконом института.

В чем же заключался смысл занятий по методу Гаюи? Он полагал, что нужно обучить слепого собственным трудом зарабатывать средства к существованию. На первом плане Валентин ставил обучение слепых доступным им ремеслам, затем музыке, чтению и письму с помощью выпуклых литер, арифметике, географии, языкам. Все это изложено в его сочинении «Опыт обучения слепых», изданном в 1786 г. [4]. На обложке этой монографии указано: «Напечатано слепыми детьми». Наборное ремесло также входило в план обучения слепых, а своя типография была источником дохода института.

Описание Института слепых тружеников мы находим в «Письмах русского путешественника» Н. М. Карамзина, посетившего Париж в мае 1790 г.: «Нынешний день видел я две чудесные школы: училище природноглухих и немых... и еще другую, не менее удивительную школу природнослепых, которые умеют читать, знают музыку, географию, математику. Аббат Д'Эпе, основатель первого училища, умер, место его заступил аббат Сикар...

В другой школе, заведенной господином Гаюи, слепые учатся арифметике, чтению, музыке и географии посредством выпуклых знаков, букв, нот и ландкарт, разбираемых ими по осязанию. Ученик, щупая ряды литер и нот, перед ним лежащих, читает, поет; прикоснувшись рукою к ландкарте, говорит: здесь Париж, тут Москва; здесь Отагити, тут Филиппинские острова. Швед (спутник Карамзина.— *М. III, II. III.*) тихонько перевернул карту; слепой, дотронувшись до нее, сказал; она лежит вверх ногами, и снова оборотил ее. Как у зрячих судят глаза о расстоянии предметов, их взаимных отношениях, так у слепых осязание, удивительно тонкое, верно согласенное с памятью и воображением...

... Надзиратель хотел сделать нам полное удовольствие, и велел слепым ученикам своим петь гимн, сочиненный для них Обером. Прекрасные голоса! Трогательная мелодия! Милые слова! Мы заплакали» [5].

Чувствительный Карамзин плакал от умиления, а Валентин Гаюи в это время готов был плакать от отчаяния — институт находился на краю гибели, королевская казна отпускала ничтожные средства. Гаюи придумывал различные способы, чтобы спасти свое заведение; он организовал типографию, оркестр из воспитанников, при-

пимал всевозможные ремесленные заказы. Он отдал все свои сбережения и влез в долги, которые потом ему пришлось выплачивать до конца жизни. (Часть этих долгов легла тяжелым бременем и на долю его брата Рене Жюста, который к тому же взял на себя заботу о дочери Валентина, а позже и об ее муже и детях.)

Французская Республика поддержала начинания Валентина Гаюи, увеличилось число пансионеров института, им было предоставлено бесплатное помещение. Однако средств по-прежнему не хватало. В 1801 г. Институт слепых тружеников был слит с богадельней для слепых. Эта мера, предпринятая «в видах экономии», полностью разрушила дело Гаюи — занятия ремеслами упразднились, обучение сокращалось, продолжительность уроков не должна была превышать часа в день. Попад в среду ведущих праздный образ жизни, бывшие питомцы института быстро утрачивали трудовые навыки и стремление к умственному развитию.

Будучи не в силах наблюдать, как гибнет его дело, Валентин Гаюи покидает богадельню вместе с девятью слепыми учителями и мастерами. Вскоре он открывает небольшую частную школу для слепых и глухонемых. Преподают в ней верный Лезюэр и другие его слепые ученики. У Валентина теперь больше времени, и он может спокойно размышлять об оптическом телеграфе. Он занят изобретением новых конструкций, но у него нет ни средств, ни возможностей. Оптический телеграф во Франции действует, Бонапарт доволен им и не желает новшеств, да еще от какого-то учителя слепых. Где, как осуществить свои замыслы? И вдруг мелькает луч надежды: Валентин Гаюи получает приглашение из далекой России. Приглашают его, конечно, не как изобретателя телеграфа, а как учителя слепых.

Не один Карамзин, многие другие русские путешественники, побывавшие во Франции, познакомились с Институтом слепых тружеников. Слух об удивительном нововведении дошел и до Петербурга. Император Александр I, не желая отставать от моды, поручил своему посланнику в Париже начать переговоры с Валентином Гаюи. Предложение попробовать свои силы в России заманчиво. Вот где может открыться обширное поле деятельности. «Я решил, — писал Валентин Гаюи, — предоставить мою систему и мою машину на службу этой империи» [6].

Осенью 1803 г. он составил проект «Об основании в Петербурге заведения для полезного занятия слепых, по примеру учрежденных уже во Франции заведений в пользу людей, столь несчастных и достойных сожаления» [1].

Гаюи предполагал провести в России год и за это время обучить русских преподавателей и 50 слепых детей. Он счел необходимым заготовить предварительно в Париже приборы и аппараты для обучения слепых: типографские станки, ящики со шрифтами, рельефные глобусы, географические карты, приборы для ремесленных производств, ноты, аппараты для письма и т. п. Валентин просил заранее назначить директора будущего заведения, которого он смог бы оставить своим преемником, передав весь свой опыт, когда по истечении года вернется на родину. По его мнению, это должен был быть педагог, обладающий кротостью, терпением, любовью к ближнему и умом, владеющий, кроме наук, не менее чем русским и французским языками (а лучше бы и еще какими) и усвоивший различные ремесла.

Гаюи напоминал, что к его приезду необходимо составить списки 50 будущих слепых воспитанников: один должен включать детей из обеспеченных семей, способных оплачивать их содержание и обучение, второй — немущих, которых придется содержать за казенный счет. Найдя такие списки готовыми, он обещал за время от полугода до года создать институт слепых тружеников в Петербурге и передать его своему будущему преемнику. Он представил также смету расходов на будущий институт. Составленная без знаний местных условий и людей, эта смета была впоследствии основной темой раздоров во время пребывания Валентина Гаюи в Петербурге. Доверчивость и скромность не позволяли ему сразу решить вопрос о вознаграждении, он оставлял его открытым, «всецело полагаясь на милость императора».

Типографский шрифт и пособия для обучения уже доставлены в Петербург. По поручению императора русский посланник просит Гаюи, «не теряя ни минуты», собраться в путь [1].

Слух о поездке Гаюи из Франции в Петербург опережает его на пути. Прусский король принимает его в Шарлоттенбурге. Берлинская Академия наук назначает специальное заседание, где Гаюи демонстрирует успехи своего слепого ученика Фурнье, едущего с ним.

Будущий король Франции Людовик XVIII, пребывающий в изгнании в Митаве, устраивает прием в честь Валентина Гаюи и его ученика и обещает по заслугам оценить его, когда вернется на престол.

В сентябре 1806 г. Гаюи с семьей и слепым учеником Фурнье прибывает в Петербург *. Ему уже 61 год, но он полон надежд. В честь Гаюи устраиваются приемы, вечера, где опять-таки демонстрируются успехи Фурнье, но уже нет денежных сборов: ведь Гаюи — гость императора.

Сразу по приезде Гаюи обращается с письмом к Александру I. Он просит разрешения явиться к нему на прием со своим 17-летним учеником и показать, как ему удастся обучить слепых, спасти их от нищеты или тунеядства, сделать их полезными обществу. Он льстит себя надеждой, что монарху будет интересно впервые увидеть слепого, который может читать, писать, считать, ориентироваться по географической карте и выполнять разные ремесленные работы. Он просит императора «уделить ему минуту внимания для блага обездоленных слепых» [1].

Можно долго перечислять все письма и прошения, с которыми обращался Валентин к Александру I, но проще указать на их основной итог: пробыв в России не год, а 11 лет, Гаюи, однако, так и не был принят императором.

Увлечение монарха новой идеей быстро прошло. Охладело к обучению слепых и высшее общество Петербурга.

Сразу по прибытии в Петербург Гаюи начинает испытывать материальные трудности. Длительная дорога поглотила все его сбережения. Обещанной квартиры и экипажа для разъездов нет, платить за гостиницу нечем, жалованья тоже нет — оно должно было зависеть от милости императора. После неоднократных прошений министр просвещения изредка выделяет некоторые суммы.

Очень медленно идет организация нового института. Попечитель Петербургского учебного округа определяет на должность наставника и будущего преемника Гаюи титулярного советника Бушуева. Правда, он знаком с воспитанием слепых лишь по газетной статье, но это

* Можно полагать, что с прибытием Валентина Гаюи в Петербург связано то, что 17 сентября 1806 г. его старший брат Рене Жюст Гаюи был избран почетным членом Российской Академии наук.

его нимало не смущает. Явившись к Гаюи и отрекомендовавшись как человек с большими заслугами, Бушуев спросил, с кем, собственно говоря, предстоят занятия, со слепыми или глухонемыми? Гаюи вручил Бушуеву экземпляр своего «Опыта обучения слепых», прося его внимательно ознакомиться с содержанием книги. Через два дня книга была возвращена с лаконическим ответом: «Я все знаю». «Вы очень счастливы,— отвечает ему Гаюи.— Вам нельзя не позавидовать. Я — автор изложенного в этой книге метода. Я более 20 лет занимаюсь его применением, и все же я еще не доволен и ищу новое» [1].

Несмотря на протесты Гаюи, Бушуев назначается заведующим денежной и экономической частью будущего института, он же должен стать наставником и основным педагогом. Узнав об организации нового учебного заведения, к Гаюи приходят и добровольцы — учителя, проникшиеся его идеей и желавшие посвятить свою жизнь благородному делу обучения слепых. Студент педагогического института Галич берется обучать слепых чтению, письму, грамматике. Это тем более ценно, что Гаюи ведь еще не знает русского языка. Французский эмигрант, принявший русское подданство, Луэ готов преподавать слепым музыку. Правда, вопрос об обучении слепых музыке требовал обсуждения — Гаюи считал его одним из основных предметов. При этом он исходил из того, что музыкальное образование может дать слепому будущую профессию, например церковного органиста. Не зная России, он не понимал, что русское богослужение не допускало музыки и, следовательно, церковные органисты в России не были нужны.

