

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



СЕРИЯ «НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»

Основана в 1959 году

РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ
ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ РАН
ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ ДЕЯТЕЛЕЙ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

Н.П. Лаверов (председатель),
Э.Н. Мирзоян (зам. председателя),
В.М. Орел (зам. председателя),
З.К. Соколовская (ученый секретарь),
В.П. Борисов, В.П. Визгин, В.Л. Гвоздецкий,
А.А. Гуриштейн, С.С. Демидов, Г.М. Идлис,
С.С. Илизаров, Э.И. Колчинский, В.Н. Краснов,
В.И. Кузнецов, Н.К. Ламан, Б.В. Левшин,
К.В. Манойленко, А.В. Постников, В.Н. Сокольский,
Ю.И. Соловьев, Ю.Я. Соловьев

А.С.Сонин

**Георгий
Викторович
ВУЛЬФ
1863-1925**

Ответственный редактор
доктор физико-математических наук
В. П. ВИЗГИН



МОСКВА
«НАУКА»
2001

УДК 548(929) Г.В. ВУЛЬФ
ББК 22.37
С 62

Рецензенты:

доктор физико-математических наук *Б.И. Островский*,
кандидат физико-математических наук *Е.И. Погребысская*

Сонин А.С.

Георгий Викторович Вульф. 1863–1925. – М.: Наука, 2001. – 272 с.
(Научно-биографическая литература)
ISBN 5-02-002483-X

Книга посвящена жизни и научному творчеству выдающегося отечественного физика и кристаллографа, члена-корреспондента Российской академии наук Г.В. Вульфа, известного основополагающими трудами в области рентгеноструктурного анализа, геометрической кристаллографии и физики кристаллов. Широко известна его преподавательская и общественная деятельность – он был председателем Физического общества им. П.Н. Лебедева, председателем Общества распространения физических знаний им. Н.А. Умова, вице-председателем Всесоюзной ассоциации физиков. Книга написана на основе изучения трудов Г.В. Вульфа, архивных материалов и воспоминаний современников.

Для историков науки, научных работников в области кристаллографии и физики, всех интересующихся историей отечественной науки.

ТП-00-1-206

ISBN 5-02-002483-X

© Издательство "Наука", 2001
© Российская академия наук и издательство
"Наука", серия "Научно-биографическая
литература" (разработка, оформление),
1959 (год основания), 2001

Предисловие

Член-корреспондент Российской Академии наук Георгий (Юрий) Викторович Вульф – выдающийся представитель отечественной науки XIX – начала XX века. Его вклад в развитие кристаллографии и физики кристаллов трудно переоценить.

Среди отечественных ученых найдется совсем немного, чьи имена в истории науки увековечены в персональных законах и формулах. Фамилия же Вульфа навсегда связана с тремя такими персоналиями – принципом Кюри–Вульфа, сеткой Вульфа и формулой Вульфа–Брэгга.

Естественно, что ученый не обойден вниманием историков науки. Ему посвящены не только отдельные статьи, но и целые главы в монографиях по истории отечественной физики и кристаллографии. Но этот довольно обширный материал страдает существенным недостатком – в нем отражены только некоторые, наиболее важные, по мнению авторов, работы Вульфа. При таком подходе из поля зрения выпадают главные этапы его жизни и характерные особенности выдающейся личности.

Вульф был удивительно разносторонним ученым, хотя всю жизнь работал в одной области. Кристаллы были его страстью и его призванием. Он изучал их экспериментально, демонстрируя удивительную изобретательность и точность. Многие созданные им установки и приспособления навсегда останутся в мировой практике. Его теоретические работы в области симметрии поражают глубиной подхода и новизной полученных результатов.

Обладая несомненным литературным даром, он оставил в наследие превосходные научно-популярные статьи и книги, которые и сейчас представляют большой интерес.

Как и в науке, в общественной жизни Георгий Викторович занимал активную прогрессивную позицию. Он, один из немногих, боролся против русификации Варшавского университета, за автономию высшего образования, за демократические свободы.

Удивительно цельная, глубоко творческая личность этого человека проявлялась во всем – и в науке, и в общественной, и в культурной жизни. Он был любимым профессором Варшавского и Московского университетов, университета им. Шанявского и Высших женских курсов. Авторитетным председателем ряда секций НТО ВСНХ, Московского физического общества им. П.Н. Лебедева и Общества пропаганды физических знаний им. Н.А. Умова.

Показать во всей полноте творческую и общественную жизнь Вульфа – цель данной монографии, в которой рассматриваются все труды ученого в контексте науки того времени. При этом обнаружился

целый ряд значительных работ, которые по тем или иным причинам выпали из внимания историков, но, несомненно, сыграли важную роль в науке того времени.

Труды ученого неотделимы от его личности, и поэтому в книге большое внимание уделено семье Вульфа, его учителям и окружению, Варшавскому и Московскому университетам, университету им. Шанявского, с которыми связана вся его творческая жизнь. Многие сведения почерпнуты из архивных материалов и публикуются впервые, благодаря ценным документам из семейного архива Вульфов, которые любезно предоставили внука Вульфа Ольга Владимировна и ее муж Владимир Оттович Шмидт. Автор сердечно признателен Ольге Владимировне и Владимиру Оттовичу за оказанную помощь и предоставление уникальных фотографий, часть из которых воспроизведена в книге.

Ряд документов передали мне дочь ученика Вульфа А.В. Шубникова – Елена Алексеевна и сын другого его ученика Е.Е. Флинта – Владимир Евгеньевич. Искренне благодарен им за помощь.

Я признателен сотрудникам архивов, принимавшим участие в поисках документов о Г.В. Вульфе и его окружении – Н.М. Цариковой (Архив РАН) и Н.П. Каргиной (Архив МГУ). Пани Светлана Парка помогла мне отыскать и использовать некоторые документы из Архива Варшавского университета. Большое ей спасибо!

Выражаю благодарность сотруднику Музея Варшавского университета Р. Гавковскому за присланные мне фотографии университета.

Михаил Аркадьевич Ковнер любезно передал в наше распоряжение письма Г.В. Вульфа к П. Гроту и А. Зоммерфельду, хранившиеся в Мюнхенском университете. Большая ему благодарность.

Сердечно признателен сотрудникам библиотеки ИНЭОС РАН и ИК РАН за помощь в подборе опубликованных трудов Вульфа.

И наконец, следует отметить сотрудницу нашего института Эллу Васильевну Генералову за постоянную помощь в работе над книгой.

За конструктивную критику и ценные замечания сердечно благодарю рецензентов Б.И. Островского, Е.И. Погребысскую и ответственного редактора В.П. Визгина.

Я благодарю кафедру физики полимеров и кристаллов физического факультета МГУ и Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова, которые оказали автору частичную финансовую поддержку для издания книги в полном объеме.

Семья

1

В Российской империи восемь дворянских родов носили фамилии Вульф [193], о чем свидетельствуют родословные книги Лифляндской, Тверской, Киевской, Московской, Новгородской, Петербургской и Херсонской губерний. Лифляндские и тверские Вульфы принадлежат к древнему дворянскому роду, корни которого происходят от иноземцев, поступивших в XVII в. на русскую службу. Остальные Вульфы – это так называемое новое дворянство XVIII–XIX вв., получившее столь высокий титул за многолетнюю службу в государственных учреждениях России.

Как показал в своем генеалогическом исследовании С. Шокарев [158], сведения о роде Вульфов, к которому принадлежал Георгий Викторович, хранятся во II части родословной книги Киевской губернии ("Новое дворянство"). По семейному преданию основатель рода шведский офицер Вульф (Ульф) в 1709 г. был ранен и взят в плен в сражении под Полтавой.

Достаточно хорошо известен первый представитель этого рода Константин Федорович Вульф (дед Г.В. Вульфа). Он родился в 1813 г., в 16 лет поступил на военную службу в 5-й Егерский полк в звании унтер-офицера, но в 1826 г. вышел в отставку в чине поручика. С 1828 г. К.Ф. Вульф служил в полиции, а с 1831 г. вновь на военной службе во 2-м Малоросском казачьем полку, с которым участвовал в подавлении Польского восстания. В 1837 г. он был зачислен в штат Киевской городской полиции, с 1841 г. работал в Киевском городском суде в чине коллежского советника [158].

Пелагея Платоновна – жена К.Ф. Вульфа, урожденная Янович, происходила из древнего малоросского рода. Ее отец был глуховским атаманом и состоял в родстве со знаменитым полковником В. Кочубеем.

Сыновья Константина Федоровича – Федор (род. в 1835 г.) и Виктор (род. в 1837 г.) – обучались в Императорском университете Святого Владимира в Киеве.

Виктор Константинович (отец Г.В. Вульфа) окончил университет со степенью кандидата и в 1852 г. получил место учителя словесности в Черниговской гимназии. Директором гимназии был известный в то время педагог Егор Васильевич Гудима, представитель старинного дворянского рода Малороссии.

Е.В. Гудима родился в 1812 г., окончив духовное училище поступил в Нежинскую гимназию высших наук, благодаря успешному обучению ему присвоили степень кандидата. Служил в Комиссии духовных училищ, был учителем географии в дворянском полку, работал в Минис-



Виктор Константинович Вульф



Лидия Егоровна Вульф

терстве внутренних дел и Министерстве уделов. Довольно долгое время Е.В. Гудима директорствовал в Нежинской гимназии, где снискал уважение среди подчиненных.

Егор Васильевич и его жена Раиса Яковлевна имели двоих детей: сына Николая, служившего судебным следователем на Кавказе, и дочь Лидию, которая и стала женой В.К. Вульфа. Таким образом объединились два древних малоросских рода, сохранивших богатые культурные традиции. Следует отметить, что и Лидия Егоровна, и Виктор Константинович являлись представителями так называемой педагогической интеллигенции, что в решающей степени определяло нравственную и интеллектуальную атмосферу семейной жизни.

В середине XIX в. гимназии являлись основными средними учебными заведениями для подготовки молодежи к высшему образованию, поэтому уровень преподавания был весьма высоким. Для преподавателя гимназии было обязательным университетское образование и педагогические наклонности. Довольно часто в педагогические коллективы лучших гимназий привлекались доценты и профессора местных университетов. В провинции преподаватели гимназии – это представители местной интеллигенции, которая определяла духовную и общественную жизнь уездного города. Несомненно, что В.К. Вульф и его жена принадлежали именно к этому слою населения.

В.К. Вульф недолго проработал в Черниговской гимназии. В 1866 г. его назначили директором Полтавской, а позднее – директором 6-й Варшавской гимназии, одной из лучших в городе. Такое продвижение по службе свидетельствует о его незаурядных способностях как администратора и педагога.

Лидия Егоровна и Виктор Константинович Вульфы вырастили пятерых детей [158, 194]. Дочь Ольга вышла замуж за художника Н.А. Бруни. Татьяна стала женой профессора физики Н.Г. Егорова, учителя, а потом коллеги и друга ее брата Георгия. Сын Николай стал врачом. Два других сына – Александр и Георгий – избрали для себя научное поприще, на котором достигли больших успехов. О вкладе в науку Георгия Викторовича Вульфа будет подробно рассказано в этой книге, однако, необходимо посвятить несколько строк его знаменитому младшему брату.

Александр Вульф родился 12 июля 1867 г. в Полтаве [195, 196]. Как и его старший брат Георгий, он окончил классическую гимназию и, несомненно, под влиянием брата поступил на физико-математический факультет Петербургского университета. После окончания университета в 1890 г. Александр вернулся в Варшаву, где в то время жила семья, и год проработал лаборантом на кафедре физики под опекой старшего брата. В 1891 г. А.В. Вульф получил назначение на должность преподавателя курсов электричества и электротехники в Николаевскую Инженерную Академию Петербурга. Но в 1900 г. он возвращается в Варшаву, где принимает должность экстраординарного профессора электротехники Варшавского политехнического института. В этот период ученый целиком сосредоточился на вопросах электротехники и электрической тяги.

С 1907 г. до конца жизни (скончался в 1925 г.) А.В. Вульф – ординарный профессор, а в последние годы декан электромеханического факультета Петербургского политехнического института. Он основоположник отечественной науки и техники электрификации городского и железнодорожного транспорта. Им разработаны технические основы электрической тяги и электроснабжения подвижного состава, а также многие проблемы теории электрических цепей и контактного провода. Как инженер А.В. Вульф принимал участие в постройке варшавского трамвая и электрификации Мурманской железной дороги и северных районов страны. Ученый оставил после себя большую школу в области электрической тяги. Его учебник по этой дисциплине долгое время считался классическим.



Александр Викторович Вульф
(1867–1925)

Многообразна была и научно-общественная деятельность А.В. Вульфа: активный член VI Отдела Русского Технического общества, член Комиссии по электроснабжению Петрограда при Городской думе, консультант Отдела сооружений железных дорог Комитета государственных сооружений, член Высшего технического комитета НКПС, ответственный руководитель рабочей группы Государственного комитета по электрификации России и т.д.

А.В. Вульф как человек талантливый и широко образованный был личностью обаятельной, незаурядной, к нему тянулись и сослуживцы, и студенты. "Все встречавшие Александра Викторовича на своем жизненном пути и вошедшие в соприкосновение с его чуткой и кристально чистой душой не забудут его светлый образ, – читаем мы в статье, посвященной его памяти. – Всегда он будет жить в их памяти – спокойный, ровный, ко всем внимательный, в высокой степени деликатный в обращении с другими, принципиально дружески ко всем настроенный, талантливый и бескорыстный труженик на поприще науки и техники" [196, с. 56].

3

Старший из братьев Георгий (в семье – Юрий) родился 10 июня 1863 г. в Чернигове. Место его рождения подтверждается автобиографическими материалами, положенными в основу "Биографического словаря профессоров и преподавателей Императорского Казанского университета" [197], а также данными из его личного дела, сохранившегося в Архиве МГУ [159].

Мы обращаем на это внимание потому, что в воспоминаниях и статьях о Георгии Викторовиче приводятся самые противоречивые сведения о месте его рождения. Так, Успенский [194] называет Варшаву, Ильин [198] и Млодзеевский [199, 200] – Чернигов, а Флинт [201–205] и Шафрановский [206] – Нежин Черниговской губернии. Авторы сходятся в том, что Вульф окончил классическую гимназию в Варшаве, директором которой был его отец. Однако имеют место и некоторые расхождения: Флинт [201–205] уверяет, что это была 5-я мужская гимназия, Ильин [198] и Шокарев [158] указывают 6-ю мужскую гимназию.

О школьных годах гимназиста Вульфа достоверных сведений не сохранилось. По воспоминаниям его ученика Е.Е. Флинта: "еще в гимназические годы у него (Вульфа. – Прим. А.С.) выявилась склонность к точным наукам, особенно к математике. Решение алгебраических и геометрических задач было для него не скучной обязанностью, а почти эстетическим наслаждением. Часто среди товарищеских игр и развлечений со сверстниками он бывал рассеян и задумчив потому, что его мысли были заняты решением задачи, которая не желала решаться.

Ко времени окончания гимназии у Юрия Викторовича появился сильный интерес также к естествознанию и главным образом к тем отраслям, которые допускали применение математической трактовки и обработки" [206, с. 6].

Следует пояснить, что увлечение естественными науками нельзя считать только заслугой гимназии. Это скорее влияние семьи и в первую очередь отца, результат влияния научно-популярной литературы, ибо после реформы 1871 г. в классических гимназиях резко сократили количество часов, отведенных для преподавания естественных наук, а предпочтение было отдано гуманитарным предметам и иностранным языкам [208]. В изучении последних Вульф преуспел – известно, что при поступлении в университет кроме классических языков, обязательных в гимназическом курсе, он свободно говорил по-немецки и по-французски, неплохо изъяснялся на английском и, конечно, знал польский язык. Это в дальнейшем сослужило ему хорошую службу – облегчило общение с ведущими европейскими учеными, со многими из которых это общение переросло в дружбу.