Итак, учителя есть, но нет списков слепых детей, которые Гаюи просил подготовить к его приезду. Нет не только списков. Из канцелярии министерства просвещения Валентин Гаюи получает ответ: *в России нет слепых детей*. Ошеломленный Гаюи пытается спорить. Главные известные ему причины слепоты, пишет он в письме к министру народного просвещения графу Завадовскому, поражают людей под всеми широтами и долготами. Климат России, по его мнению, не может предохранить от указанных причин потери зрения, и т. д. и т. п. Если же, заключает он свое прошение, в публичных местах «прекрасной столицы России» не видно слепых детей, то это обуславливается «мудрой политикой», предписывающей

помещикам и родителям держать этих несчастных при себе или помещать их в богадельни [1].

Письмо к графу Завадовскому, отчет, представленный «господам министрам и советникам, до коих сие дело касается», письма к высокопоставленным лицам, в том числе посланнику, приглашавшему его в Россию, отчаянные письма к императору — и на все один ответ. А между тем Гаюи встречается на улице слепых нищих. Он уговаривает их учиться, обещает им деньги — лишь бы они согласились. Но, видимо, странное предложение человека, с трудом объясняющегося на русском языке, пугает их. «Я даю им вспомошествование,— писал Гаюи в одном из прошений,— и обещаю продолжать его, если они только согласны трудиться. Это не помогает. Они не являются вновь» [1].

От слепых нищих Гаюи узнает о богадельне близ Смольного и находит там около сотни слепых детей. Он обращается к губернатору и снова к министру, прося разрешить присылать экипаж за детьми. Экипаж ему не хотят предоставить, поскольку о нем не было речи в предварительных переговорах. На одной из его докладных императору сохранилась резолюция графа Завадовского: «велено посоветовать Гаюи вести себя пристойно, не затевая излишеств» [1]. А он снова просит о злосчастном экипаже.

Гаюи готов слепых детей не только учить, но и кормить завтраком и обедом за свой счет. Но и эта просьба остается без ответа.

«Наконец, мне посчастливилось,— писал Гаюи,— добыть несколько слепых детей, рассеянных в частных домах, из бедных семей; я их кормлю, снабдил постелями и обучаю». Фурнье, Галич и Луэ ревностно помогают ему.

Осенью 1807 г. Александр I наконец утвердил штат института (всего лишь на 15 человек) и повелел отпустить средства, в том числе и на злополучный экипаж. Квартира на 2-й линии Васильевского острова быстро заполнилась слепыми детьми — одних нашел сам Гаюи, других привели родители. Попутно он открыл и небольшую школу для глухонемых, обучая их по методу условных знаков Д'Эпе и Сикара.

Даже с пристрастием проведенная летом 1808 г. ревизия отмечала, что слепые воспитанники обучены чтению, письму, сочинению, истории, географии, языкам, печатанию, музыке и пению и разным ремеслам, как то: плете-

нию корзин и стульев, вязанию сетей, вышиванию, наборному делу.

В замечаниях к отчету указывалось, что слепые, живущие в одном доме с Гаюи, окружены неудобствами. Спальня их зимой холодна, летом невыносимо душна. Комната, предназначенная для публичных собраний, служит одновременно и типографией, и музыкальной залой, и наборною, и классом «для свободных наук», так что на одном столе учатся чтению и грамматике, на другом занимаются арифметикой; в одном углу набирают шрифт, в другом печатают, а по середине играют на фортепиано или скрипке, и тут же сын Гаюи или его воспитанник Фурнье работают на токарном станке. В соседней комнате слепые механики под руководством Гаюи собирают машину для оптического телеграфа.

В отчете ревизоров отмечалось, что типография в институте остановлена из-за недостатка шрифта. (Небезынтересно отметить, что проводивший ревизию через три года был отстранен от должности и предан суду. В числе его долгов в виде неуплат казенных сумм числилось 8142 руб., которые он присвоил из средств института.)

Не удивительно, что после ревизии Гаюи подал императору просьбу сообщить, продолжать ли ему занятия (ввиду окончания контракта), в случае же увольнения рассчитать его и учителей. Ревизор добавил свое мнение: по причине несогласий между Гаюи и Бушуевым одного из них следует уволить. В одной из своих докладных в министерство Гаюи писал: «Заслуги мои на поприще воспитания и образования слепых в течение 37 лет удостоились похвал и признания со стороны Парижской Академии наук, института Франции; деятельность моя подробно разобрана в двух энциклопедиях, об ней разные журналы сообщали отчеты, ученые иностранцы знакомили с нею своих соотечественников, общественное мнение интересовалось ею, французское правительство назначило мне за нее пенсию... Ни один из французских министров просвещения не считал недостойным своего положения посетить институт слепых. Между тем здесь, в Петербурге, в течение двухлетнего пребывания мне не только не удалось предстать перед лицом русского императора, но даже министр народного просвещения ни разу не заглянул в институт слепых!..

В ту пору, когда я провожу бессонные ночи, занимаюсь, помимо моей специальности, другим делом, имеющим

такое важное значение для общества, мою жизнь отравляют, меня на каждом шагу унижают...

Вы, конечно, не ведаете, что ... мне оказан на вашей гостеприимной территории столь несправедливый прием! И он оказан человеку, которого удостаивают в других местностях названия «служителя страждущего человечества» и который явился в Россию по зову ее монарха» [1].

Говоря о «другом деле», Гаюи имеет в виду свой оптический телеграф, о котором ревизор отозвался неодобрительно, написав, что Гаюи «кроме своих прямых обязанностей» занимается в интересах военного и морского ведомств разработкой вопроса о телеграфе. И в самом деле уже в первый год своего пребывания в Петербурге, в 1807 г., Гаюи представил императору записку, озаглавленную «Телеграф, простой и экономический, устроенный по новой системе, годный для передачи, точно и быстро, в отдаленные места, изустной речи или писаного текста, на каком бы то ни было языке, недоступном пониманию даже изобретателя, как только он сообщит правительству лежащую в основе его изобретения мысль; приводимый в движение даже людьми неграмотными, весьма важный для целей военных, на суше и на море; непонятный неприятелю, притом очень простого устройства, без особенно сложных аппаратов и сооружаемый очень скоро, почти мгновенно, по мере надобности» [1].

Гаюи упрекают в том, что, будучи приглашен в Россию для создания института слепых, он занимается делом, чуждым его прямой обязанности. На это он решает возразить, что заниматься своими прямыми обязанностями у него пока нет возможности, ведь он томится в ожидании слепых, ради которых он прибыл в Россию (это пишется в первой половине 1807 г.). Поэтому, вынужденно сидя без дела, он хочет употребить свое время на пользу государству, обязавшемуся оплачивать его содержание. Он не просит никакого вознаграждения за свое изобретение, так как считает сейчас свое время целиком принадлежащим Российскому государству. Плоды своих трудов по усовершенствованию телеграфа он преподносит русскому императору, желая, чтобы это изобретение стало новым мирным средством к доставлению спокойствия Европе, уже два десятилетия страдающей от ужасов войны.

Составить себе представление о телеграфе Валентина Гаюи мы можем по его трактату «Краткий исторический

мемуар о телеграфе вообще и о различных сделанных до сего дня попытках ввести его в пользование в России, а также о простом средстве окончательно освоить его, дополненный несколькими курьезными и интересными замечками, относящимися к двум другим учреждениям, которые, хоть и не относятся к передаче слов на дальние расстояния, служат некоей помощью для совершенствования этого искусного изобретения и которые, как и оно, находятся еще в колыбели в этой империи» [6]. Мемуар издан в Петербурге в 1810 г. и снабжен следующим предисловием: «Автор этого мемуара — брат аббата Р. Ж. Гаюи, члена института Франции, иностранного члена Академии наук в С.-Петербурге, профессора минералогии и физики, кавалера ордена Почетного легиона и т. д.

В. Гаюи, переводчик французского правительства (времен Бурбонов), экс-член его комиссии по народному образованию, пенсионер правительства, автор метода обучения слепорожденных поощрительными средствами так, чтобы они могли работать как для общества, так и для себя, в настоящее время занят в С.-Петербурге по распоряжению его величества императора организацией заведения создаваемого для этой цели по примеру таких же заведений в Париже и других местах; он использует свои досуги для создания по наилучшим принципам телеграфной системы, усовершенствованной по неким приемам, новым в этом искусстве, развиваемом им для использования в Российской империи, на службу которой этот профессор имеет честь быть приглашенным уже почти 5 лет.

Цена этой брошюры один рубль; деньги, вырученные за нее, будут использованы для покупки инструментов и орудий труда, чтобы дать их слепым труженикам для вознаграждения и поощрения.

Она продается в Государственном институте, предназначенном для обучения этих несчастных и интересных детей, в доме рядом с дворцом Юсупова на Фонтанке».

На первых страницах «Мемуара о телеграфе» Гаюи предупреждает: «Некоторые личные подробности, в которые я вынужден вникать, а также две заметки, как об обучении слепорожденных, так и о глухонемых, которым заканчивается это сочинение, вообще посвященное телеграфу, могут на первый взгляд показаться лишними; но читатель, несомненно, согласится с тем, что эти отступления были необходимы, чтобы получить описываемые уди-

M É M O I R E
HISTORIQUE ABRÉGÉ
SUR LES
TÉLÉGRAPHES
EN GÉNÉRAL,

*Et sur les diverses tentatives faites jusqu'à ce jour,
pour en introduire l'usage en Russie, ainsi que sur
un moyen simple de l'y consacrer définitivement.*

S U I V I

De quelques notes curieuses et intéressantes relatives à deux autres institutions qui, quoiqu'étrangères à la transmission de la parole à une distance éloignée, ont été de quelque secours au perfectionnement de cet art ingénieux, et qui, comme lui, sont encore au berceau dans cet Empire.

D É D I É

A SA MAJESTÉ L'EMPEREUR
DE TOUTES LES RUSSIES,

Et destiné à éclairer sur cet objet leurs EXCELLENCES
MESSIEURS LES MEMBRES de son Conseil, les
différens MINISTRES et autres PERSONNAGES d'ETAT,

PAR LE PROFESSEUR V. HAÜY. (*)

A S T. - P É T E R S B O U R G,
DE L'IMPRIMERIE D'ALEXANDRE PLUCHART ET COMP.
Maison Kontaisoff, N^o 106, vis-à-vis de l'Amirauté.

1 8 1 0.

Титульный лист «Сочинения о телеграфе» Валентина Гаюи

AVEC PERMISSION DU COMITÉ DE CENSURE.

(*) L'auteur de ce mémoire est le frère de l'abbé J. R. Haüy, membre de l'institut de France, associé de l'académie des sciences de St.-Petersbourg, professeur de minéralogie et de physique, membre de la légion d'honneur, etc.

V. Haüy, interprète du gouvernement français (du tems même de la monarchie des Bourbons) ex-membre de sa commission d'instruction publique, pensionné par lui, auteur de la méthode d'enseigner aux aveugles-nés, par des moyens consolateurs, à travailler utilement pour la société, comme pour eux-mêmes, est actuellement occupé dans St.-Petersbourg, par l'ordre de SA MAJESTÉ L'EMPEREUR, à l'organisation d'un établissement fondé dans cette vue à l'instar de ceux qu'il a formés à Paris et ailleurs; il y emploie ses loisirs au développement d'un système télégraphique d'après les meilleurs principes, enrichis de quelques procédés neufs dans cet art, composé exprès par lui pour l'usage de l'Empire de Russie, au service duquel ce professeur a l'honneur d'être attaché depuis près de 5 ans.


Le prix de cette brochure est d'un rouble; l'argent qu'elle produira sera employé à acheter des instrumens et des outils de travail pour donner aux Aveugles-Travailleurs à titre de récompense et d'encouragement.

Elle se vend à l'Institut Impérial, destiné à l'éducation de ces enfans infortunés et intéressans, maison attenante le Palais Joussouppoff, sur le canal de la Fontanka.

вительные результаты по моей телеграфной системе при помощи этих двух учреждений, достойных некоего доверия, хотя бы потому, что публичные опыты доказывают действенность системы. Именно обстоятельствам, составляющим тему этих деталей и этих заметок, я обязан успехом, удивляющим меня самого. К тому же я надеюсь, что живой интерес, все шире вызываемый слепорожденными и глухими, смягчит некоторую сухость этого мемуара...»

В том-то и дело, что для Валентина Гаюи обучение слепых и глухонемых и изобретаемый им телеграф — все это одно и то же «искусство передавать мысль с помощью сигналов». Не боясь натяжки, можно сказать, что это один из первых, самых наивных прообразов нашей нынешней теории информации, методов передачи информации с помощью условного кода.

К сожалению, суть изобретения Гаюи остается для нас непонятной. Он пишет, что сразу по прибытии в Россию изготовил уменьшенную модель своей телеграфной машины. Модель представляла собой пирамиду, на каждой из трех сторон которой на русском, французском и немецком языках было нанесено краткое изложение сути метода. Гаюи продемонстрировал эту модель наряду с приборами и инструментами для обучения слепых в салоне президента Академии наук Новосильцева, знакомя с ним всех желающих, в особенности ученых. В «Мемуаре о телеграфе» он сообщает, что сейчас уже заканчивает реальную машину высотой в десять сажен и один аршин; в ней дюжина рычагов, действующих попеременно или вместе по пяти направляющим. Но чертежей и технического описания машины нет.

Более подробно пишет Гаюи о своей системе передачи символов. В его телеграфе основой является таблица, известная только двум служащим на конечных станциях, — и только эти двое могут знать содержание передаваемой депеши. В таблице указано восемь основных сигналов, которые образуются разными положениями, направлениями, цветом и порядком трех знаков V  O. Два служащих на конечных станциях руководствуются списком слогов, словарем, таблицей чисел, грамматической таблицей, формуляром на любом языке. Люди, передающие депеши на промежуточных станциях, не знают этих таблиц; они вообще могут быть неграмотными — их дело только принимать и передавать условные сигналы на соседнюю передаточную станцию. Основной ключ, или

шифр, сигналов можно менять по мере надобности (например, «в случае измены»). Сигналы можно передавать днем и ночью, звуком трубы, барабанным боем, пушечными выстрелами, звоном колоколов или условными, видимыми знаками, если нет аппаратов Гаюи. Дешепши можно передавать начальникам армий и флотов, комендантам осажденных крепостей, отдавать распоряжения из столицы на окраины империи — нужно только покрыть страну сетью передаточных станций. Правда, кое-где придется вырубить леса, выровнять неровные местности. Но зато можно приспособить для промежуточных станций каланчи, колокольни, кровли высоких зданий.

И сила убежденности Гаюи столь велика, что в мае 1808 г. морской министр Чичагов поручает построить в Галерной гавани в Петербурге его телеграф в натуральную величину. В распоряжение инженеров предоставляется отряд матросов для обучения навыкам обращения с аппаратами, приему и передаче депеш. По-видимому, из-за отставки морского министра это строительство было остановлено. Между тем Гаюи узнает, что где-то за Ораниенбаумом сохранились остатки телеграфных приспособлений от прежних неудачных опытов: мачты с реями и 22 сигнальными шарами. Гаюи спешит воспользоваться ими и даже готов довольствоваться только 7 шарами.

В августе 1809 г. проведен решающий опыт. Сигнальная мачта с тремя реями и семью сигнальными шарами установлена в Кронштадте на берегу, обращенном к Петербургу. Фрегат «Церера» ставится на якорь в Финском заливе близ Петербурга. Начинаются переговоры между Гаюи в Кронштадте и капитаном «Цереры». Как пишет Гаюи, результат поразил быстротой и точностью, тем более удивительной, что переговоры велись на языке, непривычном для капитана при помощи шифра, который можно было неоднократно менять. Простота, скорость, точность передачи, соблюдение тайны — эти качества отмечали наблюдатели.

Петербургский военный губернатор, заинтересовавшись опытами в Кронштадте, пожелал ввести телеграфную систему Гаюи на каланчах для подачи пожарных сигналов. Гаюи предложил заменить сложную сигнальную пожарную систему многих шаров и флагов, выкидываемых на каланче, одним только шаром на мачте без рей, перекладин, флагов и других вспомогательных знаков. Различные положения этого шара передавали все сообщения,

нужные для сигнальной службы, по-видимому опять-таки с помощью системы условных сигналов.

В темный морозный ноябрьский день того же 1809 г. эта сигнальная противопожарная система подверглась испытанию. Передачу и прием на двух полицейских каланчах осуществляли два юноши, из которых одним был 16-летний сын Гаюи *. В их распоряжение был придан отряд матросов. Сам военный губернатор вручал одному из юношей фразу в запечатанном конверте, тот передавал ее с одной каланчи на другую с помощью сигнального шара, а второй, расшифровав полученную депешу, возвращал ее губернатору. Тот выразил свое полное удовлетворение точностью передачи.

В «Мемуаре о телеграфе» содержится описание еще нескольких удачных опытов и публичных демонстраций, но, к сожалению, не сохранилось материалов о том, какая судьба постигла телеграфную машину Гаюи.

Незадолго до отъезда из России Гаюи собирался опубликовать второе издание своего «Опыта по воспитанию слепых», на этот раз в двух томах. Издание не осуществилось, но сохранилась изданная в 1817 г. брошюра «*Extrait abrégé servant de prospectus de la seconde édition de l'essai sur l'éducation des aveugles*» («Краткое изложение, служащее проспектом второго издания Опыта по воспитанию слепых») [1]. Этот краткий очерк как бы суммирует результаты его трудов в области воспитания слепых. Цель задуманных им институтов слепых тружеников он сводит к таким положениям:

1. Необходимо дать возможность всем слепым заниматься, избавив их от опасного и тяжелого бремени праздности, способствующей усвоению худых привычек и пороков.

2. Должно занимать слепых порознь или сообща работами, полезными для общества и для них самих.

3. Бедным среди слепых следует доставить источник заработка, спасающий их от прошения милостыни и от нищеты.

4. Необходимо возвратить обществу праздные, но здоровые руки поводырей, существующих на счет благотворительности.

* Сын Валентина, Жюст Гаюи (1793—1843), всю дальнейшую жизнь провел в России. Был физиком и инженером. В 1828 г. избран членом-корреспондентом Российской академии наук.

5. Надо дать возможность слепым заниматься наукой, литературой, искусствами, достигая этих целей при помощи специальных учебных пособий и рельефных книг.

6. Никогда не следует упускать из виду, что потерявший зрение имеет право на утешение, которое ему необходимо доставлять всеми средствами, выработанными в области образования слепых.

7. Деятельность слепых следует приводить как пример всем, имеющим склонность к лени. Они должны служить примером соревнования для зрячей молодежи [1].

В заключение Гаюи обращался к правительствам, призывая их устраивать институты трудового воспитания для слепых. В этой краткой записке изложены те идеи, которые вдохновляли Валентина Гаюи всю его жизнь.

В 1817 г. 72-летний Валентин Гаюи с Фурнье покинул Петербург. С собой он увозил лишь орден Владимира 4-й степени, которым при отставке наградил его император «За ревностное усердие». Он возвращался на родину к брату.

За годы пребывания в России Валентин Гаюи был забыт во Франции. Времена изменились. В эпоху реставрации изгонялись все революционные начинания. Когда Валентин Гаюи захотел посетить основанный им Парижский институт слепых (с 1815 г. он снова был отделен от богадельни), новый директор института распорядился не впускать в институт его основателя, объявив Валентина Гаюи участником революции.

Валентин Гаюи прожил еще пять лет в доме старшего брата, вместе со своей дочерью, о которой уже многие годы заботился Рене Жюст. Работы для Валентина в Париже уже не нашлось. 19 марта 1822 г. Валентин Гаюи скончался.

Заслуги его в воспитании слепых увековечены через полвека памятником, установленным перед Национальным институтом слепых в Париже.

В родном городе братьев Гаюи Сен-Жюсте в 1903 г. установлен бронзовый памятник им обоим: Валентин сидит, ласково привлекая к себе слепого нищего мальчика, а рядом стоит Рене Жюст, он держит в руке кристалл иландского шпата и показывает его, как бы объясняя людям тайны строения кристаллов.