Увлечение естественными науками не оставило места обычному мучительному выбору выпускника гимназии – Вульф поступил на естественное отделение физико-математического факультета Варшавского университета.

Варшавский университет. Годы учебы

1

Варшавский университет имеет богатую историю [209, 210]. После окончательного раздела Польши в 1815 г. и образования в составе Российской империи Царства Польского указом императора Александра I от 19 ноября 1816 г. в Варшаве была образована Главная школа. Она имела в своем составе 5 факультетов: богословский, юридический, медицинский, изящных наук и искусств и философский. На последнем было три отделения: философии, математики и естественных наук.

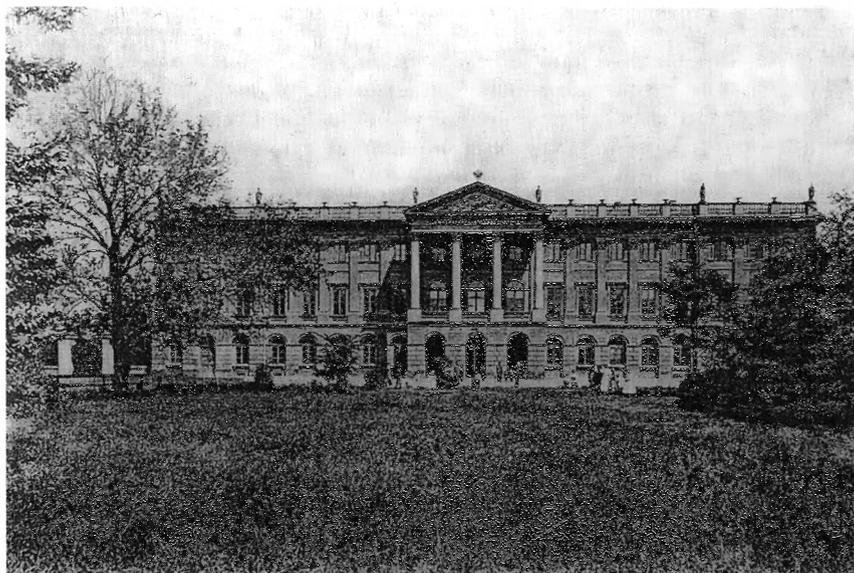
Однако во время первого Польского восстания (1830–1831) Главная школа была закрыта. Открывшаяся вновь лишь 8 мая 1862 г., накануне второго Польского восстания, она имела три отделения: физико-математическое, юридическое, историко-филологическое и медицинскую школу. Лекции читали на русском языке.

После подавления восстания (1863–1864) последовали новые преобразования. 12 октября 1869 г. состоялось торжественное открытие на базе Главной школы Императорского Варшавского университета. Император Александр II 8 июня 1869 г. утвердил устав университета, который был выдержан в духе общего устава российских университетов 1863 года и закреплял русский язык в качестве языка преподавания. По этому уставу профессора и преподаватели были обязаны иметь ученые степени русских университетов.

В составе университета осталось четыре факультета: историко-филологический, юридический, медицинский и физико-математический, состоящий из двух отделений – математического и естественного. К концу первого учебного года в университете на 56 преподавателей приходилось 930 студентов.

С годами университет быстро развивался. В 80–90-е годы, когда Вульф учился, а затем преподавал в Варшавском университете, количество студентов увеличилось вдвое, а в штате преподавателей значилось уже 80 человек. Четыре факультета имели 47 кафедр. Богатейшая университетская библиотека насчитывала более 500 тыс. томов; это была самая большая библиотека среди девяти российских университетов и по собранию книг она уступала лишь Публичной библиотеке в Петербурге.

Взросло и количество вспомогательных учебных подразделений. В год открытия Варшавского университета их насчитывалось 24; в состав подразделений входили физический и минералогический кабинеты, химический кабинет с лабораторией, астрономическая обсерватория. Уже тогда по количеству вспомогательных учебных учреждений Варшавский университет был одним из лучших в России,



Варшавский университет. 80–90-е годы XIX века

достаточно сказать, что ближайший Краковский университет имел лишь 18. В 90-е годы к уже имевшимся вспомогательным подразделениям прибавились кабинеты: механики и геолого-палеонтологический, лаборатория органической химии, зоологическая и физическая. Несомненно, что Варшавский университет по праву считался образцовым, прекрасно оснащенным учебным заведением.

Университет располагался в самом центре Варшавы на улице Краковское предместье вблизи Старого города. Здание находилось в глубине небольшого парка, который защищал его от шума улиц.

В соответствии с уставом [211] студентом университета мог стать каждый житель России в возрасте 17 лет, окончивший классическую гимназию и выдержавший экзамены. Обучение было платным – 50 рублей в год. Нуждающиеся освобождались от оплаты, но при условии хорошей успеваемости: средние оценки должны были быть не ниже 4 баллов.

Студенты Варшавского университета носили форменную одежду – темно-зеленый однобортный мундир с золотыми пуговицами с выгравированным государственным гербом, брюки такого же цвета и фуражку с темно-синим околышем. В парадных случаях полагалась шпага, которую вкладывали в разрез с левой стороны мундира.

Студенты получали стипендии – государственные в размере 200 рублей в год и частные, образованные на пожертвования. Не успевающих не переводили на следующий курс, однако, можно было оставаться на курсе и обучаться неопределенно долгое время. Успевающих всячески поощряли. Так, студенты, имевшие по главным предметам среднюю оценку не ниже 3,5 балла, а по второстепенным –

не ниже 3 баллов, удостоивались звания действительных студентов. Если же по главным предметам средняя оценка составляла не ниже 4,5 балла, а по второстепенным – не ниже 3,5, то они получали степень кандидата. Но при этом необходимо было представить специальное сочинение с хорошей оценкой на избранную и одобренную профессором тему.

Лучшие студенты награждались золотыми и серебряными медалями. До 15 января ежегодно каждый факультет объявлял темы сочинений на медали. Сочинения подавались под эпитафиями, эти же эпитафии надписывали на запечатанные конверты, в которых содержалась информация об авторе. Сочинения, награжденные золотыми медалями, печатали в журнале "Варшавские университетские известия".

2

Со времени образования и до начала XX в. Варшавский университет славился отличным преподавательским составом [209, 210, 212]. В годы учебы Георгия Вульфа высшую математику (анализ, дифференциальные уравнения и вариационное исчисление) на физико-математическом факультете преподавал выдающийся математик, впоследствии (с 1893 г.) академик Петербургской Академии наук Николай Яковлевич Сонин (1849–1915), автор известных работ по теории интегральных уравнений и специальных функций. Небесную механику и геодезию читал Иван Анатольевич Востоков (1840–1898), известный астроном. С 1869 г. он был директором Варшавской обсерватории, которую перестроил и расширил, создав современное научное учреждение. Востоков усовершенствовал метод определения орбит небесных тел Лагранжа, сделав его удобным для практических вычислений.

Общую и аналитическую химию читал Алексей Лаврентьевич Потылицын (1845–1905), ученик Д.И. Менделеева. Потылицын – автор работ в области физической химии, главным образом в теории пересыщенных растворов, где развил гидратную теорию своего учителя. Его перу принадлежит учебник "Начальный курс химии", вышедший в свет в 1881 г. и выдержавший 9 изданий.

Курс общей физики, а также некоторые специальные курсы (опытной физики, электричества) с 1878 г. по 1884 г. читал выдающийся педагог и крупный физик Николай Григорьевич Егоров (1849–1919). Под руководством Егорова Вульф в студенческие годы выполнил первое научное исследование по физике.

В последний год учебы Георгий слушал лекции по общей физике Петра Алексеевича Зилова (1850–1921), который заведовал кафедрой после отъезда Егорова в 1884 г. в Петербург. П.А. Зилов был блестящим педагогом и хорошим физиком. Он оказал значительное влияние на становление Вульфа как физика.

Кристаллографию и минералогию на физико-математическом факультете читал крупнейший петрограф Александр Евгеньевич Лагорио (1852–1923). Вульф считал его своим учителем в области кристаллографии.

Выдающиеся профессора университета несомненно оказали большое влияние на будущего ученого.

Интеллектуальную атмосферу преподавательского коллектива Варшавского университета определяли не только названные профессора, но и другие, не менее известные коллеги Вульфа по физико-математическому факультету. Прежде всего необходимо упомянуть имя Георгия Феодосьевича Вороного (1868–1908), выдающегося математика, члена-корреспондента Петербургской Академии наук с 1907 г. Он внес существенный вклад в геометрическую теорию параллелоэдров, доказав, что некоторые выпуклые многогранники в пространстве n -измерений, обладающие группой переносов, могут однозначно заполнять многомерное пространство. Эти работы близко касаются многих проблем геометрической кристаллографии, в частности теории простых элементарных решеток, обладающих трансляционной симметрией. Известно, что начав заниматься симметрией кристаллов, Вульф обсуждал эти вопросы с Вороным.

Интересы Вульфа в области кристаллографии пересекались с математическими интересами профессора механики Павла Осиповича Сомова (1852–1919). Сомов занимался векторным исчислением, а векторное исчисление, наряду с тензорным, – это математический язык кристаллофизики.

Необходимо упомянуть и профессора Егора Егоровича Вагнера (1849–1903), крупного химика-органика, ученика А.М. Зайцева – сотрудника А.М. Бутлерова. Он разработал эффективные способы исследования строения соединений с помощью окисления перманганатом калия (реакция Вагнера).

Среди ученых "дальнего круга", с которыми Вульф не соприкасался на почве профессиональных интересов, но которые, тем не менее, оказали на него определенное влияние, следует назвать Владимира Ивановича Беляева (1855–1911) – крупного ботаника-морфолога, Николая Викторовича Насонова (1855–1939) – зоолога, специалиста по беспозвоночным животным и Владимира Ивановича Палладина (1859–1922) – выдающегося ботаника, биохимика и физиолога растений, академика Петербургской Академии наук с 1914 г. Общение с этими учеными несомненно оказало благотворное влияние на молодого Вульфа.

3

Своим учителем в области кристаллографии Г.В. Вульф считал минералога, петрографа и кристаллографа А.Е. Лагорио.

Александр Евгеньевич Лагорио родился 27 августа 1852 г. в Феодосии [213–215]. В 1870 г. он окончил Кишиневскую гимназию, а в 1875 г. физико-математический факультет Дерптского (Тартусского) университета со степенью кандидата. Еще в студенческие годы Лагорио заинтересовался петрографией и написал работу по микроскопическому исследованию коренных пород Прибалтики. Эта работа была удостоена золотой медали и опубликована в виде отдельной бро-



Александр Евгеньевич Лагорио
(1852 – ок. 1925)

шюры. После окончания университета Лагорио был оставлен ассистентом при кафедре минералогии.

Одновременно с работой в университете Александр Евгеньевич читал лекции по минералогии в Ветеринарном институте. В 1878 г. он защитил магистерскую диссертацию на тему: "Об андезитах Кавказа", а в 1880 г. – докторскую диссертацию на тему: "Сравнительно-петрографические исследования над горными породами Крыма". В этом же году по рекомендации известных петрографов профессоров А.А. Иностранцева (из Петербургского университета) и К.И. Гревинга (из Дерптского университета) А.Е. Лагорио был назначен профессором Варшавского университета, где проработал 18 лет и несколько раз

переизбирался деканом физико-математического факультета.

В 1896 г. А.Е. Лагорио был избран членом-корреспондентом Петербургской Академии наук, а в следующем году назначен директором Варшавского политехнического института. В 1907 г. он принял должность председателя Учебного комитета Министерства торговли и промышленности и стал членом Горного учебного комитета. В 1917 г. освобожден от занимаемой должности Временным правительством.

О жизни Лагорио после 1917 г. сведений не сохранилось. Неизвестна и точная дата его смерти. В авторитетном "Биографическом словаре деятелей естествознания и техники" [216] указано, что А.Е. Лагорио умер после 1917 г. Шафрановский в своих ранних монографиях [206, 207] уточняет, что Лагорио умер приблизительно в 1925 г., а в последней монографии [217] называет уже вполне определенно 1923 год.

А.Е. Лагорио был выдающимся ученым в области минералогии и петрографии. Его основные работы посвящены вопросам кристаллизации магмы и причинам разнообразия изверженных пород. Он первым стал использовать для изучения кристаллизации магмы методы физической и неорганической химии, в частности закон действующих масс. Он рассматривал магму как раствор различных силикатов и поэтому считал, что порядок выделения из нее минералов определяется растворимостью разных оснований в магме, сродством их к кремниевой кислоте и законом действующих масс. Он первым из минералогов применил к проблеме фазоделения магмы правило Сорэ и принцип пересыщения растворов.

Лагорио одним из первых понял исключительное значение эксперимента в минералогии. В Варшавском университете ученый создал специальную кристаллизационную лабораторию, где синтезировал различные искусственные минералы, такие как корунд, лейцит, калиевый нефелин, ортоклаз, силлиманит и другие. Некоторые образцы синтезированных минералов по весу достигали 40 кг.

Кроме этих работ Александру Евгеньевичу принадлежат пионерские исследования по растворимости минералов в магме и петрографическому описанию кристаллических пород Крыма и Украины. А.Е. Лагорио – классик петрографии, основоположник нового физико-химического и экспериментального направления в петрографии. Его труды до сих пор цитируются во многих работах.

Но Лагорио был и блестящим педагогом. В Варшавском университете он читал на первом курсе физико-математического факультета кристаллографию, минералогию, специальные курсы – микроскопических методов минералогии и петрографии. Кроме того, преподавал минералогию первому и второму курсу фармацевтов на медицинском факультете.

Вокруг Лагорио сплотился тесный кружок его учеников, энтузиастов изучения минералов физико-химическими и оптическими методами, из которого вышло много отличных специалистов, среди них два члена-корреспондента Российской Академии наук – Г.В. Вульф (кристаллограф и кристаллофизик) и И.А. Морозевич (петрограф).

Студент Вульф быстро становится активным членом этого кружка. Его интерес к математике реализовался здесь при изучении строгой геометрии внешней формы кристаллов, законы которой базируются на великой общенаучной идее симметрии. Кристаллография и ее метод – симметрия стали для Вульфа прочной основой, опираясь на которую он начал обогащать и развивать физику кристаллов.

Со второго курса Георгий начинает работу в лаборатории минералогического кабинета. Как следует из отзыва Лагорио, Вульф поступил в университет уже хорошо теоретически подготовленным по химии и физике. В лаборатории Вульф приступает к изучению методик кристаллографических и оптических измерений кристаллов, включающих, прежде всего, гонеометрический метод, состоящий в измерении углов между гранями монокристаллов, на основе которого находились их элементы симметрии и группа морфологической симметрии (кристаллографический класс). Оптические измерения сводились к определению показателей преломления кристаллов и ориентации оптических осей относительно осей кристаллографических. Все эти измерения так или иначе были связаны с работой с поляризационным микроскопом.

Быстро освоив эти методики, Вульф, по предложению Лагорио, применил их для исследования нового органического кристалла дифенилпараоксилилметана $\text{C}_{12}\text{H}_{10} \cdot 2(\text{C}_6\text{H}_5)$, выращенного Гемилианом из раствора. Он описал его форму, измерил на гониометре углы между гранями, определил симметрию кристалла, измерил показатели преломления и угол между оптическими осями (кристаллы оказались

моноклинные). Таким образом на кристаллы составлялся своеобразный паспорт, где были собраны все необходимые данные для их идентификации. Данная работа была выполнена Вульфом в 1883 г. и представлена факультетом на конкурс. Она была удостоена премии в 50 рублей [218, с. 180] и напечатана в "Варшавских университетских известиях" за 1885 г. [2]. Но результат, по-видимому, его не удовлетворил. Такая работа требовала хорошего прилежания, тщательности и точности исполнения, но не требовала творческого подхода, хотя, будь она продолжена на других сходных кристаллах, в дальнейшем потребовала бы творческого анализа, сопоставления и обобщения.