Литература

Юность и начало научной деятельности

1. *Cuvier G.* Eloge historique de M. l'abbé Haüy: Prononcé dans la séance. P.: Acad. sci., 1829.
2. *Канаев И. И.* Жорж Луи Леклер де Бюффон. М.; Л.: Наука, 1966.
3. *Гаюи Р. Ж.* Письмо к П. Маке от 6 янв. 1776 г.— Bull. Soc. franç. minér., 1944, t. 67, p. 144.
4. *Гаюи Р.* Опыт теории структуры кристаллов и ее применение к разнородным кристаллическим веществам.— В кн.: Р. Ж. Гаюи. Структура кристаллов.— Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
5. *Buffon G.* Histoire naturelle des minéraux. P., 1944, t. 67, p. 144.
6. *Уэвель В.* История индуктивных наук. СПб., 1869, т. 2, с. 277.
7. *Ромэ-Делиль Ж. Б.* Предисловие и введение в «Кристаллографию».— В кн.: *Н. Стенон.* О твердом, естественно содержащемся в твердом. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957.
8. *Шафрановский И. И.* История кристаллографии с древнейших времен до начала XIX столетия. Л.: Наука, 1978, с. 218.
9. *Найу R.* Traité de minéralogie. P.: Bachelier, 1801, 1822.
10. *Бокль Г.* История цивилизации в Англии. СПб., 1864, т. 1, с. 681.
11. *De Romé de l'Isle.* Cristallographie ou Description des formes géométriques propres à tous les corps du règne minéral, dans l'état de Combination saline, pierreuse ou métallique. P., 1783.
12. *De Romé de l'Isle.* Essay de cristallographie ou description de figures géométrique propres à différents corps du règne minéral, connus vulgairement sur le nom des cristaux. P., 1772.
13. *Найу R. J.* Sur la structure des cristaux de grenat.— J. phys., 1782, XIX, p. 366—370.
14. *Найу R. J.* Sur la structure des spaths calcaires.— J. phys., 1782, XX, p. 33—39.
15. *Крылов А. Н.* Жозеф Луи Лагранж.— Собр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1900, т. 1, ч. 2, с. 262.
16. *Найу R.* Observations sur la manière de faire les herbiers. Mém. Acad. sci., 1784, p. 210—212.
17. *Гаюи Р.* Письмо к А. Пуарье от 12 ноября 1782 г.— Bull. Soc. franç. minér., 1944, t. 67, p. 117.

В эпоху бурь

1. *Lacroix A.* La vie et l'oeuvre de l'abbé René Just Haüy.— Bull. Soc. franç. minér., 1944, t. 67, p. 15—112.
2. *Найу R. J.* Exposition raisonnée de la théorie de l'électricité et du magnétisme d'après les principes d'Aepinus. P., 1787. 238 p.
3. *Найу R. J.* Mémoire sur les propriétés électriques de plusieurs minéraux.— Mém. Acad. sci., 1785, p. 206—209.
4. *Дорфман Я. Г.* Лавуазье. Изд-во АН СССР. М.; Л.: 1948.
5. *Боголюбов А. Н.* Гаспар Монж. М.: Наука, 1978.

6. *Cuvier G.* Eloge historique de M. l'abbé Haüy: Prononcé dans la séance. P.: Acad. sci., 1829, p. 8.
7. *Haüy R. J.* Sur la dilatation de l'eau.— Bull. Soc. philom., 1791, t. I, p. 75—76.
8. *Haüy R. J.* Sur les moyens employés pour mesurer le poids d'un pied cube de l'eau.— Bull. Soc. philom., 1791, t. I, p. 39—41.
9. Instruction abrégée sur les mesures déduites de la grandeur de la terre et sur les calculs relatifs à leur division décimale. P.: Imp. nat. an II, p. 150.
10. Старосельская-Никитина О. А. Очерки по истории науки и техники периода Французской буржуазной революции 1789—1794 гг. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946.
11. Procès verbaux du comité des finances de l'Assemblée constituante / Ed. par C. Bloch, Renne, 1822, 1re pt, p. XXVII—XXVIII.
12. Les charlatanes modernes, ou lettres sur le charlatanisme académicien, publ. par M. Marat, l'Ami du peuple. De l'Imprimerie de Marat, 1791.
13. Араго. Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров. СПб., 1859, т. I, с. 601.
14. *Haüy R. J.* Leçons sur la physique. P.: Séances Ecole norm. 1809, t. 1, p. 32—49, 188—205, 303—323, 394—412; t. 2, p. 129—148, 318—338; t. 3, p. 39—61, 310—331; t. 4, p. 71—87, 271—291; t. 5, p. 173—194, 219—243, 326—351; t. 6, p. 74—103.
15. Débats des séances de l'Ecole normale de Paris, t. 3, p. 1—16, 16—32, 33—40, 41—45, 46—52, 52—54, 54—65, 65—73, 73—78, 79—92.
16. *Haüy R. J.* Sur les services rendus à la science minérale par de Romé de l'Isle. P.: Séances Ecole norm. 1795, t. 3.
17. Бокль Г. Т. Успехи в минералогии Де Лиля и Гаюи.— История цивилизации в Англии. СПб., 1864, т. I, с. 681.
18. *Haüy R. J.* Traité de Minéralogie. P.: Bachelier, 1801. Vol. 1—4.
19. Extrait d'un traité élémentaire de minéralogie, rédigé par le Cⁿ Haüy. P.: Imp. Républ., 1796. 286 p.— J. mines, 1796, p. 249—358.
20. Гаюи Р. Ж. Письмо к Пьеру Прево, 24 ноября 1803 г.— Bull. Soc. franç. minér., 1944, t. 67, p. 155.
21. Вульф Г. В. Аббат Рене Жюст Гаюи.— Природа, 1922, № 8/9, с. 89—96.
22. Техническое распределение драгоценных камней с отличительными признаками их, извлеченное из сочинений аббата Гаю членом-учредителем графом Г. К. Разумовским с прибавлением и замечаниями по собственным его наблюдениям. СПб., 1833.
23. *Haüy R. J.* Traité élémentaire de physique destiné pour l'enseignement dans les lycées nationaux. P.: Delance, Lesueur, 1803, Vol. 1—2.
24. Верде Э. Труды Огюстена Френеля.— В кн.: Творцы физической оптики / Под ред. В. И. Родичева. М.: Наука, 1973.
25. *Haüy R. J.* Traité des caractères physiques des pierres précieuses pour servir à leur détermination lorsqu'elles ont été taillées. P.: Courcier, 1817. 253 p.
26. *Haüy R. J.* Traité élémentaire de physique. 3-e éd. P.: Delance, Lesueur, 1820.
27. *Haüy R. J.* Traité de cristallographie. Vol. 1—2, Atlas. P.: Bachelier, Husard, 1822.
28. *Haüy R. J.* Traité de minéralogie. 2-ed. P.: Bachelier, 1822.

Предшественники Р. Ж. Гаюи в истории кристаллографии

1. *Marx K. M.* Geschichte der Kristallkunde. Karlsruhe; Baden, 1825, S. 15—16.
2. *Marbode.* Poèmes de Marbode, évêque de Rennes traduit en vers français. Rennes, 1873, p. 12.
3. *Kern P., Gindt R.* Problèmes de cristallogénès. Aspects théoriques et aspects industriels.—Bull. Soc. chim. France, 1960, p. 1465.
4. *Lenz H. O.* Mineralogie der alten Griechen und Römer. Wiesbaden, 1861, S. 19.
5. *Болдырев А. К.* Кристаллография. Л.; М.; Грозный; Новосибирск: ОНТИ, 1934, с. 48—49.
6. *Дукреций.* О природе вещей. М.: Изд-во АН СССР, 1945, с. 99.
7. *Плиний.* Каия Плиния Секунда Естественная история ископаемых тел / Пер. В. Севергина. СПб., 1819, с. 116—117.
8. *Agricola G.* Georg Agricola's Mineralogische Schriften. Freiberg, 1810, Bd. 3.
9. *Шафрановский И. И.* Кристаллографические представления И. Кеплера и его трактат «О шестиугольном снеге». М.: Наука, 1971. 24 с.
10. *Hooke R.* Minerographia or some physiological descriptions of minute bodies. L., 1665. (Рус. пер. см. в кн.: *Гаюи Р. Ж.* Структура кристаллов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 153—154).
11. *Стефон Н.* О твердом, естественно содержащемся в твердом. Л., 1957, с. 66.
12. Цит. по кн.: *Гаюи Р. Ж.* Структура кристаллов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 159.
13. Цит. по кн.: *Гаюи Р. Ж.* Структура кристаллов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 158.
14. *Ломоносов М. В.* Полн. собр. соч.: В 5-ти т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951, т. 2, с. 173—275.
15. *Леммлейн Г. Г.* Мысли Ломоносова о кристаллах. В кн.: М. В. Ломоносов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940, с. 213—221.
16. *Шафрановский И. И.* История кристаллографии. Л.: Наука, 1978.
17. *Вернадский В. И.* Основы кристаллографии. Ч. I, вып. I. М., 1904, с. 12.
18. *De Romé de l'Isle.* Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral, dans l'état de combinaison saline, pierreuse ou métallique. P., 1783. Цит. по кн.: *Шафрановский И. И.* История кристаллографии. Л.: Наука, 1978, с. 232.
19. *Федоров Е. С.* Из итогов 35-летия. М., 1904. 15 с.

Первая книга Р. Ж. Гаюи —

«Опыт теории структуры кристаллов»

1. *Найу R. J.* Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées. P., 1784 (1783).
2. *Гаюи Р. Ж.* Структура кристаллов. Избранные труды. (Серия «Классики науки»). М.: Изд-во АН СССР, 1962. 176 с.
3. *Валлерий И. Г.* Минералогия или описание всякого рода руд и ископаемых из земли вещей. СПб., 1763, с. 8.
4. *Вернадский В. И.* О комбинационной штриховке кристаллических граней.—Изв. Имп. Акад. Наук, 1907, сер. 6, т. I, № 10, с. 289—317.

5. Микеев В. И., Шафрановский И. И. Реберные формы и штриховка на кристаллах.— Кристаллография, 1957, т. 2, вып. 1, с. 106—171.
6. Шафрановский И. И., Мокиевский В. А. Некоторые проблемы кристалломорфологии минералов.— Зап. Всес. минер. о-ва, 1964, вып. 5, с. 583—590.
7. Шубников А. В., Шубникова О. М. Статистический метод в применении к изучению внешней формы кристаллов.— Изв. АН СССР, 1926, сер. 6, т. 20, № 5—6, с. 363—384.
8. Кокшаров Н. И. Предмет минералогии; краткая ее история; кристаллы, как настоящие индивидуумы неорганической природы.— Зап. Минер. о-ва, 1875, т. 10, с. 142.

«Курс кристаллографии»

1. Haüy R. J. Traité de cristallographie, suivi d'une application des principes de cette science à la détermination des espèces minérales et d'une nouvelle méthode pour mettre les formes cristallines en projection. P., 1822, t. I, LXVII. 607 p.
2. Haüy R. J. Traité de Cristallographie. P., 1822, t. II. 650 p.
3. Гольдшмидт В. М. Кристаллохимия. Л.: ОНТИ, 1937, с. 8.

Р. Ж. Гаюи — минералог, химик, физик

1. Haüy R. J. Traité de Minéralogie. 2 éd. P., 1822—1823. Vol. 1—4, 1 atlas.
2. Orcei M. J. Haüy et la notion d'espèce en minéralogie.— Bull. Soc. franç. minéral., 1944, t. 67, p. 265—306.
3. Buffon G. L. L. Histoire naturelle des minéraux. P., 1785, t. III, p. 425—435.
4. Гаюи Р. Ж. Структура кристаллов. Избранные труды. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962, 176 с.
5. Менделеев Д. И. Изоморфизм.— Горный журнал, 1855, ч. 3, кн. 8, с. 252—253.
6. Haüy R. Mémoire sur les propriétés électriques de plusieurs minéraux.— Mém. Acad. sci., 1785, p. 206.
7. Haüy R. J. Exposition raisonnée de la théorie de l'électricité et du magnétisme d'après les principes d'Aepinus. P., 1787. 238 p.
8. Haüy R. J. Sur l'électricité produite dans les minéraux à l'aide de la pression.— Ann. chim., 1817, t. 5, p. 95.
9. Техническое распределение драгоценных камней с отличительными признаками их, извлеченное из сочинений аббата Гаю членом учредителем графом Г. К. Разумовским с прибавлением и замечаниями по собственным его наблюдениям. СПб., 1833.
10. Haüy R. J. Traité élémentaire de physique destiné pour l'enseignement dans les lycées nationaux. P.: Delance, Lesueur, 1803. T. I, II.
11. Haüy R. J. Traité élémentaire de physique. 2-e éd. P.: Delance, Lesueur, 1803.
12. Haüy R. J. Traité élémentaire de physique. 3-e éd. P., 1820.

Значение научного наследия Р. Ж. Гаюи.

Оценка его трудов русскими учеными

1. Weiss C. S. Dynamische Ansicht der Kristallisation.— In R. J. Haüy. Lehrbuch der Mineralogie. P.; Leipzig, 1804, S. 365.

2. *Weiss C. S.* Uebersichtliche Darstellung der verschiedenen natürlichen Abteilungen der Kristallisations Systeme.— *Abh. könig. Akad. Wiss. Berlin*, 1814—1815, S. 289—344.
3. *Федоров Е. С.* Из итогов 35-летия. М., 1904, с. 10—11.
4. *Wollaston W. H.* On the elementary particles of certain crystals.— *Phil. Trans.*, 1813, p. 51—63.
5. *Seeber L. A.* Versuch einer Erklärung des innern Baus der festen Körper.— *Ann. Phys.*, 1824, **75**, S. 229—248.
6. *Delafosse G.* Recherches sur la cristallisation considérée sous les rapports physiques et mathématiques.— *Mém. pres. divers savants Acad. Roy. sci. Inst. France*, 1843, t. 8.
7. *Frankenheim M. L.* Die Lehre von der Cohäsion. Breslau, 1835, S. 311.
8. *Bravais A.* Les systèmes formés par des points distribués régulièrement sur un plan ou dans l'espace.— *J. Ecole Polytechn.*, 1850, **XIX**, p. 1—128.
9. *Bravais A.* Etudes cristallographiques.— *J. Ecole Polytechn.*, 1851, **XX**, p. 101—376.
10. *Браве О.* Избранные научные труды. Кристаллографические этюды. Л.: Наука, 1974, с. 189.
11. *Федоров Е. С.* Симметрия правильных систем фигур.— *Зап. СПб. минер. о-ва*, 1891, т. 28, с. 1—146.
12. *Севергин В. М.* Подробный словарь минералогический. СПб., 1807, т. I, с. V.
13. *Щеглов Н.* Минералогия по системе г. Гаю. СПб., 1824, с. 1.
14. *Кокшаров Н. И.* Воспоминания.— *Русская старина*, 1890, т. 65, кн. 3, с. 608.
15. *Кокшаров Н. И.* Предмет Минералогии, краткая ее история; кристаллы, как настоящие индивидуумы неорганической природы.— *Зап. Минер. о-ва*, 1876, т. 10, с. 11.
16. *Павлов М. А.* Воспоминания металлурга. М.: Металлургиздат, 1943, с. 42.
17. *Вернадский В. И.* Основы кристаллографии. М., 1904, ч. I, с. 15.
18. *Вульф Г. В.* Аббат Рене Жюст Аюи.— *Природа*, 1922, № 8—9, с. 89—96.
19. *Менделеев Д. И.* Изоморфизм.— *Горный журнал*, 1855, ч. 3, кн. 8, с. 252—253.
20. *Толстопятов М. А.* Общие задачи учения о кристаллогенезисе. М., 1869, с. 5—6.
21. *Рыкачев М. А.* Исторический очерк Главной физической обсерватории. Ч. I, СПб., 1899, с. 32.
22. *Шафрановский И. И., Раскин Н. М.* Р. Ж. Гаюи и его научные связи с русскими учеными.— *Вопросы истории естествознания и техники*. 1957, вып. 5, с. 165—168.

Валентин Гаюи

1. *Скребицкий А. И.* Создатель методов обучения слепых Валентин Гаюи в Петербурге. СПб., 1886. 89 с.
2. *Skrebitzky. Valentin Haüy à Saint-Petersbourg d'après des documents inédit.* P., 1884, 53 p.
3. *Гаюи Р. Ж.* Письмо к А. Пуарье, 12 ноября 1782 г.— *Bull. Soc. minér. Franç.*, 1944, **67**, p. 117.
4. *Haüy V.* Essai sur l'éducation des aveugles. Imprimé par les enfants aveugles. P., 1786.

5. *Карамзин Н. М. Письма русского путешественника.* СПб.: изд. А. С. Суворина, 1900, с. 198.
6. *Mémoire historique abrégé sur les Télégraphes en général, et sur les diverses tentatives faites jusqu'à ce jour, pour en introduire l'usage en Russie, ainsi que sur un moyen simple de l'y consacrer définitivement / Par le Professeur V. Haüy. A St.-Petersbourg: imprimerie Alexandre Pluchart, 1810.*

Научные труды Р. Ж. Гаюи

1. Sur la structure des cristaux de grenat.— J. phys., 1782, XIX, p. 368—370. (О структуре кристаллов граната).
2. Sur la structure des spaths calcaires.— J. phys., 1782, XX, p. 33—39. (О структуре известковых шпатов).
3. Essai d'une théorie sur la structure des cristaux appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées. P., 1783. 236 p. (Опыт теории структуры кристаллов и ее применение к разнородным кристаллическим веществам).
4. Observations sur les schorls.— Mém. Acad. sci., 1784, p. 270. (Наблюдения над шерлами).
5. Mémoire sur la structure des cristaux de feldspath.— Mém. Acad. sci., 1784, p. 273—286. (О структуре кристаллов полевого шпата).
6. Mémoire sur les propriétés électriques de plusieurs minéraux.— Mém. Acad. sci., 1785, p. 206—209. (Об электрических свойствах некоторых минералов).
7. Observations sur la manière de faire les herbiers.— Mém. Acad. sci., 1785, p. 210—212. (О способах создания гербариев).
8. Mémoire sur la structure de divers cristaux métalliques.— Mém. Acad. sci., 1785, p. 212—228. (О структуре различных металлических кристаллов).
9. Mémoire sur la structure du cristal de roche.— Mém. Acad. sci., 1786, p. 78—94. (О структуре горного хрусталя).
10. Lettre à M. Lamétheire sur le schorl blanc.— J. phys., 1786, XXVIII, p. 63—64. (Письмо Ламетри о белом шерле).
11. Exposition raisonnée de la théorie de l'électricité et du magnétisme d'après les principes d'Aërinus. P., 1787. 238 p. (Рациональное изложение теории электричества и магнетизма по принципам Эпинуса).
12. Mémoire sur la structure des cristaux de schorl.— Mém. Acad. sci., 1787, p. 92—109; J. phys., 1787, p. 321—327 (О структуре кристаллов шерла).
13. Sur le spath adamantin.— J. phys., 1787, XXX, p. 193—195. (Об алмазном шпате).
14. Mémoire où l'on expose une méthode analytique pour résoudre les problèmes relatifs à la structure des cristaux.— Mém. Acad. sci., 1788, p. 13—33. (Изложение аналитического метода решения задач, касающихся структуры кристаллов).
15. Mémoire sur la double réfraction du spath d'Islande.— Mem. Acad. sci., 1788, p. 34—61. (О двойном преломлении исландского шпата).
16. Mémoire sur la manière de ramener à la théorie du parallélépipède celle de toutes les autres formes primitives des cristaux.— Mém. Acad. sci., 1789, p. 519—532. (О способе приводить к тео-