Но молодость нетерпелива, и студент Вульф все чаще и чаще стал наведываться в лабораторию физики. Его интерес к физике укрепился особенно после командировки в Одессу на VII съезд русских естествоиспытателей и врачей. Для этой поездки решением Ученого совета Вульфу выдали из специальных средств 60 рублей с правом использовать эти деньги и на экскурсию в Крым, организованную для участников съезда [219, с. 193].

Командировка на общероссийский научный съезд студента 2-го курса безусловно явление неординарное. Однако следует заметить, что Вульф, по-видимому, выполнял еще и обязанности сопровождающего лица, поскольку на этот съезд он отправился вместе с профессорами Лагорио и Егоровым.

Съезд проходил с 18 по 28 августа 1883 г. Состав его участников был весьма представительным. Председателем был избран И.И. Мечников. В работе съезда принимали участие такие видные ученые как А.М. Бутлеров, А.О. Ковалевский, С.В. Ковалевская, Н.В. Склифосовский, Н.А. Умов, Н.Е. Жуковский, Н.Н. Бекетов, М.П. Авенариус, П.А. Зилов [219, 220]. Их доклады должны были оставить в памяти студента Вульфа неизгладимое впечатление, так же как и экскурсия в Крым вместе с Лагорио.

4

С 1884 г. Вульф начинает исследования в физической лаборатории под руководством профессора Н.Г. Егорова.

Николай Григорьевич Егоров родился 7 сентября 1849 г. [221, 222]. В 1870 г. он успешно окончил физико-математический факультет Петербургского университета и был оставлен на три года на кафедре для совершенствования в экспериментальной физике. С 1873 по 1877 г. Егоров работал ассистентом у проф. Р.Э. Ленца на кафедре физики Технологического института. В эти годы он занимается исследованиями в области спектрального анализа, которые впоследствии принесли ему европейскую известность. Магистерскую диссертацию Николай Григорьевич выполнил в Парижской лаборатории проф. Маскара и в 1877 г. блестяще защитил ее в Петербургском университете.

Через год он получил профессию в Варшавском университете, где начал свои знаменитые спектральные исследования земной атмосферы. Наблюдения спектров поглощения атмосферы Егоров проводил

в течение двух месяцев в каникулярное время в Париже при помощи 15-ти дюймового рефрактора, а также в Физическом институте Петербургского университета, куда он приезжал работать также на каникулы. В результате им было показано, что Fraunhofer линии *A* и *B* солнечного спектра обусловлены кислородом земной атмосферы. Эти исследования легли в основу докторской диссертации на тему "Атмосферные линии солнечного спектра", которую Егоров защитил в Петербургском университете в 1882 г.

В 1884 г. Николай Григорьевич был избран профессором физики Военно-медицинской академии Петербурга, которую когда-то занимал выдающийся русский физик В.В. Петров. В Петербурге Егоров за короткий срок сумел создать прекрасную физическую лабораторию, лучшую в России конца XIX в. В стенах этой лаборатории ученый с сотрудниками впервые в России воспроизвели опыты Рентгена над *X*-лучами и начали разработки по применению их в медицине.

В 1894 г. Н.Г. Егорова пригласил Д.И. Менделеев для организации в Главной палате мер и весов специальной термометрической лаборатории. После смерти Менделеева в 1907 г. и до последних дней жизни Егоров оставался его преемником – управляющим Главной палатой мер и весов.

Николай Григорьевич был блестящим экспериментатором, он без труда повторял все ключевые открытия, сделанные европейскими физиками. Кроме опытов с рентгеновскими лучами он воспроизводил опыты Зеемана, Герца и Рэлея. Однако собственных крупных достижений за ним не числится, по-видимому, все же главным его призванием было преподавание и административная деятельность. Когда в 1872 г. по инициативе Д.И. Менделеева и учителя Н.Г. Егорова Ф.Ф. Петрушевского было основано при университете Физическое общество, он принял активное участие в его работе и до конца дней оставался одним из его руководителей. При слиянии Физического общества с Химическим Егорова дважды (в 1903 и 1910 г.) избирали вице-президентом Русского физико-химического общества; кроме того, он был одним из организаторов электротехнического отдела Русского технического общества.

Что дал Егоров Вульффу? За недолгие годы их общения в университете Егоров сумел вовлечь студента-минералога в мир физики.



Николай Григорьевич Егоров
(1849–1919)

Он показал, что за удивительно правильной, красивой внешней формой кристаллов скрываются не менее удивительные свойства, которые, как сказал патриарх физики кристаллов Вольдемар Фойгт, "выступают у иных прочих тел лишь в унылых монотонных средних значениях" [223].

Разница в возрасте не помешала им стать друзьями и сохранить теплые отношения на протяжении всей жизни. Этому способствовали и родственные отношения – Егоров был женат на сестре Вульфа Татьяне Викторовне.

5

Под руководством Егорова Вульф выполнил свою первую физическую работу, посвященную исследованиям электрических свойств кристаллов кварца. Эта работа была выполнена по конкурсной теме "О влиянии теплоты, давления и света на электрическое состояние кристаллов", объявленной факультетом в 1884 г. на соискание золотой медали.

Цель исследования – доказать, что причиной электризации кварцевых пластин в процессе их нагревания является пьезоэлектрический эффект. Кварц, как известно, не является пьезоэлектриком, так как принадлежит к неполярному тригонально-трапецеэдрическому виду симметрии (группа 322). Однако эксперименты К. Рентгена и Г. Ханкеля показали, что при нагревании пластинки кварца, вырезанной перпендикулярно оптической оси, на ее поверхности появляются электрические заряды. Ханкель считал, что они возникают вследствие пьезоэлектрического эффекта, братья Кюри, Фридель и Рентген полагали, что эти электрические заряды есть результат вторичного пьезоэлектрического эффекта, возникающего вследствие механических деформаций (напряжений), вызванных нагреванием кристалла.

Серией хорошо продуманных опытов Вульф экспериментально подтвердил эту точку зрения. Он нагревал пластинки кварца среза (0001) небольшими медными цилиндрами и наблюдал распределение электрических зарядов на их поверхности с помощью пылевых фигур Лихтенберга. Для этого на пластинки наносились тонкие порошки желтой серы и красного сурика, которые оседали на заряженных участках (сурик – на отрицательных, сера – на положительных). Получалась наглядная цветная картинка распределения электрических зарядов. Вульф показал, что это распределение согласуется с тем, которое должно было наблюдаться при вторичном пьезоэффекте, вызванном термическим напряжением.

Интересна концовка работы, где Вульф рассматривает связь между морфологической симметрией и пьезоэлектричеством. Он приводит мнение братьев Кюри, что пьезоэлектрические заряды возникают только на концах тех направлений в кристаллах, которые не имеют перпендикулярных им плоскостей симметрии. В кварце такие направления перпендикулярны граням гексагональной призмы, только на этих гранях и должны были бы возникать электрические заряды.

Однако Вульф доказал, что распределение зарядов на пластинках перемещается с изменением точек нагревания, что говорит об отсутствии жесткой привязки к морфологическим элементам симметрии. Отсюда Вульф сделал правильный и глобальный вывод: "распределение электричества в кристаллах кварца зависит, прежде всего, от их внутреннего строения и потом уже видоизменяется наружными ограничениями кристалла" [3, с. 17].

Итак, в этой студенческой работе Вульф проявил себя достаточно зрелым и искусным экспериментатором, при этом следует отметить, что работа выполнена красиво, с большой любовью и интересом. 2 октября 1884 г. Ученый совет университета рассмотрел итоги конкурсных исследований. По физико-математическому факультету золотыми медалями были удостоены две работы – Вульфа и Мрозовского, однако в печать была рекомендована лишь статья Вульфа. Ее краткая версия вышла в свет в том же году в "Журнале русского физико-химического общества" [1], а сама статья появилась в "Варшавских университетских известиях" за 1886 г. в № 3 под названием "Опытное исследование электрических свойств кварца" [3]. Как следует из отзыва Лагорио, работа Вульфа была послана и в авторитетный международный журнал "Zeitschrift fur Krystallographie", издаваемый проф. П. Гротом в Мюнхене. Однако, по неизвестной причине, она не была напечатана.

Летом 1885 г. Вульф сопровождал Лагорио в его очередной геологической экспедиции в Крым. Экспедиция, по-видимому, была не из легких, но она дала возможность Вульфу проявить и любовь к минералогии, и, как писал в своем отзыве Лагорио, "способность переносить всякие трудности в пути, необходимые для занятий и наблюдений в природе" [218, с. 377].

6

В 1885 г. Г.В. Вульф окончил университет со степенью кандидата [218, с. 366] и был рекомендован на кафедру минералогии для подготовки к профессорской деятельности.

Ученый совет университета рассмотрел это представление 17 сентября 1885 г. [218, с. 375–377]. Из отзыва Лагорио, поданного в Совет, хорошо видно, что представлял из себя студент Вульф. В отзыве содержалась краткая характеристика студента Вульфа, в которой говорилось, что он окончил полный курс со степенью кандидата, премирован за первую работу и награжден золотой медалью за вторую работу. В последний год пребывания в университете Вульф исполнял обязанности лаборанта при кафедре физики, не прекращая занятий теоретической кристаллографией. "Относительно квалификации Вульфа для приготовления его к дальнейшей ученой деятельности соответственно правилам, данным Министром народного просвещения от 21 мая 1884 г., – писал в своем отзыве Лагорио, – я могу сообщить, что он соответствует всем требованиям, а именно: а) Вульф окончил курс с награждением Серебряной медалью, причем получил по

математике и физике – 5; б) он владеет языками немецким и французским хорошо, английским настолько, насколько требуется для понимания ученых сочинений; в) курс университетский окончил с отличными отметками по всем предметам (в общем выводе 5) и показал в работах своих как дарование, так и необходимое прилежание; г) способностью свободно и правильно выражать свои мысли он, по моему мнению, обладает в полной мере; что касается п.п. д) и е), то Вульф удовлетворяет им также, как это видно из прилагаемых свидетельств университетского врача и Инспекции студентов, которые относятся к п. 7 инструкции.*.

На основании всего вышеприведенного, я решаюсь обратиться к факультету с представлением об оставлении Георгия Вульфа кандидатом – стипендиатом при кафедре минералогии Императорского Варшавского университета с целью приготовления его к профессорской деятельности, с назначением ему обычной стипендии в 600 р. ежегодно, на два года, считая с 1 сентября 1885 г. При этом обязать Вульфа приступить в продолжении этого времени к магистерскому испытанию. Зная Вульфа в продолжении 4-х лет его пребывания в университете, и будучи знаком с его занятиями в заведываемой мною минералогической лаборатории, я успел убедиться в его отменных способностях, его наклонности к занятиям минералогическими науками и его любви к науке и прилежанию... Если ходатайство мое будет уважено, я охотно возьму на себя руководство дальнейшими научными занятиями Вульфа" [218, с. 376–377].

Ученый Совет 39-ю голосами за и 7 против удовлетворил просьбу факультета. Для Георгия Вульфа началась новая жизнь.

* Речь идет о здоровье и политической благонадежности. – *Прим. А.С.*

Варшавский университет. Первые годы работы

1

С 1885 г. Г.В. Вульф приступает к изучению оптической активности кристаллов; эту тему подсказал ему проф. П.А. Зилов. Вот как сам Вульф пишет об этом в предисловии к большой статье о новых методах измерения угла поворота плоскости поляризации [6]: "Создав всю важность оптики для минералогии, особенно при настоящем обширном применении микроскопа, я просил весной 1886 г. профессора П.А. Зилова указать мне какой-нибудь вопрос из этой области, который бы состоял в связи с моей непосредственной специальностью и который заслуживал бы детального исследования. П.А. Зилов указал мне на вращение плоскости поляризации в кристаллах. Так как относящиеся сюда кристаллы интересовали меня и с минералогической стороны, то я с удовольствием принялся за изучение этого предмета, оказавшееся небезуспешным... Считаю своим долгом принести искреннюю благодарность П.А. Зилову за его живой интерес к моей работе и за поддержку советами и средствами" [6, с. 1–2].

Таким образом, совершенно очевидно, что в этот период своей научной деятельности Зилов оказывал Вульфу большую помощь – предложил тему, помогал советами и, как следует из статьи, предоставил оптическую аппаратуру. Зилов фактически являлся научным руководителем Вульфа в области физики, хотя тот числился стипендиатом по кафедре минералогии. И в дальнейшем, вплоть до отъезда Вульфа за границу, влияние Зилова на формирование его как физика также было весьма велико. В связи с этим необходимо рассказать о последнем более подробно.

Петр Алексеевич Зилов родился в 1850 г. в Москве [224–226]. В 1869 г. поступил на физико-математический факультет Московского университета, где специализировался по физике у А.Г. Столетова. В 1873 г. окончил университет и был оставлен при кафедре физики для подготовки к профессорскому званию. Положенную в этом случае зарубежную командировку Зилов провел в Берлинском университете, где слушал лекции Кирхгофа и работал в лаборатории Гельмгольца. В результате он подготовил магистерскую диссертацию на тему: "Опытное исследование диэлектрической поляризации жидкостей" и защитил ее в 1877 г. Цель работы – экспериментальная проверка недавно созданной теории электромагнитного поля Максвелла. Из этой теории следовало, что между диэлектрической проницаемостью ϵ и показателем преломления n диэлектриков справедливо соотношение $\epsilon = n^2$. Зилов экспериментально проверил соотношение для ряда жидкостей и нашел, что оно достаточно хорошо выполняется. На эти факты, подтверждающие новую теорию электромагнитного поля,



Петр Алексеевич Зилов (1850–1921)

ссылался Максвелл в своей последней работе "Электричество в элементарном изложении".

В 1880 г. П.А. Зилов получил степень доктора физики за экспериментальную работу "Опытное исследование магнитной поляризации в жидкостях", выполненную в лаборатории Столетова, которая являлась продолжением знаменитой работы А.Г. Столетова "Исследование функций намагничивания мягкого железа". Петр Алексеевич распространил выводы Столетова на жидкости, доказав, что "парамагнитные жидкости в отношении коэффициента намагничивания ведут себя, как и все сильно намагничивающиеся тела", т.е. их коэффициенты намагничивания зависят от напряженности магнитного поля. Тем

самым он привел новое экспериментальное доказательство справедливости теории Максвелла.

В 1884 г. Зилов был назначен заведующим кафедрой физики Варшавского университета, где проявил себя, прежде всего, как прекрасный педагог, великолепный организатор и популяризатор физических знаний. П.А. Зилов организовал преподавание физики в университете на самом высоком методическом уровне, его лекции отличались глубиной рассмотрения фактического материала, строгостью и логичностью изложения. Как образцовые их печатали в "Варшавских университетских известиях" [227]. Они и послужили основой для его знаменитого "Курса физики", выдержавшего 6 изданий (последнее в 1912–1915 гг.) [228]. Этот курс широко использовался в других российских университетах.

Петр Алексеевич был главным организатором и активным членом Варшавского кружка преподавателей физики и математики и Варшавского общества естествоиспытателей. Однако главная его заслуга перед российским образованием – это организация, редактирование и издание журнала "Физическое обозрение", который сыграл огромную роль в распространении физических знаний в России. Первый номер журнала вышел в 1900 г. в Варшаве. П.А. Зилону удалось привлечь к участию в журнале всех крупных российских физиков: П.Н. Лебедева, Н.А. Умова, О.Д. Хвольсона, И.И. Боргмана, А.А. Эйхенвальда, Н.Н. Шиллера, Д.А. Гольдгаммера. В журнале печатались обзоры по наиболее важным вопросам физики, речи и лекции крупнейших зарубежных физиков, некрологи. В отделе "Преподавание физики" помещались материалы по методике, оборудованию физических кабинетов,

описанию лучших демонстраций опытов. В отделе "Хроника" сообщалось о съездах физиков и естествоиспытателей, выставках физических приборов. В журнале публиковали рецензии на вышедшие книги по физике, большое внимание уделялось и истории физики.

Зилов не только редактировал журнал, но и сам писал статьи и заметки. Так, за период его редакторства, с 1900 по 1905 г., он напечатал 19 статей по самым разным вопросам физики.

В 1905 г. в связи с закрытием Варшавского университета издание журнала было перенесено в Киев, где его редактором стал проф. Г.Г. Де-Метц. Издание журнала прекратилось в 1918 г.

В 1905 г. Зилов покинул Варшаву, приняв назначение попечителя Киевского учебного округа. В Киеве он продолжил плодотворную деятельность, направленную на улучшение физического образования. Так, благодаря его стараниям был открыт Педагогический музей, организован образцовый физический кабинет в Киевском университете. В 1912 г. Зилов вышел в отставку. Скончался Петр Алексеевич Зилов в 1921 г.

По праву и П.А. Зилова, и Н.Г. Егорова Георгий Вульф считал своими учителями в области физики. Их роль в превращении студента-минералога в ученого-физика необычайно велика, они привили Вульфу любовь к физике, заложили основательные и глубокие знания.

Как правило, полагают, что повезло тем студентам, наставниками которых были выдающиеся ученые. Однако учеников в этом случае поджидает опасность, что влияние личности учителя может подавить собственные стремления молодого человека. В частности, такие ученики, как правило, продолжают дело учителя не только в отношении тематики и теоретических концепций, но и методов исследования. Близкий пример, тот же Зилов, продолжавший исследования своего учителя Столетова.

Ни Егоров, ни Зилов не были выдающимися учеными. Но, тем не менее, Вульфу необыкновенно повезло в том, что они оба были превосходными педагогами: не подавляли интерес Вульфа к исследованию кристаллов методами кристаллографии, а сумели раскрыть перед ним необыкновенные возможности экспериментальной физики в изучении физических свойств кристаллов, что привело его к созданию собственного направления в изучении кристаллов, которое позднее получило название "кристаллофизика".

2

Как мы уже говорили, работа Вульфа была посвящена исследованию оптической активности кристаллов. Поводом послужила статья русского кристаллографа Г.Н. Вырубова, в которой автор рассматривал модель оптической активности кристаллов, развитую известным немецким кристаллографом Л. Зонке. Тот, в свою очередь, строил модель, основываясь на интересном наблюдении немецкого кристаллографа Е. Рейша. Рейш накладывал друг на друга оптически двуосные пластинки слюды, оптические оси которых параллельны поверхности



Георгий Викторович Вульф.
Конец 80-х годов

пластинок, таким образом, что каждая последующая пластинка оказывалась повернутой относительно предыдущей вправо (или влево) на 120° . Пропустив через такую стопу пластинок плоскополяризованный свет, Рейш обнаружил, что пластинки поворачивают плоскость поляризации света вправо (или влево) как оптически активный кристалл.

Поскольку три рейшевские пластинки поворачивают плоскость поляризации света на 360° и эквивалентны в геометрическом отношении оси 3-го порядка, Зонке высказал предположение, что в структуре оптически активных кристаллов кварца присутствуют винтовые оси 3-го порядка. По теории Зонке каждая рейшевская пластинка моделирует два слоя молекул кварца. Два тонких слоя,

связанных между собой трансляцией вдоль направления винтовой оси, он назвал неделимыми. Эти неделимые слои характеризуются своей симметрией. "Если встать на эту точку зрения, – пишет Вульф, – то весь кристалл следует рассматривать как полисинтетическое проращение неделимых, которых ровно столько, сколько вращений испытывает молекулярная плоскость при перемещении вдоль винтовой оси, пока ее молекулы не займут положение в пространстве, тождественное с прежним. Число же вращений зависит от габитуса кристалла, т.е. от морфологической симметрии".

В кварце число неделимых равно трем, так как он принадлежит к гексагональной системе. Симметрию же неделимых Вульф определяет, исходя из электрических свойств кварца, как моноклинную гемиморфию, т.е. класс 2. "Итак, – пишет Вульф, – электрические свойства кварца заставляют принять, что кристаллы его могут быть рассмотрены как результат проращения трех неделимых, принадлежащих к гемиморфии моноклинной системы и повернутых друг относительно друга на 120 градусов" [4, с. 11].

Для доказательства этого положения Вульф выводит теоретически возможные простые формы этой гемиморфии и сравнивает их с простыми формами кристаллов кварца. Почти во всех случаях он находит достаточное соответствие. Еще одно доказательство справедливости рассматриваемой модели оптической активности кристаллов Вульф видит в морфологии кристаллов сернокислого стрихнина. Если эти кристаллы протравить серной кислотой, то на верхней и нижней гранях появится штриховка, направление которой на нижней грани

повернуто влево на 135° относительно направления штриховки верхней грани. Направление поворота плоскости поляризации света и его знак хорошо согласуются с наблюдаемым расположением штриховки. По мнению Вульфа, штриховка – это непосредственное проявление полисинтетических неделимых. Однако эти морфологические доказательства рассматриваемой модели оптической активности кристаллов кажутся Вульфу недостаточными и он обращается к физической оптике.

Модель рейшевских пластинок на первый взгляд кажется несовместимой с теорией оптической активности Френеля. В соответствии с последней луч света, входя в оптически активный кристалл, распадается в нем на две поляризованные по кругу (левую и правую) волны, распространяющиеся с разными скоростями, которые на выходе из кристалла складываются. В результате угол поворота плоскости поляризации ρ определяется разностью показателей преломления левой (l) и правой (r) циркулярно-поляризованных волн:

$$\rho = \pi d / \lambda (l - r),$$

здесь λ – длина волны падающего света, d – толщина кристалла.

Для согласования рейшевой модели с теорией Френеля Вульф решает обратную задачу, сформулированную им следующим образом: "во всякой среде, обладающей способностью вращать плоскость поляризации, от чего бы последнее ни зависело, два круговых луча, правый и левый, должны распространяться с разной длиной волны" [4, с. 16]. Он рассматривает некую оптически активную среду, в которой распространяются два луча с противоположной круговой поляризацией, и аналитически получает закон Корню, непосредственно вытекающий из теоремы Френеля:

$$\frac{r + l}{2} = n,$$

где n – средний показатель преломления кристалла.

Таким образом, и в рейшевой стопе пластинок два поляризованных по кругу луча будут распространяться с разной длиной волны и все формулы теории Френеля будут и в этом случае справедливы. Отсюда Вульф делает важный вывод: "Таким образом естественно переходим к тому положению, что различный показатель преломления обоих круговых лучей в оптической деятельной среде не составляет причины вращения плоскости поляризации, а является ее следствием.

Такой вывод совершенно уничтожает мнимое разногласие между теориями Френеля и Зонке и позволяет окончательно свести явления вращения плоскости поляризации в кристаллах на особое распределение молекул" [4, с. 19].

Свои соображения ученый счел настолько важными, что опубликовал их в "Журнале русского физико-химического общества" [8] и доложил на заседании Императорского Санкт-Петербургского минералогического общества 7 января 1888 г. [229]. Кстати, благодаря докла-

ду Вульф в этом же году был избран членом этого престижного общества [229].

Мы рассмотрели эту работу "кандидата–стипендиата по кафедре минералогии" (так Вульф подписывал свои ранние публикации) подробно в связи с тем, что в ней в большей степени уже определился подход Вульфа к постановке и решению интересующих его научных проблем. Этот подход сочетает типично кристаллографические методы, которых, как в данном случае, часто бывает недостаточно для решения проблемы, с физическими (теоретическими и экспериментальными). В результате становится возможным связать физические (в данном случае – оптические) свойства с внутренней структурой кристаллов. Этот, как мы теперь говорим, кристаллофизический подход Вульфа, сформировался в период его самостоятельной работы, что, вообще говоря, является большой редкостью для молодого ученого.

3

Еще две интересные статьи Вульфа по оптике посвящены методическим вопросам. Одна из них [6] является естественным продолжением работы по оптической активности, в ней описаны новые методы измерения угла поворота плоскости поляризации света.

Идея, положенная в основу первого метода, возникла на основании работы Бертрана, который показал, что если между скрещенными поляризаторами помещена пластинка кварца, вырезанная перпендикулярно оптической оси (пластинка вращает плоскость поляризации света), и слюдяная пластинка $\lambda/4$, дающая разность хода, деленную на 4, то на выходе вращение плоскости поляризации отсутствует.

Вульф применил эту схему к компенсатору Бабине и подробно рассмотрел ситуацию с двумя пластинками $\lambda/4$. Он показал, что при определенной ориентации плоскостей поляризации поляризаторов и пластинок $\lambda/4$ в поле зрения компенсатора при изменении его суммарной толщины (разности хода) появляется система темных и светлых полос. То же самое получается, если свет, входящий в компенсатор, поворачивает плоскость поляризации. Калибровкой устанавливается соответствие расстояния между полосами и углом поворота плоскости поляризации, т.е. определяется постоянная компенсатора Φ . Она связана с углом поворота плоскости поляризации ρ , определенным из соотношения $\rho = \varphi\pi/\Phi$, где φ – число оборотов винта компенсатора, изменяющих разность хода.

Анализ этого метода и эксперименты с пластинками кварца подтвердили, что его можно использовать только для монохроматического света, при этом чувствительность измерения ρ составляет примерно 1° . Это, конечно, небольшая чувствительность (поляриметры в те годы достигали чувствительности в $4'$), но метод мог оказаться полезным в том случае, когда в наличии оказывался лишь компенсатор Бабине.

Второй метод, разработанный Вульфом, тоже не претендовал на высокую чувствительность: он основан на оригинальной конструкции

специальных поляризационных призм. Эти призмы были сделаны двойными, т.е. одна часть изготовлена из правого кварца, вторая – из левого кварца, при этом оптические оси обоих призм совпадали с направлением падающих лучей. Когда две такие призмы с помощью микрометрического винта перемещались друг относительно друга, то в поле зрения наблюдалось движение темных и светлых полос. Темные полосы возникали в случае, когда суммарная толщина призм была равна необходимой для поворота плоскости поляризации на 180° толщине. Прокалибровав такой компенсатор и определив его постоянную Φ , с его помощью можно измерить углы поворота плоскости поляризации света кристаллическими пластинками. Угол поворота ρ связан с параметрами компенсатора следующим выведенным Вульфом соотношением: $\rho = 180^\circ\phi/Fd$, где d – толщина призмы, ϕ – число поворотов винта компенсатора.

Эксперимент, проведенный Вульфом на пластинках кварца, показал, что чувствительность такого компенсатора составляет $18'$. Это вполне достаточно для многих практических целей. В отличие от первого второй метод совершенно оригинальный. Видимо, поэтому по поручению Вульфа 25 марта 1886 г. на заседании физического отделения Русского физико-химического общества о нем докладывал Егоров [230]. На том же заседании Вульфа выбрали членом физического отделения по рекомендации Егорова, Хамонтова и Гезехуса. Предварительное сообщение Г.В. Вульфа о новом методе было опубликовано в журнале общества [5], а несколько позднее в том же журнале напечатана более подробная версия этой статьи [9]. Вторая статья [13] посвящалась измерению углов между гранями кристаллов с помощью микроскопа. Если в поле зрения микроскопа попадает пересечение граней, то эта задача решается просто – по углу поворота столика микроскопа. Вульф же рассматривает случай, когда грани не пересекаются или одна из них не находится в поле зрения, тогда угол между гранями можно найти как разность дуг, охватывающих данные грани. Если же в поле зрения видна только одна грань кристалла, то ее легко сдвинуть посредством столика параллельно самой себе и проделать ту же процедуру. Для облегчения практических измерений Вульф рекомендует вставлять в окуляр тонкую стеклянную пластинку с нанесенным на нее крестом и по нему центрировать микроскоп. При подходящем увеличении всегда можно расположить измеряемый кристалл таким образом, чтобы грани не пересекали крест. Экспериментальные измерения данным методом показали, что погрешность составляет $\pm 0,2^\circ$.

Своему методу измерения углов кристаллов Вульф придавал большое значение. 4 марта 1889 г. Г.В. Вульф доложил о результатах исследований на заседании отделения физики и химии Варшавского общества естествоиспытателей. Кстати, на этом же заседании его избрали действительным членом Общества. «Сообщение Ю.В. Вульфа вызвало прения, в которых приняли участие: А.Е. Лагорио, Н.Л. Кондаков, Д.Ф. Лембль и П.И. Митрофанов. – записано в протоколе. – Председатель отделения выставил на вид значительные теорети-

ческие преимущества нового метода сравнительно с общеупотребительным и сделал несколько замечаний относительно неправильного употребления референтом слова "окружность" вместо "круг", но прибавил, что подобные и даже более важные неточности, к сожалению, встречаются во многих русских руководствах» [231, с. 8].

Позднее статью об этом методе опубликовал журнал "Zeitschrift für Krystallography" [25]. В тот же период Вульф публикует еще три статьи, непосредственно не связанные с его профессиональными интересами. В первой статье он описывает метод определения высоты кучевых облаков [7], основанный на определении угловых размеров тени, угловой величины облака и положении облака на небосклоне. Способ был экспериментально проверен вместе со студентом Н. Пашенным 15 июля 1887 г. в Новой Александрии Люблинской губернии.

Вторая статья была посвящена изложению простого метода измерения угла смачивания ртутью свободной поверхности стекла [10], который основан на связи угла φ с объемом сегмента ртути V и его диаметром d . Объем V определяется из веса ртути M и ее плотности Δ . Тогда угол смачивания φ может быть найден из простого соотношения

$$\sin 3/2\varphi = \sqrt{6 \frac{M}{\pi \Delta \Sigma d^3}}.$$

Экспериментальные определения угла смачивания совпадали с результатом, полученным известным немецким физиком Квинке. Интересно отметить тот факт, что эта работа кандидата–стипендиата по кафедре минералогии фигурирует в отчете университета за 1888–1889 гг. как выполненная на кафедре физики [232], это позволяет полагать, что и другие, в том числе и работы по оптике, Вульф выполнил в лаборатории Зилова.

Наконец, в третьей статье описывался способ построения так называемых "зажигательных кривых" простыми геометрическими методами [11], в которой Вульф рассмотрел отражение света от сферической поверхности и нашел ряд способов построения точек пересечения падающих и отраженных лучей. Кривая, соединяющая эти точки, называется "зажигательной кривой". Вульф нашел положение точек этой кривой в зависимости от положения источника света относительно отражающей поверхности, от ее радиуса и положения точек падения отражающих лучей. Они могут быть найдены с помощью следующей важной теоремы, доказанной Вульфом: "Половина хорды, отсекаемой отражающей поверхностью от падающего луча, есть среднее гармоническое между длиной всего падающего луча до точки падения и расстоянием зажигательной кривой от точки падения, взятой по отраженному лучу" [11, с. 3]. Следовательно,

$$2/s = 1/f + 1/d,$$

где f – фокусное расстояние, d – расстояние от кривой до источника

света, s – половина хорды, отсекаемой окружностью от падающего луча. Эта формула обобщает случай отражения от вогнутого сферического зеркала.

В статье [11] рассмотрены и другие частные случаи геометрических построений "зажигательных кривых" по точкам. Интересно, что в двух случаях, когда $d = \infty$ и $d = 2s$, зажигающая кривая является эпициклоидой.

Все три статьи, разные по своей тематике, безусловно свидетельствуют о таланте и многогранности познаний автора.

Петербург, Мюнхен, Париж

1

В соответствии с Уставом императорских университетов и российскими традициями лица, оставленные для приготовления к профессорской деятельности, имели право на длительную зарубежную командировку в лучшие европейские университеты. Допускались и командировки в российские университеты.