- рии параллелепипеда все остальные примитивные формы кристаллов).
17. Exposition abrégée de la théorie de la structure des cristaux.— Ann. chim., 1789, III, p. 1—28; J. hist. natur., 1792, p. 158, 161, 201. (Краткое изложение теории структуры кристаллов).
 18. Mémoire sur les cristaux appelés communément Pierres de Croix.— Mém. Acad. sci., 1790, p. 27, 44; Ann. chim., 1790, VI, p. 142—157. (О кристаллах, обычно называемых крестовыми камнями).
 19. Observations sur les propriétés électriques du borate magnésocalcaire.— Ann. chim., 1791, IX, p. 59—63. (Наблюдения над электрическими свойствами магнезиально-известкового бората).
 20. De l'électricité du spath boracique.— J. phys., 1791, XXXVIII, p. 323—324. (Электричество шпата — борацита).
 21. Sur les moyens employés pour mesurer le poids d'un pied cube d'eau.— Bull. Soc. philom., 1791, I, p. 39—41. (О способах, употребляемых для измерения веса кубического фута воды).
 22. Description de la gemme orientale.— Bull. Soc. philom., 1791, p. 49—50. (Описание восточной геммы).
 23. Sur le mètre ou l'unité usuelle des mesures linéaires républicaines.— Bull. Soc. philom., 1791, I, p. 73—74. (О метре или единице, употребляемой в республике для линейных измерений).
 24. Sur la dilatation de l'eau.— Bull. Soc. philom., 1791, I, p. 75—76. (О расширении воды).
 25. Sur quelques variétés de sulfate barytique ou spath pesant.— Ann. chim., 1792, XII, p. 3—26. (О некоторых разновидностях бариевого сульфата или тяжелого шпата).
 26. Mémoire sur la structure des cristaux de nitrate de potasse.— Ann. chim. 1792, XIV, p. 85—96. (О структуре кристаллов азотнокислого калия).
 27. Sur la double réfraction du spath calcaire transparent.— J. hist. natur., 1792, I, p. 63; II, p. 158—160. (О двойном преломлении прозрачного известкового шпата).
 28. Sur le pesanteur spécifique des minéraux.— J. hist. natur., 1792, I, p. 94—103. (Об удельном весе минералов).
 29. Sur un nouveau rhomboïde de spath calcaire.— J. hist. natur., 1792, I, p. 148—156. (О новом ромбоиде на известковом шпате).
 30. Sur les hydrophanes.— J. hist. natur., 1792, I, p. 294—299. (О гидрофанах).
 31. Sur le diamant.— J. hist. natur., 1792, I, p. 377—384. (Об алмазе).
 32. Sur la double réfraction du crystal de roche.— J. hist. natur., 1792, I, p. 406—408. (О двойном преломлении горного хрусталя).
 33. Extrait des observations sur la vertu électrique que plusieurs minéraux acquièrent à l'aide de la chaleur.— J. hist. natur., 1792, I, p. 449—461. (Извлечение из наблюдений над электрическими свойствами, полученными при нагревании некоторых минералов).
 34. Sur les couleurs de l'agate opaline nommée communément opale.— J. hist. natur., 1792, II, p. 9—18. (Об окрасках опалесцирующего агата, обычно называемого опалом).
 35. Sur les rapports de figure qui existent entre l'alvéole des abeilles et le grenat dodécaèdre.— J. hist. natur., 1792, II, p. 47—53. (О соотношении фигур пчелиной ячейки и додекаэдра граната).
 36. De la structure considérée comme caractère distinctif des miné-

- гаух.— J. hist. natur., 1792, II, p. 56—71. (О структуре, рассматриваемой как характерное, отличительное свойство минералов).
37. Sur les cristaux d'argent rouge.— J. hist. natur., 1792, II, p. 216—236. (О кристаллах красной серебряной руды).
 38. Théorie sur la structure des cristaux.— J. phys. 1793, XLIII, p. 103, 146; Tilloch. phil. mag., 1793, I, p. 35—46, 153—169, 287—303, 376. (Теория структуры кристаллов).
 39. De l'action du feu sur le quartz.— Ann. chim., 1793, XVI, p. 203—207. (О воздействии огня на кварц).
 40. Sur la double réfraction de plusieurs substances minérales.— Ann. chim., 1793, XVII, p. 140—155; Mém. Soc. hist. natur.; Paris, an II, p. 25—27. (О двойном преломлении некоторых минеральных веществ).
 41. Mémoire sur les méthodes minéralogiques.— Ann. mines, 1793, XVIII, p. 225—240. (О минералогических методах).
 42. Instruction abrégée sur les mesures déduites de la grandeur de la terre et sur les calculs relatifs à leur division décimale. P.: Imp. natur., an II, p. 150. (Краткая инструкция для вычисления и измерения величины земного шара и для нахождения десятичных частей).
 43. Sur les aimants naturels.— J. phys., 1794, XLV, p. 309—311. (О природных магнитах).
 44. Mémoire sur une espèce de loi particulière à laquelle est soumise la structure de certains cristaux, appliquée à une nouvelle variété de carbonate calcaire.— J. mines, 1795—1796, II, p. 11—22; Tilloch. phil. mag., 1798, II, p. 398—413. (Об одном частном законе, которому подчиняется структура некоторых кристаллов, в приложении к новой разновидности кальциевого карбоната).
 45. Sur le schorl rouge de Bretagne.— J. mines, 1795—1796, II, p. 46—47. (О красном шерле из Бретани).
 46. Sur la cristallisation du titane.— J. mines, 1795—1796, II, p. 28. (О кристаллизации титана).
 47. Observations sur les Zéolithes.— J. mines, 1795—1796, III. (Наблюдения над цеолитами).
 48. Sur l'électricité de l'Apatite.— J. mines, 1795—1796, III. (Об электричестве апатита).
 49. Exposé des observations et expériences faites sur le Wolfram de France (avec Hecht et Vauquelin).— J. mines, 1796, IV, p. 3—26. (Обзор наблюдений и опытов, проведенных над вольфрамом во Франции).
 50. Description de la cymophane avec quelques réflexions sur les couleurs de gemmes.— J. mines, 1796, IV, p. 5—16. (Описание цимофана и некоторые мысли об окраске драгоценных камней).
 51. Sur les services rendus à la science minérale par de Romé de l'Isle. (О заслугах в области минералогии Ромэ — Делиля).
 52. Observations sur le chapitre V de la Géographie physique de Bergman.— J. mines, 1796, IV, p. 21—32. (Обзор пятой главы «Физической географии» Бергмана).
 53. Exposé d'une méthode simple et facile pour représenter les formes crystallines par des signes très abrégés qui experiment les lois de décroissement auxquelles est soumise la structure.— J. mines, 1796, IV, p. 15—36. (Изложение простого и легкого метода, позволяющего характеризовать формы кристаллов краткими обозначениями, выражающими законы убывания структуры).

54. Observations sur l'électricité des minéraux.— J. mines, 1796, IV, p. 65—71. (Наблюдения над электричеством минералов).
55. Sur la cristallisation de l'émeraude.— J. mines, 1796, IV, p. 72—74. (О кристаллизации изумруда).
56. Extrait d'un traité élémentaire de Minéralogie, rédigé par le C^h Haüy. P.: Imp. Républ. 286 p.; J. mines, p. 249—358. (Извлечение из курса элементарной минералогии).
57. Sur la forme des stalactites.— J. mines, 1796, IV, p. 77. (О форме сталактитов).
58. Sur les pierres appelées jusqu'ici Hyacinthe et Jargon de Ceylan, leurs différences, leurs caractères physiques et géométriques.— J. mines, 1796—1797, V, p. 160—162. (О камнях, называвшихся до сих пор гиацинтом и жаргоном с Цейлона. Об их разнице и их физических и геометрических свойствах).
59. Sur la structure des cristaux de leucite.— J. mines, 1796—1797, V, p. 185—193. (О структуре кристаллов лейцита).
60. Distribution et nomenclature des substances dont l'étude est du ressort de la Géologie.— J. mines, 1797, VI, p. 33, 680. (Распределение и номенклатура объектов, подлежащих изучению в геологии).
61. Observations minéralogiques sur une pierre de Vulpine dans le Bergamase.— J. mines, 1797, VI, p. 809—811; J. phys., XLVII, p. 102—103. (Минералогические исследования камня — вульфенита из Бергама).
62. Observations sur la structure des cristaux appelés Zéolithes et sur les propriétés électriques de quelques-uns.— Mém. Acad. sci., I, an IV, p. 49—55. (Наблюдения над структурой кристаллов, называемых цеолитами, и над электрическими свойствами некоторых из них).
63. De la diopase d'Haüy, emeraldine de Delametherie.— J. phys., 1798, XLVI, p. 308, 309. (О диоптазе Гаюи и эмерандине Деламетри).
64. Sur l'alumine fluatisée.— J. phys., XLIX, p. 462—463. (О жидком алюминии).
65. Observations sur des cristaux trouvés parmi des pierres de Ceylan et qui paraissent appartenir à l'espèce du corindon vulgairement nommée spath adamantin.— Mém. Soc. hist. natur. Paris, 1799, p. 55—58. (Наблюдения над кристаллами, найденными между камнями Цейлона, которые относятся, очевидно, к роду корунда, называемого попросту «алмазным шпатом»).
66. Mémoire sur la possibilité de substituer hypothétiquement les formes secondaires des cristaux aux véritables formes primitives de manière à obtenir encore des résultats conformes aux lois de la structure.— Mém. Soc. hist. natur. Paris, 1799, p. 102—111. (О возможности выводить гипотетически вторичные формы кристаллов из действительных первичных форм так, чтобы полученные результаты соответствовали закону структуры).
67. Mémoire sur les formes cristallines du mercure sulfuré ou cinabre.— Mém. Soc. hist. natur. Paris, 1799, p. 114—117. (О кристаллических формах сернистой ртути или киновари).
68. Mémoire sur la comparaison des cristaux de strontiane sulfatée avec ceux de baryte sulfatée nommés communément Spaths pesans. Mém. Soc. hist. natur. Paris, 1799, p. 127—139. (Сравнение кристаллов сернокислого стронция и сернокислого бария, обычно называемого тяжелым шпатом).