10 августа 1888 г. Министр народного просвещения распоряжением за № 10607 дал свое "согласие на командирование кандидата Вульфа в Санкт-Петербургский университет на шесть месяцев для приготовления к профессорской деятельности по кафедре минералогии, без назначения ему содержания как из сумм Министерства, так и из сумм, ассигнованных Санкт-Петербургскому университету" [233]. Таким образом, Вульф отправился за собственный счет и, хотя он имел собственные средства, однако эта поездка могла быть вызвана только настоятельной необходимостью. Вряд ли такой необходимостью была работа в лабораториях Петербургского университета, которые практически не отличались от лабораторий Варшавского университета, вряд ли он жаждал общения с профессорами минералогии и кристаллографии столичного университета, хотя среди них были и вполне достойные ученые, такие как М.В. Ерофеев, С.Ф. Глинка, П.А. Землячский.

Вульфа влекла в Петербурге фигура Е.С. Федорова [234]. В 1885 г. вышел 21-й том "Записок Минералогического общества", в котором была опубликована его первая крупная монография "Начало учения о фигурах". В этом обширном труде Е.С. Федоров заложил основы теоретической кристаллографии. Он рассмотрел и решил важные для кристаллографии вопросы: о выводе групп симметрии кристаллов и групп симметрии всех геометрических конечных фигур, о заполнении плоскости и пространства плоскими фигурами и многогранниками. На этих результатах базировался последующий вывод всех пространственных групп симметрии кристаллов.

В конце 1888 г. вышли в свет и другие значительные работы Федорова: "Этюды по аналитической кристаллографии" (1885–1887) и "Симметрия конечных фигур" (1888).

Вульф мгновенно оценил значение этих работ, для него настоятельной необходимостью стало знакомство и общение с Федоровым. По воспоминаниям учеников Вульфа сама личность Федорова произвела на него огромное впечатление. Вот как об этом периоде пишет жена Федорова: «Вульф произвел на нас самое благоприятное впечатление, сперва своей красивой и симпатичной наружностью, мягким голосом и обращением. Он называл Евграфа не иначе как "дорогой

учитель", "многоуважаемый Евграф Степанович" или даже "глубокоуважаемый"; способный, усидчивый, но с громадным самолюбием, он был замкнут в себе и мы не знали его святое святых» [235, с. 138].

Много времени провел Вульф в Горном институте, обсуждая с Федоровым ряд научных проблем. В процессе бесед Федоров узнал, что Вульф вскоре намерен получить командировку к проф. Гроту в Мюнхен. Грот в те годы издавал единственный в мире специальный кристаллографический журнал "Zeitschrift für Krystallographie", поэтому у Федорова возникла идея опубликовать в этом журнале рефераты своих работ, чтобы сделать их доступными для западных коллег. Необходимость этого была вызвана вопросами приоритета – одновременно с Федоровым (с 1888 г.) стали выходить отдельными оттисками труды немецкого математика А. Шенфлиса, посвященные решению той же проблемы – описанию всех возможных в кристаллах законов пространственного расположения атомов.

Составление рефератов и размещение их в журнале "Zeitschrift für Krystallographie" взял на себя Вульф.

Никаких научных исследований за время пребывания в Петербурге Вульф не опубликовал. Зато в общественно-политическом журнале "Русское богатство" появилась его статья "Роль метеоритов во Вселенной" [14], отправленная в журнал из Петербурга 5 ноября 1888 г. В статье речь шла об экзотической гипотезе происхождения звездных систем, выдвинутой известным французским астрономом Д. Локьером. Он исследовал спектры туманностей и спектры нагретых метеоритов, которые оказались тождественными. Отсюда Локьер сделал вывод: туманности – это скопления метеоритов, сталкивающихся между собой, столкновения приводят к повышению температуры и превращению скопления метеоритов в раскаленный газ, остывая, газ дает начало образованию звезд и планет.

Гипотеза Локьера не выдержала критики и была отвергнута. Но в момент ее выдвижения она казалась правдоподобной и Вульф целиком ее поддерживал, более того, он пытался дополнить гипотезу собственными аргументами. "Меня лично, – пишет Вульф, – заняла мысль усмотреть в изученных минералогами и петрографами метеоритах следы таких быстрых температурных изменений, которые могли бы быть истолкованы только столкновениями метеоритов в между-планетном пространстве" [14, с. 145]. Такие следы, по мнению Вульфа, есть – это хондры – стеклянные шарики, возникающие в результате быстрого охлаждения. Их изучение и должно окончательно прояснить вопрос. "Установить окончательное происхождение метеоритов есть дело не астрофизиков, а минералогов с петрографами: от них следует ждать окончательного решения вопроса, могли ли метеориты составлять когда-либо такие же небесные тела, как Земля, или начало их надо искать в иной области явлений, чем те, какие обусловили конфигурацию, состав и свойства веществ, образующих нашу планету" [14, с. 148]. Подобное высказывание свидетельствует о широком кругозоре и неиссякаемом интересе Вульфа к смежным областям науки, что характерно для всего его научного творчества.

9 января 1889 г. вышло распоряжение Министра просвещения № 177: "О командировании с учебной целью за границу кандидата Варшавского университета Георгия Вульфа сроком на 2 года, считая с 1 января 1889 г., для приготовления к профессорскому званию по кафедре минералогии с содержанием 1500 рублей из суммы министерства" [236]. Вульф отправляется в Мюнхенский университет к профессору минералогии П. Гроту.

Пауль Грот (1843–1927) родился в Магдебурге, однако образование получил в Горной академии во Фрайбурге, в Высшей технической школе в Дрездене и в Берлинском университете [207, 237, 238]. Свою научную деятельность Грот начал в Берлинском университете, где в 1868 г. защитил диссертацию, посвященную исследованию оптических свойств изоморфных кристаллов. Затем преподавал кристаллографию и минералогию в Горной академии и в Страсбургском университете. С 1882 г. Грот заведывал кафедрой минералогии Мюнхенского университета, где и проработал до конца своей жизни.

Это был выдающийся ученый, педагог и организатор. Работая в Горной академии в Берлине, Грот организовал первый в Германии Минералогический музей, который потом превратился в образцовое научное учреждение. Однако главная заслуга Грота – организация издания первого специализированного журнала "Zeitschrift für Kristallographie und Mineralogie", который во всем мире сокращают по первой из двух перечисленных в заглавии областей науки о кристаллах. Благодаря своей энергии Грот привлекает к участию в журнале всех ведущих кристаллографов, минералогов и петрографов, в том числе и из России. Вклад Пауля Грота в науку о кристаллах огромен. Подтверждением тому являются две крупные монографии: "Физическая кристаллография", выдержавшая пять изданий, и "Химическая кристаллография" в пяти томах. Последняя стала главным трудом его жизни. Он начал эту работу в 1870 г. и закончил в 1919 г. На протяжении почти пятидесяти лет Грот скрупулезно собирал сведения о форме и симметрии всех доступных ему кристаллов, пытаясь установить связь между химической природой кристаллов и их формой. В пяти огромных томах им собрано 10350 разных кристаллов, которые сопровождаются 9600 литературными ссылками. До сих пор этот справочник является настольной книгой каждого кристаллографа.

"Физическая кристаллография" была опубликована в 1876 г., а последнее издание датировано 1921 г. В монографии наиболее полно отразились научные взгляды Грота, четко выраженные в предисловии к третьему изданию (1895 г.): "Кристаллография до сих пор еще часто преподается в высших учебных заведениях только в связи с минералогией, как вспомогательный предмет, и поэтому носит чисто описательный характер. Такое положение дела не соответствует современному состоянию кристаллографии. После того как основатель этой науки Гаюи сделал попытку объяснить кристаллографические формы, после того как благодаря исследованиям Брюстера, затем Сенармона и Грай-



Пауль Грот (1843–1927)

лиха и, наконец, в последнее время Малляра и др. была выяснена до мельчайших подробностей связь физических свойств с кристаллографической формой, мало-помалу установилось убеждение, что форма кристалла является следствием внутреннего строения его из мельчайших частиц, между которыми действуют силы, находящиеся в закономерной зависимости от направления, и что, следовательно, эта форма является свойством вещества... Таким образом, кристаллология является в настоящее время одним из наиболее обоснованных теоретических отделов физики и имеет важное значение для понимания материального мира" [239, с. III–IV].

Эти взгляды как нельзя лучше соответствовали научным устремлениям молодого Вульфа, с первых самостоятельных шагов в науке он ощущал явную ограниченность чисто кристаллографического и минералогического подходов к изучению кристаллов. Ученый считал, что морфология внешней формы, ее симметрия и химический состав явно недостаточны для понимания природы кристалла. Лишь физические свойства и определяющие их законы расположения молекул и атомов, составляющих кристалл, могут дать о нем глубокое представление.

Несомненно, Вульф подробно ознакомился с "Физической кристаллографией" и высказанная там позиция Грота послужила главным стимулом к командировке в Мюнхен.

Остановимся на педагогической деятельности Пауля Грота. В Мюнхен съезжались молодые ученые из многих стран мира. В число русских учеников Грота, кроме Вульфа, входили В.И. Вернадский, Б.З. Коленко, В.И. Воробьев и другие, в разное время работавшие в минералогическом кабинете. Большинство ученых занимались исследованием оптических свойств или измерением кристаллографических констант различных кристаллов. Полученные результаты Грот использовал в материалах своих монографий.

Ежедневно с 12 до 13 часов Пауль Грот читал лекции, на которых демонстрировал большие деревянные модели кристаллов. Сами же минералы потом демонстрировались в особой комнате, где посреди большого подковообразного стола восседал ученый. Слушатели стояли по другую сторону стола, рассматривали образцы и слушали соответствующие пояснения. Однако трогать руками минералы не разрешалось, их выдавали только на время практических занятий.

Грот пользовался особым авторитетом среди ученых-кристаллографов. Его величали не иначе как "кристаллографический патриарх" и "король европейской кристаллографии". Он был членом множества академий и научных обществ. В 1883 г. Грот был избран иностранным членом-корреспондентом Петербургской Академии по разряду физических наук, а в 1925 г. почетным членом Российской Академии наук.

3

Сохранился отчет Вульфа о командировке в лабораторию Грота за второе полугодие 1889 г. [160а]. Вульф пишет, что в результате задержки с оформлением документов для заграничной поездки он сумел выехать из Варшавы лишь 5 марта. Он выбрал кратчайший путь в Мюнхен через Вену. Там он посетил лаборатории профессоров Германа и Шрауффа. В лаборатории Германа "в ущерб точным кристаллографическим и физическим методам" [160а, л. 53] разрабатывались в основном химические проблемы, далекие от интересов Вульфа. Зато лаборатория Шрауффа весьма заинтересовала Вульфа "благодаря богатству средств, предоставленных работающим над специальными минералогическими и кристаллографическими вопросами" [160а, л. 53 об]. Кроме этих лабораторий, Вульф ознакомился с коллекцией минералов Шрауффа и Немецкой геологической лаборатории.

Прибыв в Мюнхен, Вульф представился Гроту и получил от него задание исследовать изоморфизм солей серноокислого и селеновокислого бериллия "с точки зрения новейших теорий кристаллообразования строения кристаллов" [160а, л. 53 об]. Проблема здесь заключалась в следующем: серноокислый бериллий кристаллизуется в тетрагональной сингонии, а селеновокислый бериллий – в ромбической. В то же время эти соли легко дают смешанные кристаллы. Вульфу необходимо было уточнить их симметрию, оптические свойства и по возможности сделать выводы о структуре. Далее предполагалось распространить полученные сведения и на другие серноокислые соли.

На первом этапе работы Вульф должен был получить чистый бериллий из сернокислой соли, содержащей большое количество примесей гипса, железного купороса и сернокислого аммония. С этим непростым делом он справился блестяще и в результате получил большое количество совершенно чистого сернокислого бериллия. Однако далее работа застопорилась.

Дело в том, что Вульфа не устроил сам подход к проблеме, рекомендованный Гротом. "Предполагалось, – писал Вульф в отчете, – вести исследования чисто наблюдательным, индуктивным путем, на что указывает и многочисленность объектов исследования (сернокислые соли первой группы металлов и многочисленные смеси обоих солей бериллия)" [160а, л. 51 об]. Вульф же считал, что установить внутреннюю структуру можно с помощью сопоставления внешней формы и симметрии с физическими, прежде всего оптическими свойствами. Поэтому, обсудив эту коллизию с Гротом, он выбрал для дальнейших исследований лишь две соли – сернокислый бериллий $\text{BeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и двойной сульфат калия и лития KLiSO_4 .

Среди выращенных им кристаллов сульфата бериллия Вульф обнаружил интересные двойники и более сложные поликристаллические образования. Методом призмы ученый измерил показатели преломления этих кристаллов для *C*, *D* и *F* линий спектра и нашел, что они обладают большим отрицательным двупреломлением. Он исследовал также оптические свойства двойников, которые проявляют ложную двухосность.

Гониометрия гексагональных кристаллов сульфата калия и лития позволяла определить осевое отношение $a:c = 0,597 \pm 0,001$. Методом призмы он измерил показатели преломления и двупреломления в том же диапазоне спектра. Оказалось, что двупреломление сильно зависит от температуры и линейно увеличивается с ростом температуры в диапазоне от 24 °С до 147 °С.

Для данного кристалла Вульф измерил поворот плоскости поляризации света, который составил 2,6° для красного и 2,8° для желтого света на 1 мм толщины. Он обнаружил, что эти кристаллы могут быть как лево-, так и правовращающими.

Полученные результаты были опубликованы в журнале "Zeitschrift für Krystallographie" в 1890 г. [24]. Однако прошло совсем немного времени и немецкий кристаллограф Л. Траубе опубликовал статью [240], где утверждал, что не наблюдал в этих кристаллах оптической активности, но подтвердил наличие в них двойников.

Вульф тут же откликнулся на это сообщение статьей [30], в которой указал, что по-видимому Траубе работал с двойниками, один из которых был левовращающим, а другой правовращающим. Поэтому оптическая активность была скомпенсирована. Сам Вульф в своих экспериментах имел такие кристаллы и тоже не находил в них оптической активности.

Вернемся, однако, непосредственно к статье [24], где Вульф сделал попытку найти связь между показателями преломления кальцита и арагонита. В основе этой попытки лежала широко распространенная в

то время оригинальная теория французского кристаллографа Э. Малляра о строении кристаллов [207]. Малляр, изучая оптические свойства кристаллов, пришел к выводу, что пространственное строение кристаллов средних и высших сингоний можно представить себе как совокупность (смещение) нескольких пространственных решеток низших сингоний. Тогда оптические свойства высокосимметричных кристаллов определяются оптическими свойствами этих смешанных решеток при определенной их взаимной ориентации относительно друг друга. Эту идею Вульф уже использовал в своих работах по оптической активности [4, 12, 22].

В статье Вульф рассматривает лишь преломляющие свойства, которые у кальцита и арагонита существенно отличаются, несмотря на то, что оба монокристалла имеют одинаковый химический состав – CaCO_3 . Арагонит принадлежит к ромбической сингонии и является оптически двуосным, кальцит кристаллизуется в гексагональной сингонии и оптически одноосный. Эти отличия в преломляющих свойствах (при одинаковом химическом составе), по мнению Вульфа, обусловлены структурой и, в конечном итоге, плотностью кристаллов.

Он рассматривает прохождение света через один бесконечно тонкий гексагональный слой и, используя теорию Малляра, показывает, как изменяется скорость света при прохождении такого слоя, если меняется его плотность:

$$(n'_1 + n'_2) = (n_1 + n_2) \frac{p'}{p},$$

где n_1 и n_2 – показатели преломления лежащих друг над другом слоев, имеющих плотность p и n'_1 и n'_2 – эти же величины при плотности p' .

Затем Вульф применяет эту формулу к кальциту с показателями преломления ω' и ε' . Если плотность его по двум взаимно перпендикулярным направлениям C_1 и C_2 заменить на соответствующие плотности арагонита a_1 и a_2 , то показатели преломления изменятся следующим образом:

$$\omega = \omega' \frac{C_1}{a_1}, \quad \varepsilon = \varepsilon' \frac{C_2}{a_2}.$$

Принимая, что $\omega = \frac{1}{2}(\alpha + \beta)$ и $\varepsilon = \gamma$, где α , β , γ – показатели преломления арагонита, из этого уравнения Вульф определяет соотношения C_1/a_1 и C_2/a_2 . Но объемные плотности арагонита Δ_a и кальцита Δ_c относятся как $a_1 a_2^2 : c_1 c_2^2$. Подставляя численные значения в последнее отношение, он получил, что $\Delta_a : \Delta_c = 1,076$. Экспериментальное же отношение этих плотностей 1,077. Это, считает Вульф, хорошо подтверждает теорию Малляра.

Кроме работы в лаборатории Вульф слушает лекции Грота по кристаллофизике, профессоров Нарра и Ломмеля по теоретической физике, проходит практикум по микрохимическому анализу у

проф. Хапсхофера и посещает семинар проф. Зонке по физике в Политехнической школе. В пасхальные каникулы Вульф вместе с Гротом и другими работающими у него практикантами участвует в заседаниях съезда прирейнских геологов и минералогов в городе Атаффенбурге (Северная Бавария), где в программу входила геологическая экскурсия по окрестностям под руководством проф. Розенбуша. На праздник Святой Троицы Вульф отправляется еще в одну геологическую экскурсию в юго-западную часть Баварии (Тироль) на этот раз вместе с приват-доцентом Новороссийского университета Р.А. Пренделем [160а].

Интересно мнение Георгия Викторовича об устройстве лаборатории Грота, высказанное им в уже упоминавшемся отчете [160а]. "Из характерных особенностей, представляющих предметы, достойные подражания" Вульф отмечает "погребка для кристаллизации с почти постоянной температурой и мало подверженные сотрясениям" [160а, л. 57]. Далее он упоминает "особые приспособления в виде шкафчиков" со слюдяными окошками и вытяжкой, в которых помещались источники монохроматического света, а также несколько темных комнат для работы с гониометрами. В то же время Вульф сетует на обычную стесненность из-за большого количества работающих студентов и практикантов.

4

Во время стажировки у Грота Вульф осуществил то, что обещал Федорову и что потом ставил себе в несомненную заслугу – он открыл западному научному миру труды классика современной кристаллографии, напечатав в "Zeitschrift für Krystallographie" рефераты основных работ Федорова на немецком языке*. Однако публикация рефератов сопровождалась целым рядом осложнений, которые ни Вульф, ни Федоров предвидеть не могли. В этом деле оказались замешаны вопросы приоритета. Мы можем проследить все возникшие коллизии по переписке Вульфа с Федоровым [241].

В марте 1890 г. Вульф сообщает Федорову: «Узнав, что я взял на себя труд реферировать Ваши работы, Грот остался очень доволен и тут же при встрече сообщил мне, что в мое отсутствие некий немец-математик при здешнем политехникуме (кажется, Финстервальдер) набрел на мысль приложить к кристаллографии учение о "сродстве", что при этом-де вычисления весьма упрощаются и что, наконец, этот математик сообщил свою мысль доктору Блазиусу, который и намерен вскоре издать по сему поводу целый Handbuch... Грот был явно озадачен и не нашел ничего лучшего, как попросить, нельзя ли подождать с рефератами, дабы дать возможность доктору Блазиусу исполнить свой труд вполне самостоятельно. Это меня возмутило до глубины души тем

* Интересно, что Г.В. Вульф пропагандировал работы Е.С. Федорова не только среди западных ученых, но и среди своих российских коллег. Именно он обратил на них внимание В.И. Вернадского [161].

более, что вся подлость делалась с целью дать возможность выдвигаться на вид неоднократно упоминаемому доктору Блазиусу или, согласно одобренному знающими дело немцами моему чтению, "Seifenblasius"* , который блещет познаниями в такой же мере, как готовый лопнуть мыльный пузырь своими скоропереходящими цветами... Несмотря на свое возмущение, я холоднокровно объявил Гроту, что откладывать составление рефератов я никаким образом не буду, хотя бы уже из-за данного автору слова, не говоря уже о том, что усиливающим обстоятельством является приоритет русского ученого. Грот сознал вовремя свое нетактичное поведение и замаял свои прежние слова» [241, с. 349–350].

Опасаясь, что Грот не поместит вовремя рефераты, Вульф советует Федорову переслать их в журнал "Neues Jahrbuch". Федоров отреагировал иначе. Он познакомил с письмом Вульфа знаменитого русского геолога академика Ф.Н. Чернышева. Тот "принял дело близко к сердцу" и сообщил об этом факте профессору Аахенского политехникума А.Е. Арцруни, который в свою очередь довел его до сведения Грота. В результате образовался, как писал Вульф, "circuli vitiosi"** [242]. "Мне, признаться, было несколько неловко объясняться с Гротом по поводу вышедшего circuli vitiosi, – писал Вульф Федорову, – но я тогда же всецело сознавал, что хуже всего должен чувствовать себя сам Грот, и растолковывать ему глупость его положения мне было нечего, ибо он сам все хорошо видел" [241, с. 352]. В результате в "Zeitschrift fur Krystallographie" в 1890 г. были опубликованы пять рефератов [16–20] Вульфа, передающие содержание следующих работ Федорова: "Начала учения о фигурах", "Этюды по аналитической кристаллографии", "Попытка выразить кратким знаком символы всех равных направлений данного подразделения системы симметрии", "Симметрия конечных фигур" и "Две кристаллографические заметки".

Эта коллизия породила первую трещину в отношениях между Вульфом и Федоровым. Вульф был недоволен тем, что Федоров показал его письмо Чернышеву, в результате чего образовался circuli vitiosi. "Все одинаково неприятно, – писал Федорову Вульф, – но больше всего, конечно Гроту и мне, так как мы имели преимущество наблюдать психические процессы друг у друга непосредственно... Здесь я одно из самых невыгодных по положению звеньев в замкнутой цепи" [241, с. 350–351]. И хотя Федоров в ответном письме извинился за случившееся, однако добавил, что информация в письме Вульфа была "именно такого свойства, что требует огласки" [241, с. 351]. Ведь речь шла не о личных амбициях, а о приоритете русской науки. В конце письма Федоров пишет: "В письме я выразил, как умел, огорчение, причиненное мне случившимся. После нескольких личных свиданий я приобрел к Вам такую степень уважения, что разрыв с Вами, да еще по крайней мере отчасти по моей вине, был бы для меня надолго источником тяжелого огорчения" [241, с. 352]. Чтобы сгладить

* Игра слов: буквально "мыльный пузырь".

** Порочный круг (лат.).

возникшее недоразумение, Федоров прислал Вульффу в Париж изящно переплетенный том своих работ, о чем Вульфф тут же сообщил Вернадскому [162]. Инцидент вроде бы исчерпан, переписка продолжалась, но тень конфликта осталась и по многим обстоятельствам привела к почти полному разрыву.

Причина этого, несомненно, заключалась в особенностях характеров ученых. По свидетельству Е.Е. Флинта – ученика Г.В. Вульффа, неприязненные отношения начались из-за изобретения линейки для вычерчивания пологих дуг [243, с. 295]. Идею создания такой линейки в частной беседе с Федоровым высказал Вульфф. Федоров реализовал эту идею (речь идет об упругой линейке с двумя зажимными винтами) и опубликовал ее описание [244]. Однако он указал, что идея изготовления линейки принадлежит Вульффу и назвал ее "вульффовской линейкой". Тем не менее Вульфф обиделся, так как, по-видимому, он не давал Федорову право распоряжаться своей идеей. Он сам сконструировал линейку и описал ее в работе [29].

С другой стороны, в 1896 г. Вульфф публикует статьи (см. ниже) по теодолитному методу, аналогичному универсальному методу Федорова, без ссылок на него как на первооткрывателя. Теперь обиделся Федоров, о чем свидетельствуют его письма к Гроту: "*Во всех его (Вульффа. – Прим. А.С.) работах, примерно с 1890 г., Вы увидите или совершенное пренебрежение к моим научным трудам или прямые накладки, которые вызваны исключительно разного рода недоразумениями. Он не знает моих работ, даже моих университетских учебников, и не хочет ничего о них знать*" [243, с. 121].

Последняя фраза, конечно, продиктована только эмоциями. Вульфф, как никто другой, глубоко знал работы Федорова – вспомним, что он подробно реферировал основные его книги. Тем не менее конфликт со временем разрастался и это не приносило пользы отечественной науке.

5

С мая 1890 г. Вульфф приступил к работе в лаборатории проф. Корню в Политехнической школе Парижа. Он проработал у него до 1 июля 1891 г. благодаря тому, что срок его пребывания в заграничной командировке был продлен на полгода [245].

Альфред Мари Корню родился в 1841 г. в Шатено [246, 247]. В 19 лет он поступил в Политехническую школу в Париже, но не окончил ее. В 1864 г. он перешел в Горную школу, по окончании которой в 1866 г. получил диплом горного инженера. Инженером Корню работал недолго. В 1871 г. он получил должность профессора физики в Политехнической школе, где работал до конца своей жизни. Альфред Корню скончался в 1902 г.

Корню был выдающимся педагогом и исследователем. Его научные интересы сформировались под влиянием его *Alma Maters*. Горная школа привила ему любовь к царству кристаллов. Политехническая школа – к физике, или если быть более конкретным, – к оптике. Эти



Альфред Корню (1841–1902)

же научные интересы, как мы знаем, владели и Вульфом и, естественно, определили его выбор.

Еще будучи студентом Горной школы, Корню опубликовал ряд интересных заметок о преломлении и отражении света от стекла и металлов. В докторской диссертации, посвященной отражению света от кристаллических тел, Корню применил и усовершенствовал теорию Френеля для случая, когда свет падает на границу двух тел. Кроме того, физика обязана Корню решением проблемы фотометрии поляризованного света, фокальных аномалий дифракционных решеток, ахроматизма в явлениях интерференции. Много сделал Корню и для измерения скорости света. Он проделал свои классические

опыты на трассе в 46 км между обсерваториями Парижа и Монтлери и получил более достоверную, чем Физо, скорость света, равную $3,0033 \cdot 10^{10}$ см \cdot с⁻¹. За эти работы в 1878 г. Корню был избран членом Парижской Академии наук и награжден медалью Румфорда.

В области спектроскопии вклад Корню также весьма значителен. Он измерил длины волн водородного спектра с ранее невиданной точностью, что дало возможность сравнить экспериментальные результаты с вычисленными по формулам Бальмера и другими. Корню исследовал спектры излучения Солнца и впервые определил его ультрафиолетовый край. Изучал он и прохождение света через атмосферу в связи с прикладными задачами метрологической оптики.

Кроме оптики, где Корню был признанным лидером, он занимался акустикой. Он решил проблему синхронизации двух резонансных колебательных систем и применил полученные результаты для синхронизации часов, что необходимо для точного измерения времени, эти результаты он использовал также для точного измерения гравитационной постоянной.

Благодаря этим исследованиям в 1886 г. А. Корню становится членом Бюро Долгот и Международного Бюро мер и весов и принимает активное участие в разработке эталона метра.

Даже из этого краткого перечня его главных достижений видно, что Корню был выдающимся физиком. Он избирался президентом Парижской Академии наук и Французского физического общества, в 1884 г. членом Лондонского королевского общества.

Несомненно, Вульффу повезло с учителями. Как и Грот, Корню был не только выдающимся исследователем, но еще и превосходным

педагогом. И, хотя Вульф сам уже был достаточно опытным экспериментатором, общение с Корню позволило пополнить свои знания и приобрести опыт в области экспериментирования, когда ставится задача достичь предельной для данного метода точности. Именно такой подход к эксперименту пропагандировал Корню, что естественным образом связано с его метрологическими работами.

Корню поручил Вульфу усовершенствовать оптический метод измерения деформации твердых тел, предложенный им еще в 1869 г. с целью повышения точности измерений. Идея метода довольно проста [248]. При деформации твердого тела испытывает деформацию и его поверхность. Если последнее известно, то в простейших случаях можно судить о виде и величине деформации тела как целого.

Корню использовал эту идею для того, чтобы выяснить соотношение между деформациями поперечного сжатия и продольного удлинения прямоугольной стеклянной призмы при ее изгибе. Для нахождения вида и величины деформации поверхности он использовал метод колец Ньютона. К поверхности деформируемой стеклянной призмы прикладывалась плоская прозрачная стеклянная полоска. В зазоре между ней и изгибающейся поверхностью призмы при освещении монохроматическим светом возникала интерференционная картина, положение максимумов которой определялось оптической разностью хода, т.е. расстоянием между плоской пластинкой и изогнутой поверхностью. Зная положения максимумов интерференции, можно найти деформацию поверхности призмы.

Проведя ряд тонких измерений, Корню нашел [248], что отношение величины поперечного сжатия к продольному удлинению равно 0,235, что близко к теоретическому значению 0,25 для изотропных тел.

Вульф занимался усовершенствованием метода Корню и повышением его точности в период стажировки с 1 мая 1890 г. по 1 июля 1891 г., а также в течение еще нескольких кратковременных наездов в Париж во время летних каникул. Результаты этой кропотливой работы были опубликованы полностью лишь в 1893–1894 гг. в виде большой статьи в нескольких номерах "Варшавских университетских известий" [33].

Во введении Вульф поясняет, почему работа, выполненная в "лаборатории профессора Корню в Политехнической школе при непосредственном руководстве с его стороны", публикуется им единолично: "Так как многое из того, что излагается в настоящем труде и что привело к усовершенствованию точности метода, удобства приемов измерения и вычисления составляет результат моих личных усилий, то я решил опубликовать этот труд на русском языке под своим именем, с ведома и одобрения моего уважаемого парижского учителя" [33, с. 1].

В первой части статьи Вульф описывает суть метода Корню и установку, на которой он производил измерения. Установка состояла из подставки, поддерживающей деформируемое тело, кривизну поверхности которого необходимо было измерить. Для наблюдения колец

Ньютона к исследуемой точке поверхности подводилась плосковыпуклая линза, которая крепилась на специальной раме. С помощью трех регулировочных винтов рама с линзой могла перемещаться относительно исследуемого тела.

Первое усовершенствование метода Корню, внесенное Вульфом, связано с регистрацией результатов измерений. Для измерения деформации было необходимо измерить размеры колец Ньютона. Однако само явление колец было неустойчиво – центр системы колец всегда испытывал медленное перемещение, зависящее от колебаний температуры и неоднородности коэффициентов термического расширения частей установки. Поэтому измерение диаметра колец, как правило, сопровождалось большой ошибкой.

Вульф стал фотографировать кольца и измерять их диаметр по фотонегативам. При этом ему пришлось преодолеть ряд трудностей. Первая из них состояла в необходимости получения негативов в нормально падающих на линзу лучах. Для этого пришлось сделать целую оптическую систему с поворотными зеркалами и точно ее юстировать. Вторая трудность заключалась в том, что для повышения контраста негатива фотографирование следовало производить в монохроматическом свете, поскольку в то время при фотографировании использовалась магниевая вспышка, дающая белый свет. Вульф изготовил светофильтр, он нанес на объектив фотокамеры слой коллодия с растворенным в нем красителем хризоиндином. Этот светофильтр пропускал свет только с длиной волны 383 нм.

Полученные изображения колец Ньютона измерялись с помощью микроскопа, на столике которого помещалась рамка с негативом. Рамка перемещалась с помощью микрометра, снабженного отсчетным устройством. Таковы были экспериментальные усовершенствования, внесенные Вульфом в метод Корню.