69. Leçons sur la physique. P.: Séances Ecole norm. 1800, t. I, p. 32—49, 188—205, 303—323, 394—412; t. II, p. 129—148, 348—338; t. III, p. 39—61, 310—331; t. IV, p. 71—87, 271—291; t. V, p. 173—194, 219—243, 326—351, t. VI, p. 74—103. (Уроки по физике в Нормальной школе).
70. Séances des Ecoles Normales de Paris. Les premiers essais d'Haüy dispersés dans le choix des mémoires d'Histoire naturelle ont été réunis en appendice d'un volume des Débats de ces séances. P., 1800, t. III, p. 1—16 et 16—32, 33—40, 41—45, 46—52, 52—54, 54—65, 65—73, 73—78, 79—92. (Заседания Высшей Нормальной школы в Париже. Ряд сообщений Гаюи).
71. Mémoire sur une variété de fer sulfuré et une forme géométrique qui a rapport avec elle.—Procès-verb. séances, t. II, p. 168. (Об одной разновидности сернистого железа и о соответствующей ей геометрической форме).
72. Mémoire sur le pouvoir réfringent du soufre. Procès-verb. séances, t. II, p. 221. (Об отражательной способности серы).
73. Traité de minéralogie. P., 1801. (Курс минералогии: в 4-х т., атлас).
74. Description d'une nouvelle variété de chaux phosphatée.—J. mines, 1802, XII, p. 99—102. (Описание новой разновидности фосфорнокислой извести).
75. Sur le cuivre arséniaté.—Ann. Mus. hist. natur., 1802, I, p. 27—42; J. mines, 1802—1803, XIII, p. 425—440; Nicholson J., 1804, VIII, p. 187—197. (О мышьяковистой меди).
76. Sur de nouvelles variétés de chaux carbonatée, avec quelques observations sur les erreurs auxquelles on s'expose en se bornant à l'usage du goniomètre pour la description des cristaux.—Ann. Mus. hist. natur., 1802, I, p. 114—126. (О новых разновидностях углекислой извести с некоторыми замечаниями об ошибках, которые получаются, если при описании кристаллов ограничиваться только гониометром).
77. Notice sur la prétendue Zéolithe rayonnée du duché de Deux — Ponts.—Ann. Mus. hist. natur., 1802, I, p. 194—197. (Заметка о предполагаемом лучистом цеолите...).
78. Sur l'indicolite de M. d'Andrada.—Ann. Mus. hist. natur., 1802, I, p. 257—260. (Об индиколите г-на Андрада).
79. Mémoires sur les topazes du Brésil.—Ann. Mus. hist. natur., 1802, I, p. 346—352. (О бразильских топазах).
80. Mémoires sur deux nouvelles variétés de fer sulfuré.—Ann. Mus. hist. natur., 1802, I, p. 439—444. (О двух новых разновидностях сернистого железа).
81. Moyens employés par M. Haüy pour la conservation des plantes de son herbier.—In La Botanique de J.-J. Rousseau. P., an X, p. 313—319. (Способы, употребляемые г-ном Гаюи для сохранения растений в его гербарии).
82. Description de l'Apophyllite Ichthyophthalme d'Andrada. (Ichthyophthalmit de Reuss, Fischaugenstein de Werner). P., an XI. (Описание апофиллита — ихтиофталма Андрада).
83. Traité élémentaire de physique destiné pour l'enseignement dans les lycées nationaux. P.: Delance et Lesueur, 1803. (Курс элементарной физики для обучения в национальных лицеях).
84. Traité élémentaire de physique. 2-е éd. P., 1803. (Элементарный курс физики, 2-е изд.).

85. Observations sur la substance minérale appelé Labradorische Hornblende par les minéralogistes allemands.— Ann. Mus. hist. natur., 1803, II, p. 17—22. (Наблюдения над минеральным веществом, названным немецкими минералогами лабрадоровой роговой обманкой).
86. Mémoire sur une nouvelle variété de quartz.— Ann. Mus. hist. natur., 1803, II, p. 97—102. (О новой разновидности кварца).
87. Observations sur des cristaux qui renferment la chaux carbonatée unie au fer sans manganèse.— Ann. Mus. hist. natur., 1803, II, p. 181—187. (Наблюдения над кристаллами, содержащими углекислую известь с железом, без марганца).
88. Mémoire sur La Tourmaline de Sibérie.— Ann. Mus. hist. natur., 1804, III, p. 233—244. (Заметки о турмалине из Сибири).
89. Observations sur l'électricité des substances métalliques.— Ann. Mus. hist. natur., 1804, III, p. 309—314; Tilloch. phil. mag., 1805, XX, p. 120—123. (Наблюдения над электричеством металлических веществ).
90. Description d'une nouvelle variété de chaux carbonatée.— J. mines, 1805, XVIII, p. 299—306; Gehlen J., 1807, III, p. 514—520. (Описание новой разновидности углекислой извести).
91. Discours prononcé par M. Haüy à l'ouverture de son cours de minéralogie, le 24 floréal an XIII.— Ann. Mus. hist. natur., 1805, VI, p. 145. (Речь, произнесенная г-ном Гаюи при открытии его курса минералогии).
92. Ueber die Varietät des Corindons welche man Asterie (Sternstein) nennt.— Gilbert Ann., 1805, XX, p. 187—192. (О разновидности корунда, называемого звездчатым камнем — астерия).
93. Sur la Datholite.— J. Mines, 1806, XIX, p. 362—364; Gehlen J., 1807, III, p. 492—495. (О датолите).
94. Sur la Zoysite.— J. Mines, 1806, XIX, p. 365—366; Gehlen J., 1807, III, p. 495—497. (О цоизите).
95. Ueber die von Herrn Erman entdeckten galvanischen phänomene. Gilbert Ann., 1806, XXIV, p. 407—414. (О гальванических явлениях, открытых г-ном Эрманом).
96. Réponse avec objection de Berthollet (Statique chimique, t. I, 433—449) contre la méthode de classification d'Haüy. Lettre d'Haüy à M. de Rochmannoff.— Зап. Всерос. о-ва естествоиспытателей, т. I, с. 97—109. (Ответ г-на Гаюи на возражения Бертолле, касающиеся метода классификации автора. Письмо Гаюи Рахманову).
97. Sur la réunion de la Picnite avec la Topaze.— J. mines, 1808, p. 39—48, XXIII, p. 39—48; Ann. Mus. hist. natur., 1808, XI, p. 58; Bull. Soc. phil. Paris, 1807, I, p. 101—102; Gehlen J., 1808, V, p. 725; IX, 1810, p. 281—282. (О слиянии воедино пикнита и топаза).
98. Sur les analyses du Chromate de fer et de la variété d'Epidote appelée Zoysite.— Ann. Mus. hist. natur., 1807, IX, p. 103—105; Tilloch. phil. mag., 1808, XXX, p. 223—225. (Об анализах хромата железа и разновидности эпидота, названного цоизитом).
99. Note sur une nouvelle variété de strontiane carbonatée. Bull. Soc. phil. Paris, 1807, I, p. 89—90; Gehlen J., 1808, V, p. 242—244. (Заметка о новой разновидности углекислого стронция).
100. Sur l'identité minéralogique du Diopside, de la Malacolithe et du Pyroxène.— Bull. Soc. phil. Paris, 1807, I, p. 121—122. (О минералогической идентичности диопсида, малаколита и пироксена).

101. Extrait d'un traité élémentaire de minéralogie. P., 1802. (Извлечение из курса элементарной минералогии).
102. Description de plusieurs nouvelles variétés de chaux carbonatée.— J. mines, 1808, XXIII, p. 49—54; Gehlen J., 1810, IX, p. 261—265; Nicholson J., 1808, XXI, p. 359—363. (Описание нескольких новых разновидностей углекислой извести).
103. Sur l'analogie du diopside avec le pyroxene.— J. mines, 1808, XXIII, p. 145—159; Ann. Mus. hist. natur., 1808, XI, p. 77—88; Brugnattelli Giorn., 1808, I, p. 227—235; Gehlen J., 1810, IX, p. 271—280. (Об аналогии диопсида с пироксеном).
104. Sur l'Arragonite.— J. mines, 1808, XXIII, p. 241—270; 1809, XXV, p. 241—256. (Об арагоните).
105. Addition à ce Mémoire.— Ann. Mus. hist. natur., 1808, XI, p. 241—246; 1809, XIII, p. 241—253. (Дополнение к предыдущей статье).
106. Description de l'Apophyllite Ichthyophtalme de M. d'Andrada.— J. mines, 1808, XXIII, p. 385—392. Berlin. Ges. natur. Freunde Mag., 1808, II, S. 10—14; Gehlen J., 1810, IX, p. 266—270; Nicholson J., 1810, XXVII, p. 272—275. (Описание апофиллита-ихтиофталма г-на Д'Андрада).
107. Sur les formes cristallines du fer arsénical.— J. mines, 1808, XXIV, p. 261—268; Ann. Mus. hist. natur., 1808, XII, p. 304—309; Brugnattelli Giorn., 1809, II, p. 274—275. (О кристаллических формах мышьяковистого железа).
108. Sur une nouvelle forme cristalline du Bismuth.— J. des mines, 1808, XXIV, p. 321—330; Ann. Mus. hist. natur., 1808, XII, p. 198—204; Brugnattelli Giorn., 1809, II, p. 62—63, 310—316. (О новой кристаллической форме висмута).
109. Rapport sur un mémoire de M. Hassenfratz relatif aux altérations que la lumière du soleil éprouve en traversant l'atmosphère.— J. phys., 1808, LXVI, p. 356—358; Nicholson J., 1809, XXIV, p. 155—158. (Сообщение о статье г-на Хассенфратца об изменениях солнечного света в атмосфере).
110. Tableau comparatif des résultats de cristallographie et de analyse chimique relativement à la classification des minéraux. P.: Courcier, 1809, 12 p.; J. phys., 1809, LXIX, p. 56—77. (Сравнительные таблицы по кристаллографии и химическому анализу в применении к классификации минералов).
111. Mémoire sur la théorie d'une nouvelle espèce de décroissement intermédiaire, relative à la structure des cristaux qui dérivent du rhomboïde et sur quelques propriétés générales de cette forme avec des applications à une variété de chaux carbonatée.— J. mines, 1809, XXV, p. 5—20. (О теории нового рода промежуточного убывания в структуре кристаллов, выводящегося из ромбоида, а также о некоторых общих свойствах этой формы на примерах одной разновидности углекислой извести).
112. Observations sur le minéral que M. M. Werner et Karsten ont appelé Blättriger Augit.— J. mines, 1809, XXVI, p. 27—28; Ann. Mus. hist. natur., 1809, XIV, p. 290—300; Brugnattelli Giorn., 1810, III, p. 147—56. (Наблюдения над минералом, который Вернер и Карстен назвали листоватым авгитом).
113. Mémoire sur une variété de fer sulfuré et une forme géométrique qui a des rapports avec elle. (Об одной разновидности сернистого железа и о соответствующей геометрической форме).