Во второй части статьи Вульф теоретически исследует форму колец Ньютона на искривленных поверхностях. В начале он аналитически описывает искривленную поверхность. Если ограничиться весьма малым участком поверхности вблизи точки, где находится центр колец Ньютона, то искривленный участок можно аппроксимировать параболоидом, вершина которого совпадает с центром колец Ньютона. Далее, используя хорошо известные свойства параболоида, Вульф находит соответствия между геометрическими величинами и их механическими аналогами, описывающими изгиб поверхности. Он приходит к выводу, **"что элемент всякой поверхности можно образовать из плоского элемента, изгибая плоский элемент по двум взаимно перпендикулярным направлениям и скручивая его по одному или по обоим из этих направлений."**

При этом оказывается, что **всегда существуют такие два направления, что для совмещения плоского элемента с элементом поверхности достаточно изгиба в этом направлении. Эти направления, очевидно, должны совпадать с плоскостями симметрии параболоида...**

Таким образом, **измерение как изгиба, так и кручения приводится к измерению кривизны элемента поверхности по некоторому направлению**" [33, № 9, с. 13].

Эту кривизну легко измерить с помощью колец Ньютона. В уравнение параболоида Вульф подставляет условие максимума (минимума) интенсивности при интерференции. Оно приводит к уравнению кривой второго порядка – круга, эллипса или гиперболы в зависимости от знака и величины коэффициентов. Поскольку в эти уравнения входят радиусы кривизны поверхности, то их можно найти, измеряя диаметры или хорды соответствующих колец.

Вульф считает, что удобнее измерять не диаметры, а хорды и для повышения точности полученных результатов необходимо использовать метод наименьших квадратов. Поэтому третья часть статьи специально посвящена применению метода наименьших квадратов для вычисления радиусов кривизны при помощи колец Ньютона. Здесь подробно описывается вся процедура применения известного метода, которая сопровождается примерами обработки реальных экспериментальных результатов.

В четвертой части статьи приводится вычисление случайных ошибок при измерении диаметров колец. Вульф сравнивает измеренные и вычисленные по методу наименьших квадратов квадраты хорд и определяет среднюю квадратичную ошибку. При этом абсолютная ошибка оказалась равной половине относительной ошибки. Ее легко найти из средних ошибок величин, определяющих квадраты хорд: $8\rho Z_0 = \pm 2,5\%$ и $4r\lambda = \pm 0,95\%$, где ρ – кривизна, Z_0 – расстояние от деформируемой поверхности до линзы и λ – длина волны света.

В пятой части статьи анализируются систематические ошибки при измерении диаметров колец Ньютона.

Вульф пишет, что Корню обратил его внимание на то, что измеряя диаметр или хорду кольца при помощи микрометрического приспособления, визируют геометрическую середину кольцевой полосы – темную или светлую, а не точку наибольшей или наименьшей яркости, которая и является оптической серединой полосы. В результате появляется систематическая ошибка – измеренный диаметр меньше действительного. Таким образом эта систематическая ошибка является положительной. Анализ с помощью рассмотрения изменения интенсивности кольца (закон Малюса) показал, что "для исправления измеренных диаметров или хорд к их квадратам надо прибавить квадраты ширины соответствующего кольца" [33, № 1, с. 35].

Здесь же Вульф приводит перечень способов уменьшения систематической ошибки: использовать кольца с большим диаметром, изменять экспозицию при фотографировании для получения большего контраста, уменьшать длину волны света.

Эта часть работы, как наиболее практически важная, была доложена Вульфом 22 сентября 1892 г. на заседании Физического отделения Русского физико-химического общества [28]. В этой же части статьи в качестве примера рассмотрена процедура обработки экспериментальных данных при разной экспозиции. И, что интересно, этот пример

навел Вульфа на мысль: проверить по яркости колец закон химического действия света – закон Бунзена–Роско:

$$q = Qit,$$

где q – количество выделившегося серебра (пропорциональное интенсивности света), i – яркость света, t – время его действия, Q – константа. Обработка экспериментальных результатов полностью подтвердила этот закон.

Для того чтобы выяснить, нет ли и других систематических ошибок, кроме рассмотренной выше, Вульф решил сравнить свои результаты с измерениями диаметров и хорд колец Ньютона независимыми методами, т.е. с помощью фокометра Лорана и отражательного рычажка Корню. Результаты такого сравнения приведены в шестой части статьи.

Фокометр Лорана представляет собой простейшую оптическую систему для измерения фокусных расстояний линз и не нуждается в специальном пояснении. Что же касается отражательного рычажка Корню, то это механическое приспособление для измерения кривизны выпуклых поверхностей. Рычажок – это пластина, на краях которой находятся два призматических выступа. Такие же призматические выступы, но меньшей длины, находятся точно в центре пластинки. Над ними, по другую сторону пластинки, укреплено вертикальное зеркало. Суть измерения кривизны состоит в следующей процедуре: на край измеряемой кривой поверхности устанавливается краевой выступ и рычажок опускается до касания поверхности средними выступами. По лучу света, отраженному от зеркала, измеряется угол. Точно такая же процедура повторяется с другой стороны измеряемой поверхности. По разности углов находится искомая кривизна.

Вульф измерил кривизну кварцевых линз, служивших ему для получения колец Ньютона, как методом Корню, так и рычажком и фокометром и убедился, что никаких других систематических ошибок, кроме учтенной, в его методике нет.

Специальную седьмую часть Вульф посвятил методу определения кривизны узких поверхностей. Дело в том, что на узких полосках стекла колец Ньютона мало и они менее четкие. Это приводит к большим ошибкам в измерениях. Поэтому Вульф разработал еще несколько методов определения кривизны таких поверхностей.

Первый метод сводится к измерению трех хорд одного кольца, отстоящих друг от друга на равных расстояниях. Для этого он изготовил специальную линзу, на плоской стороне которой вытравил прямоугольную сетку. Измерение трех хорд дало возможность находить отношения радиусов кривизны в двух перпендикулярных направлениях.

Неудобство этого метода состоит в том, что мельчайшие неровности измеряемой поверхности искажают вид хорд, поэтому Вульф разработал еще один метод – равнонаклонных и перпендикулярных диаметров. Суть метода состоит в выборе двух диаметров кольца, образующих или равные углы с поперечным направлением X измеряемой пластины или углы $\pm 90^\circ$. Обычным методом измеряют продоль-

ную кривизну ρ_y и кривизны в этих двух направлениях ρ_1 и ρ_2 . Поперечная кривизна ρ_x вычисляется с помощью теоремы Эйлера:

$$\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} = \frac{1}{\rho_x} + \frac{1}{\rho_y}.$$

Сравнение этих методов показало, что наихудшей точностью обладает метод трех хорд, а наибольшей простотой – метод перпендикулярных диаметров.

Однако наиболее точный метод, разработанный Вульфом, состоял в замене плоской вспомогательной пластины пластиной сферической, обладающей значительной кривизной. Для этого вместо плоско-выпуклой линзы Вульф использовал двояковыпуклую и вогнуто-выпуклую линзу с радиусом кривизны нижней поверхности 5–10 м. В такой оптической системе получалось множество мелких легко измеряемых колец Ньютона.

И все же, полученные перечисленными способами кривизны поверхностей нельзя считать абсолютными, так как их значения зависят от кривизны вспомогательной поверхности, а она никогда не бывает идеальной. Для получения абсолютных значений Вульф предложил использовать две вспомогательные поверхности, дающие три системы колец, из которых находят три суммы кривизны. Из этой системы трех уравнений легко найти каждую из кривизн.

Вульф нашел и еще один оригинальный метод. Он сконструировал изгибающуюся с помощью микрометрических винтов пластину и с ее помощью, меняя ее радиус кривизны, компенсировал изгиб измеряемой поверхности. Эти методики описаны в специальной восьмой части статьи.

И наконец, в девятой части приведены примеры измерения кривизны с помощью вспомогательной поверхности и весьма малых радиусов кривизны.

В заключение суммированы полученные результаты:

"1. Метод измерения радиусов кривизны поверхностей при помощи ньютоновых колец дает возможность измерять эти радиусы с точностью, которая может считаться весьма удовлетворительной, так как она достигает немногих десятых процента измеряемой величины.

2. Кроме случайных ошибок, которые зависят от небольших неровностей поверхности и от неточности микрометрических измерений и могут быть вычислены с помощью метода наименьших квадратов, на измерение хорд и диаметров колец влияет систематическая ошибка, зависящая от несовпадения геометрической середины кольцевых полосок с их оптической серединой, т.е. с местами максимумов и минимумов яркости. Эта ошибка зависит от ширины полос и устраняется принятием в расчет этой ширины.

3. Так как деформация поверхности, состоящая в изгибе или кручении, вызывает изменение кривизны поверхности, которое может быть измерено с помощью ньютоновых колец, то последние являются

весьма удобным методом измерения величины этих родов деформаций, а вместе с тем и упругости твердых тел.

4. Если ньютоновы кольца образуются между двумя кривыми поверхностями, то измерение их диаметров дает возможность определить сумму кривизны обеих поверхностей. При этом кольца становятся мельче и многочисленнее, чем в случае, если бы одна из этих поверхностей была плоская. Этим обстоятельством можно пользоваться для измерения очень малых кривизн, употребляя вместо плоской вспомогательной поверхности поверхность значительной кривизны.

5. Метод ньютоновых колец дает возможность определить абсолютную кривизну поверхности, т.е. кривизну, отнесенную к идеальной плоскости; для этого необходимо три (иногда две) комбинации трех поверхностей. Получающаяся система колец дает три (или две) суммы кривизны поверхности, по две взятые, что дает возможность вычислить абсолютную кривизну каждой поверхности" [33, № 2, с. 96].

Но на этом статья Вульфа не заканчивалась. В № 7 Известий он опубликовал "дополнительную заметку" к своей статье [34]. Она явилась ответом на замечание проф. И.А. Востокова, касающееся использования метода наименьших квадратов при анализе погрешностей метода, когда измеряемые хорды вводятся в квадрат и затем все вычисления проводятся с этими квадратами. Востоков, известный астроном, высказал сомнение в правомерности такой процедуры, так как при этом возводятся в квадрат и случайные погрешности, что приводит к увеличению ее суммарной величины.

Вульф в заметке показывает, что погрешность, возникающая при измерении хорды, обратно пропорциональна величине самой хорды. Это относится к двум источникам погрешностей: к неточности установки микрометра на геометрическую середину полосы кольца и к неточности, обусловленной влиянием неровности поверхности. "Поэтому, – пишет Вульф в заключение, – эти погрешности уравновешиваются умножением их на величину измеряемой хорды, что достигается возведением хорды в квадрат" [34, с. 4].

Мы остановились подробно на этой работе Вульфа, имеющей только методическое значение, потому, что она по-своему отражает его научный стиль. Мы уже неоднократно обращали внимание на методическую скрупулезность, характерную для всех научных работ Вульфа. В упомянутой статье она выражена наиболее полно. В ней Вульф предстает не только как искусный экспериментатор, но и как метролог, что совершенно несвойственно тогдашним физикам. Здесь, конечно, сказалось прямое влияние Корню, который, как мы знаем, уделял большое внимание физическим аспектам метрологии. Вульф проявил себя достойным учеником – анализ процедуры эксперимента с выявлением и анализом всех погрешностей проведен в этой работе блестяще. Такой подход Вульф сохранил и в своих дальнейших работах.

В Париже, благодаря Вернадскому, Вульф познакомился с семьей политических эмигрантов Гольштейнов [161]. Глава семьи Владимир Августович Гольштейн, врач, и его жена Александра Васильевна, литератор и переводчик русской литературы на французский язык, создали в своем гостеприимном доме в Париже нечто вроде русского клуба. По субботам Гольштейны устраивали литературно-музыкальные вечера, на которые собиралась русская молодежь, обучавшаяся в Париже. В этом доме Вульф познакомился с родственницей хозяев дома Верой Васильевной Якунчиковой.

Вера Васильевна родилась 23 ноября 1871 г. в богатой московской купеческой семье, известной своим меценатством [163]. Ее отец Василий Иванович Якунчиков серьезно увлекался музыкой, играл на скрипке. Он основал Русское музыкальное общество и был одним из организаторов строительства Московской консерватории.

Якунчиковы состояли в родстве с самыми известными прогрессивными купеческими семьями. П.М. Третьяков, основатель знаменитой картинной галереи, был женат на родной тетке Веры Васильевны. С.И. Мамонтов, основатель русской оперы, был ее дядя. К.С. Алексеев (Станиславский), основатель Художественного театра, тоже приходился ей дядей.



Вера Васильевна Якунчикова. Начало 90-х годов



Георгий Викторович Вульф.
Начало 90-х годов

Родственные узы связывали Веру Васильевну и с художественной интеллигенцией. Ее родная сестра Мария Васильевна Якунчикова-Вебер была известной художницей своего времени, ее картины украшают стены Третьяковской галереи. Другая сестра – Наталья Васильевна, тоже художница, была замужем за выдающимся художником, архитектором и композитором В.Д. Поленовым.

Сказанного достаточно, чтобы понять, что Вера Васильевна выросла в исключительно благоприятной атмосфере. У нее рано начали проявляться музыкальные способности и она готовилась к карьере профессиональной пианистки.

В 1888 г. Вера Васильевна с родителями приехала в Париж, она серьезно занимается музыкой и берет уроки у известного пианиста Шарля Ферстера. Успехи ее были настолько велики, что она участвовала в концертах вместе со своим учителем. Ей прочили будущее концертующей пианистки.

После отъезда родителей Вера Васильевна поселилась у своих родственников Гольштейнов. Там в 1889 г. и состоялась ее встреча с Г.В. Вульфом.

10 мая 1891 г. Вульф пишет Вернадскому из Парижа: *"Бываю часто у Гольштейнов, где музицируют. Деятельное участие там принимает молодая Якунчикова, из которой может со временем выработаться очень талантливая виртуозка-пианистка. Изредка принимаю участие в музыке и я"* [161, с. 3].

У молодых людей оказалось много общих интересов. Дело в том, что Вульф обладал неплохим голосом (баритонем) и еще в студенческие годы брал уроки пения. Работая в Мюнхене у Грота, Вульф учился у профессора Мюнхенской консерватории Хассельбека и участвовал в концертах, которые тот устраивал [164]. Общее увлечение серьезной музыкой способствовало сближению Веры Васильевны и Георгия Викторовича. Однако их браку мешала неопределенность положения Вульфа. Поэтому ему необходимо было как можно скорее защитить магистерскую диссертацию, чтобы претендовать на звание приват-доцента, дающее возможность материального обеспечения создаваемой семье.

Магистерская диссертация

1

Работая у Корню, Вульф решил воспользоваться командировкой "на стряпанье диссертации" [162]. Он скомпоновал ее из уже опубликованных в разное время и в разных журналах результатов своих исследований ряда псевдосимметричных кристаллов.

Термин "псевдосимметрия" – приближенная симметрия – в то время означал близость симметрии кристалла к кубической или гексагональной. Считалось, что в последнем частицы расположены в пространстве наиболее плотно [249].

Диссертация под названием "Свойства некоторых псевдосимметрических кристаллов в связи с теорией кристаллического строения вещества" в виде большой статьи была послана из Петербурга 3 февраля 1892 г. и в этом же году ее опубликовали в "Записках Императорского Санкт-Петербургского минералогического общества" [27].

Диссертация начиналась с краткого предисловия, в котором цель работы сформулирована как попытка "применить теорию строения кристаллов к решению некоторых частных случаев" [27, с. 65]. Сама же законченная теория строения кристаллов, "разработанная Шенфлисом и Федоровым появилась только, можно сказать, на днях" [27, с. 65] и поэтому в работе не используется. Вульф попытался найти решение поставленной им задачи в рамках существующих представлений о структуре кристаллов – пространственных решеток Браве и правильных систем точек Зонке.