114. Mémoire sur le pouvoir réfringent du soufre (lu à l'Académie en fructidore, an VIII). (Об отражательной способности серы).
115. Observations sur L'électricité des minéraux. J. Mines, 1810, XXVII, p. 371—378; Ann. Mus. hist. nat. 1810, XV, p. 1—8; Ann. chim., 1818, VIII, p. 383—401; Brugnatelli Giorn., 1810, III, p. 220—226; Schweigger J., 1819, XXV, p. 135—158; Tilloch. phil. mag., 1811, XXXVIII, p. 81—85. (Наблюдения над электричеством минералов).
116. Sur l'arsenic sulfuré.— J. mines, XXIX, 1811, p. 161—178; 1812, XXX; Ann. Mus. hist. natur., 1810, XVI, p. 19—34; Brugnatelli Giorn., 1811, IV, p. 173—175. (О сернистом мышьяке).
117. Réponse aux objections de Berthollet contre la méthode de classification inventée par l'auteur.— Зап. Всерос. о-ва естествоиспытателей, 1811, I, с. 70—81; Léonhard C.C. Taschenbuch f. die gesammte Mineralogie, 5^e année, S. 181—195 (Répétition de la lettre d'Haüy de 1806). (Ответ на возражения Бертолле относительно метода классификации, предложенного автором).
118. Sur les Cymophanes des Etats — Unis.— J. mines, 1811, XXX, p. 321—334; Ann. Mus. hist. natur., 1811, XVIII, p. 57, 69, 184; Gilbert ann., 1812, XLI, p. 53—61 (О цимофанах Соединенных Штатов).
119. Observations sur la simplicité des lois auxquelles est soumise la structure des cristaux.— J. des mines, 1812, XXXI, p. 161—200; Ann. Mus. hist. natur., 1811, XVIII, p. 169—205. (Наблюдения над простотой законов, которым подчиняется структура кристаллов).
120. Sur les cristaux de pyroxène des environs de New York.— J. mines, 1812—1813, XXXIII, p. 175—186; Ann. Mus. hist. natur., 1812, XIX, p. 257—267. (О кристаллах пироксена из окрестностей Нью-Йорка).
121. Observation sur les cristaux épigènes de fer oxydé de la Sarre.— J. mines, 1813, XXXIII, p. 161—174. (Наблюдения над эпигенетическими кристаллами окисленного железа с реки Сарры).
122. Lettre à C. C. Léonhard (sur minéraux: anophyllite, bronzite, apophyllite, azurite de Chessy... etc.). Taschenbuch, 1813, p. 281—292. (Письмо Леонарду о минералах: антофиллит, бронзит, апофиллит, азурит... и т. д.).
123. Mémoire sur une loi de crystallisation appelée Loi de la Symétrie.— J. mines, 1815, XXXVII, p. 215—235, 347—369; XXXVIII, p. 5—34, 161—174; Mém. Mus. hist. natur., 1815, I, p. 81—101, 206—225, 273—298, 341—352; Bull. Soc. philom., 1815, p. 32—34. (Об одном законе кристаллизации, названном законом симметрии).
124. Observations sur les Tourmalines et particulièrement sur celles qui se trouvent dans les Etats — Unis.— J. mines, 1815, XXXVII, p. 399—408; Mem. Mus. hist. natur., 1815, II, p. 1—9. (Наблюдения над турмалинами, в частности найденными в Соединенных Штатах).
125. Description d'une nouvelle variété d'Amphibole.— J. mines, 1815, XXXVII, p. 409—416; Mém. Mus. hist. natur., 1815, I, p. 393—400. (Описание новой разновидности амфибола).
126. Note sur la vertu électrique de quelques minéraux.— J. mines, 1815, XXXVIII, p. 319—320; Ann. chim., 1816, I, p. 447—448. (Замечка об электрических свойствах некоторых минералов).
127. Description d'une nouvelle variété de fer sulfuré blanc.— Léon-

- hard Taschenbuch, 1815, IX, p. 1—10. (Описание новой разновидности белого сернистого железа).
128. Sur des cristaux d'Apophyllite nouvellement découverts dans le Tirol.— *Neues Jahrb.*, 1815, III, S. 229—235. (О кристаллах апофиллита, вновь открытых в Тироле).
 129. Des surfaces vibrantes.— *J. phys.*, 1817, LXXXVI, p. 125—147. (О вибрирующих поверхностях).
 130. Observations sur une substance minérale à laquelle on donne le nom de Fassait.— *Mém. Mus. hist. natur.*, 1817, III, p. 120—134; *Ann. mines*, 1817, II, p. 163—178. (Наблюдения над минеральным веществом, которое называли фассаитом).
 131. Sur la vertu magnétique considérée comme moyen de reconnaître la présence du fer dans les minéraux.— *Mém. mus. hist. natur.*, 1817, III, p. 169—179; *Thomson Ann. phil.*, 1818, p. 117—119. (О магнетических свойствах, рассматриваемых в качестве средства для определения присутствия железа в минералах).
 132. Sur l'électricité produite dans les minéraux à l'aide de la pression.— *Mém. Mus. hist. natur.*, 1817, III, p. 223—228; *Ann. chim.*, 1817, V, p. 95—101; *Ann. mines*, 1817, II, p. 59—64; *Schweigger J.*, 1817, XX, p. 383—389. (Об электричестве в минералах, полученном с помощью давления).
 133. Comparaison des formes cristallines de la strontiane carbonatée avec celles de l'arragonite.— *Mém. Mus. hist. natur.*, 1817, III, p. 287—307; *J. phys.*, 1817, LXXXV, p. 341, 404; *Ann. chim.*, 1817, V, p. 439—441; *Ann. mines*, 1818, III, p. 83—102; *Schweigger J.*, 1819, XXVI, p. 347—371. (Сравнение кристаллических форм углекислого стронция и арагонита).
 134. Sur l'usage des caractères physiques des minéraux pour la distinction des pierres précieuses qui ont été taillées.— *Mém. Mus. hist. natur.*, 1817, III, p. 353—390; *Ann. mines*, 1817, II, p. 385—433. (Об использовании физических свойств минералов для определения ограненных драгоценных камней).
 135. Traité des caractères physiques des pierres précieuses pour servir à leur détermination lorsqu'elles ont été taillées. P.: Courcier, 1817. 253 p. (Трактат о физических свойствах драгоценных камней, используемых для определения последних в ограненном виде).
 136. Observations sur la mesure des angles der cristaux.— *Ann. mines*, 1818, III, p. 441—442; *J. phys.*, 1818, LXXXVII, p. 233—253; *Thomson Ann. phil.*, 1819, XIII, p. 413—429. (Наблюдения над измерениями углов на кристаллах).
 137. Sur la structure des cristaux de mercure sulfuré.— *Ann. chim.*, 1818, VIII, p. 60—70. (О структуре кристаллов сернистой ртути).
 138. Sur les arrondissements qu'ont subis les formes d'un grand nombre de cristaux par des causes accidentelles.— *Mém. Mus. hist. natur.*, 1818, IV, p. 11—22. (О закруглениях форм большого количества кристаллов, появившихся в результате случайных причин).
 139. Mémoire sur la cristallisation et sur les propriétés physiques de l'Eucrase.— *Mém. Mus. hist. natur.*, 1819, V, p. 278—293. (О кристаллизации и физических свойствах эвклаза).
 140. Nouvelles observations sur la faculté conservatrice de l'électricité acquise à l'aide du frottement.— *J. phys.*, 1819, LXXXIX, p. 455—462; *Quart. J. Sci.*, 1820, IX, p. 206—208. (Новые наблю-

- дения над сохраняющейся способностью электричества, получаемого при помощи трения).
141. Mémoire sur le Pyroxène analogique.— Ann. mines, 1819, IV, p. 513—534; Quart. J. Sci., 1822, XIII, 430—431. (Об аналогичных пироксенах).
 142. Sur le kaneelstein, essonite.— J. phys., 1820, XC, p. 319. (О коричном камне, эссоните).
 143. Observations sur les cristaux de macle.— Mém. Mus. hist. natur., 1820, VI, p. 241, 252. (Наблюдения над кристаллами двойников).
 144. Traité élémentaire de physique. 3-e éd. P., 1820.
 145. Sur la Condrodite.— Ann. mines, 1821, VI, p. 257—230. (О хондродите).
 146. Traité de Cristallographie. P.: Bachelier, Huzard, 1822. (Курс кристаллографии: В 2-х т., атлас).
 147. Traité de minéralogie. P.: Bachelier, 1823. (Курс минералогии: В 4-х т., атлас).

Содержание

Введение	5
Юность и начало научной деятельности	6
В эпоху бурь	16
Предшественники Р. Ж. Гаюи в истории кристаллографии	31
Первая книга Р. Ж. Гаюи — «Опыт теории структуры кристаллов»	50
Курс кристаллографии	73
Р. Ж. Гаюи — минералог, химик, физик	93
Значение научного наследия Р. Ж. Гаюи. Оценка его трудов русскими учеными	108
Валентин Гаюи	120
Литература	138
Научные труды Р. Ж. Гаюи	143

Марианна Петровна Шаскольская,
Илларион Илларионович Шафрановский
Рене Жюст Гаюи

Утверждено к печати
редколлегией научно-биографической серии АН СССР

Редактор издательства Л. И. Приходько
Художественный редактор Н. Н. Власик
Технический редактор Н. Н. Плохова
Корректоры Р. В. Молоканова, Е. В. Шевченко

ИБ № 21585

Сдано в набор 11.03.81 Подписано к печати 19.05.81
Т-09225. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Гарнитура обыкновенная
Печать высокая. Усл. печ. л. 7,98. Усл. кр.-отт. 8,2 Уч.-изд. л. 8,8,
Тираж 28200 экз. Тип. зак. 248. Цена 55 коп.

Издательство «Наука» 117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
2-я тип. издательства «Наука» 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10



*М. П. Шаскольская,
И. И. Шафрановский*

**Рене Жюст
ГАЮИ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»



ВЫШЛА ИЗ ПЕЧАТИ КНИГА:

Соколов В. А.

Александр Александрович Иностранцев

(1843—1919)

6 л. 35 к.

Книга посвящена жизни и деятельности члена-корреспондента Петербургской (а с 1917 г.— Российской) академии наук, профессора Петербургского университета Александра Александровича Иностранцева. С его именем связаны многочисленные геологические исследования Севера России, Алтая и других районов страны. А. А. Иностранцев — геолог широкого профиля — открыл вековые колебания, ввел микроскопический метод в петрографию, нашел и описал стоянку первобытного человека и др.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазина «Книга — почтой» «Академкнига»:

480091 **Алма-Ата**, 91, ул. Фурманова, 91/97

370005 **Баку**, 5, ул. Джапаридзе, 13

734001 **Душанбе**, проспект Ленина, 95

252030 **Киев**, ул. Пирогова, 4

443002 **Куйбышев**, проспект Ленина, 2

197110 **Ленинград**, П-110, Петрозаводская ул., 7-А

117192 **Москва**, В-192, Мичуринский проспект, 12

630090 **Новосибирск**, 90, Морской проспект, 22

620151 **Свердловск**, ул. Мамина-Сибиряка, 137

700029 **Ташкент**, Л-29, ул. К. Маркса, 28

450059 **Уфа**, ул. Р. Зорге, 10

720001 **Фрунзе**, бульвар Дзержинского, 42

310003 **Харьков**, Уфимский пер., 4/6

Цена 55 коп.