Заканчивается предисловие извинениями за неизбежные промахи, "когда приходится пользоваться услугами наук, в которых не чувствуешь себя полным хозяином. А это именно и требуют многие вопросы современной минералогии, как науки пограничной с другими, решить которые можно только совместным применением математики, физики и химии. Это тем более трудно для натуралиста русской школы, потому что он вообще мало бывает знаком с физикой и сплошь и рядом совсем незнаком с математикой" [27, с. 66].

Эта сентенция не более чем проявление скромности. Она, конечно, мало относится к самому Вульфу – мы знаем, что он был хорошо подготовлен как в области математической кристаллографии (вспомним о его рефератах работ Федорова), так и в области физики, где им уже были выполнены собственные оригинальные исследования. Что же касается вообще "натуралистов русской школы", то здесь Вульф безусловно прав. Российская кристаллография того времени [206] была неотъемлемо связана с минералогией и в большинстве случаев довольствовалась описанием габитуса различных минералов, их симметрии и простых форм. Роль химии ограничивалась определением составов

минералов, а физика, если и привлекалась, то только для измерения плотности, твердости и показателей преломления. Эти константы вместе с кристаллографическими данными использовались для классификации и идентификации минералов. При таком подходе математика вообще не применялась.

Текст диссертации состоял из шести разделов.

Первый раздел – вводный. В нем излагается состояние исследований внутреннего строения кристаллов. Вульф начинает с теории кристаллов Р. Гаюи, которые состоят из многогранных молекул. Затем описывается главный физический принцип, лежащий в основе теории Браве, – принцип однородности. В формулировке Вульфа он звучит следующим образом: "Каждое свойство кристалла есть функция направления, причем свойство это по взятому направлению является постоянным, независимо от тех точек, в которых мы его исследуем" [27, с. 67]. Он подчеркивает, что принцип однородности не нарушается принципом периодичности свойств на молекулярных расстояниях, если рассматривать свойство кристалла на расстояниях больших, чем период молекулярной решетки. При этом наблюдаемое свойство будет средним свойством кристалла вдоль данного направления.

Исходя из принципа однородности, Браве нашел вид элементарных решеток, в узлах которых могли бы располагаться молекулы, составляющие кристаллы. Таких решеток, соответствующих по симметрии семи сингониям, оказалось 14. Их перемещение в параллельном положении по трем направлениям в пространстве создает бесконечные пространственные решетки кристаллов. По своей симметрии решетки Браве соответствуют лишь наивысшей симметрии (голоэдри) семи сингоний. В связи с этим Вульф обращает внимание на идею Ж. Делафоса, принятую Браве, как на путь, позволяющий распространить его выводы на все 32 вида симметрии. Суть идеи заключается в том, что "симметрия кристалла является результатом симметрии не только пространственной решетки, по узлам которой размещены центры тяжести молекул, но и симметрии самих молекул, которые могут быть уподоблены многогранникам, обладающим известной степенью симметрии" [27, с. 68].

Далее Вульф пишет о попытке Зонке построить теорию внутренней структуры кристаллов, исходя лишь из идеи пространственного расположения молекул без учета их симметрии. Зонке представлял кристалл как правильную бесконечную систему точек, такую, в которой вокруг каждой точки все остальные расположены точно также, как вокруг каждой другой. Он вывел все такие правильные системы (из оказалось 65), образованные только осями симметрии (простыми и винтовыми). Эту идею развили и дополнили Федоров и Шенфлис, включив в рассмотрение плоскости симметрии (зеркальные и скользящего отражения).

Вульф полагал, что работа Шенфлиса окончательно закрыла вопрос о геометрической пространственной структуре кристаллов. Но поскольку она имеет чисто математический характер, а Вульф намерен "коснуться физических основ теории и приложения ее к объяснению

строения некоторых кристаллов, наблюдаемых в природе" [27, с. 69–70], он ее не рассматривает, а останавливается на теории Федорова. Вульф определяет основные понятия этой теории: стереоэдр – многогранник, повторением которого можно заполнить пространство без промежутков, и параллелоэдр – стереоэдр, заполняющий пространство параллельным переносом. Вывод следующий: "расположение молекул внутри параллелоэдра может характеризоваться геометрической совокупностью стереоэдров, на которые данный параллелоэдр может разложиться. Соответственные точки всех стереоэдров будут составлять правильную систему точек, соответственные же точки всех параллелоэдров составлять пространственную решетку" [27, с. 70].

Собственно теорию пространственных групп Федорова Вульф не излагает (время ясного понимания ее еще не пришло), но вступает с ним в полемику относительно одного частного вопроса. По мнению Вульфа, Федоров, в отличие от других исследователей, придававших главное значение расположению частиц в пространстве, приписывает большую роль комплексам частиц, характеризующимся геометрическими параллелоэдрами. В связи с этим Федоров отмечает как недостаток теории Браве, что две пространственные решетки грани- и объемноцентрированная кубической сингонии не имеют полной симметрии самой сингонии.

Вульф на примере кубоктаэдра показывает, что его узлы и точки внутри этого параллелоэдра образуют гранецентрированную пространственную решетку Браве. Устранив это недоразумение, Вульф констатирует: "таким образом, можно утверждать, что в настоящее время у нас имеется стройная и законченная геометрическая теория строения кристаллов, которую остается приложить к отдельным частным случаям" [27, с. 73].

Этим выводом, собственно, и заканчивается теоретический обзор диссертации. В заключение раздела Вульф приводит сопоставление теорий Браве и Зонке в отношении важного для физического аспекта понятия однородности. Он показывает, что в отношении однородности пространственные решетки Браве являются частным случаем правильных систем. Это следует из того простого факта, что любой пучок прямых, вдоль которого физические свойства кристалла остаются постоянными, в решетках Браве совмещается с другим таким же пучком лишь в результате параллельного переноса, а в правильных системах еще и вращением. Кроме того, каждая правильная система состоит из нескольких вставленных друг в друга пространственных решеток, причем поступательные совмещения (трансляции) у них одинаковы.

"Мы скажем поэтому, – пишет Вульф, **что правильные системы точек представляют образы высшего порядка однородности и разлагаются всегда на пространственные решетки, которые могут быть названы образами низшего порядка однородности**" [27, с. 75]. Поэтому, если по своим физическим свойствам кристаллы соответствуют случаю однородности низшего порядка, то к объяснению их строения можно применять теорию Браве. Если же кристалл по своим физическим

свойствам обнаруживает высшую степень однородности, то теорию Браве можно рассматривать для этого случая лишь как первое приближение.

2

Что такое однородности низшего и высшего порядков Вульф объясняет во втором разделе диссертации. Он исходит из гипотезы Малляра, о которой мы уже говорили выше, в соответствии с которой кристаллы средних и высших сингоний можно представить как состоящие из совокупности (смешения) пространственных решеток низших сингоний. При кристаллизации смешение может быть полным или не полным, что и приводит к высшей или низшей однородности. Эти составляющие решетки могут существовать и самостоятельно, в этом случае кристалл является диморфным: одна его форма будет иметь однородность низшего порядка, другая – высшего.

Степень однородности, по мнению Вульфа, проявляется в физических свойствах. Кристалл с низшей степенью однородности является оптически аномальным. В чем состоит эта аномальность, автор не уточняет, однако он утверждает, что оптически активные кристаллы обладают высшей степенью однородности.

Далее в этом же разделе диссертации Вульф приводит свои ранние работы [4, 8], касающиеся оптической активности в части связи вращения плоскости поляризации света со строением кристаллов (рейшевы пластинки, неделимые Малляра, винтовые оси).

"Заручившись этими предварительными сведениями, – пишет в конце раздела Вульф, – мы можем короче формулировать нашу задачу. Имея какой-нибудь кристалл, строение которого мы желали бы выяснить, мы прежде всего должны решить, какую степень однородности он представляет. Если он ничем не обнаруживает своей высшей степени однородности, то мы можем остаться только в пределах теории Браве и приписать самим молекулам ту степень симметрии, которую требует внешняя форма и физические свойства кристалла. Если же есть возможность обнаружить высшую степень однородности в кристалле, то, привлекая к построению физические и геометрические свойства этого кристалла и его полиморфных разновидностей, если таковые окажутся, мы можем пойти дальше и попытаться указать правильную систему точек, выражающую в данном случае строение кристалла" [27, с. 83].

Третий раздел посвящен изучению морфологии и оптических свойств аномального кристалла сульфата бериллия. В разделе воспроизведена статья Вульфа [24], та часть, которая относится к этому кристаллу. В результате анализа морфологических и оптических свойств данного кристалла Вульф делает следующее заключение о его строении: "Вообразим себе, что каждый кристалл сернобериллиевой соли сведен до одной из тех наименьших групп молекул, которые образуют весь кристалл, располагаясь параллельно друг другу. Эту группу молекул можно представить себе заключенной внутри стерео-

эдра, подобного по форме октаэдру кристалла $\text{BeSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$; стереоэдры сложатся в ромбический додекаэдр, подобно тому как это происходит с целыми кристаллами. Такой додекаэдр будет параллелоэдром, из сопоставления которого в параллельном положении с другими ему равными, получится кристалл правильной системы" [27, с. 94–95].

3

В четвертом разделе рассматривается строение кварца. Вульф частично воспроизводит свои статьи [4, 12, 22].

Установление молекулярной структуры кварца Вульф считает, в целом, блестящим подтверждением теории правильных систем точек.

Эту структуру можно представить себе как состоящую из трех систем пар точек. Каждая система пар получается из другой винтовым поворотом на 120° . Точки одной пары совмещаются друг с другом поворотом на 180° вокруг оси второго порядка, проходящей в плоскости рисунка. Легко сообразить, что слой из двух плоских решеток одной системы, принадлежащей к моноклинной сингонии, может моделироваться одной рейшевской пластинкой. Каждые два слоя, совмещающиеся только при трансляции вдоль винтовой оси, могут считаться принадлежащими одному неделимому. Тогда весь кристалл кварца будет представлять собой полисинтетическое прораствание трех неделимых.

Из сопоставления простых форм кварца и моноклинных кристаллов, а также принимая во внимание его пьезоэлектрические свойства, Вульф делает вывод, что отдельные слои кварца должны принадлежать к моноклинной гемиморфии (класс 2). Этим выводом он ограничился в предыдущих статьях [4, 12, 22]. В диссертации Вульф пошел дальше. Он сопоставляет систему точек для одного слоя и найденную Зонке для класса 2 и констатирует их полное несовпадение. "Таким образом, – приходит он к выводу, – теория Зонке не объясняет нам всех особенностей строения кварца. Не объясняет их теория правильных систем точек даже и в том исправленном виде, в котором ее дали Е.С. Федоров и Шенфлис... Нам поневоле приходится прибегнуть к допущению диссимметрии молекул, стало быть вообразить в конце концов молекулу как особый многогранник, характеризующийся своей степенью симметрии. Этим мы вводим тот взгляд на молекулы, которого так хотела избегнуть теория правильных систем точек в начале своего появления. Оставаясь в пределах теории Браве, мы можем ограничиться признанием за кварцем высшего порядка однородности" [27, с. 105].

Следовательно, Вульф считает, что "причину гемиморфии в случае кварца остается искать только в форме самих молекул" [27, с. 106]. Для подтверждения диссимметрии молекул кварца автор ссылается на его упругие свойства. При этом он опирается на данные В. Фойгта, который наблюдал влияние несимметричности частиц кварца (по Фойгту – их полярность) на упругие свойства этого кристалла. Тем не менее конкретных данных Вульф не приводит.

В результате он приходит к заключению, "что расположение центров тяжести молекул в кристаллах этого минерала вполне характеризуется той из правильных систем точек, которую Зонке назвал сложной тройной винтовой системой; сами же молекулы должны быть явно несимметричны относительно плоскостей, перпендикулярных к побочным осям кристалла" [25, с. 109].

Попутно в этом разделе диссертации Вульф приводит некоторые замечания об упругих свойствах кристаллов вообще. Он пишет о количестве упругих постоянных и их возможном сокращении при условии, если упругие силы между частицами зависят только от расстояния между ними. Количество упругих постоянных и соотношения между ними, таким образом, могут служить способом, помогающим пролить свет на строение кристалла. В этой связи Вульф приводит свои, к тому времени не опубликованные данные (см. [33]) по измерению упругих свойств стекла методом Корню. В проведенных опытах отношение продольного растяжения к поперечному сжатию составило 0,23, хотя для изотропного тела оно должно быть равным 0,25. В связи с этим Вульф выражает сомнение в теоретических формулах, которые лежат в основе этого отношения.

В пятом разделе диссертации приведены результаты исследования морфологии и оптических свойств кристаллов двойного сульфата лития и калия. (Этот материал уже был опубликован в статьях [4, 24].) А также гониометрические данные, показатели преломления для трех длин волн, их температурная зависимость и углы поворота плоскости поляризации света. Отсюда следует вывод, что кристаллы KLiSO_4 обладают высшей степенью однородности. Однако Вульф считает, что еще слишком мало данных, чтобы с уверенностью указать ту правильную систему, которая характеризует расположение частиц этой соли. "Кристаллы KLiSO_4 , – заключает Вульф, – должны рассматриваться как вполне однородный образ высшей степени однородности, состоящий из такого смешения решеток кристаллов K_2SO_4 и Li_2SO_4 , при котором появляются винтовые оси" [27, с. 116].

Последний – шестой раздел диссертации посвящен строению кальцита. Здесь Вульф тоже частично использует свои ранее опубликованные результаты [23, 24].

Поскольку из-за отсутствия соответствующих физических данных не удалось доказать, что решетка двойного сульфата калия и лития состоит из тех же "кристаллических элементов, которые входят в состав кристаллов каждой из обеих сернокислых солей" [27, с. 117], Вульф обратился к кристаллам кальцита и арагонита, представляющих, по его мнению, аналогичный случай псевдосимметричных кристаллов.

Для доказательства он использует оптические свойства этих кристаллов, считая, что коль скоро кальцит и арагонит имеют один и тот же химический состав, то разные их оптические свойства обусловлены лишь различным строением пространственной решетки. В ранее опубликованных работах [23, 24] он полагал, что различия сводятся лишь к изменению плотности. В диссертации автор призна-

ет эту попытку неудовлетворительной, так как наложение решеток (гипотеза Малляра) происходит по всем направлениям и, следовательно, по всем направлениям меняется плотность заполнения пространства.

В диссертации Вульф приводит иное решение этой задачи. Он вычисляет средние показатели преломления кальцита и арагонита для того, чтобы избавиться от влияния анизотропии. Далее он выводит формулу для квадрата средней скорости распространения световой волны через величины главных осей эллипсоида скоростей и угол оптических осей. Отсюда вытекают формулы для квадратов следующих показателей преломления:

$$N^2 = \frac{\alpha^2 + \gamma^2}{2} + \frac{\alpha^2 - \gamma^2}{4} \left(1 - \frac{3}{2} \sin^2 W \right)$$

для двухосных кристаллов, и

$$N^2 = \frac{3\omega^2 + \varepsilon^2}{4}$$

для одноосных кристаллов.

Здесь α – наименьший и γ – наибольший показатели преломления двухосных кристаллов, W – угол внутренней конической рефракции, ω – обыкновенный и ε – необыкновенный показатели преломления одноосных кристаллов.

Далее, с помощью дисперсионной формулы Гельмгольца и предположения, что плотность эфира в теле не изменяется с изменением плотности тела, Вульф находит связь показателя преломления n с плотностью кристалла d :

$$n^2 - 1 = Ad,$$

где A – константа, имеющая одно и то же значение для всех тел. Затем Вульф вычисляет значения $N^2 - 1$ для арагонита и кальцита для разных длин волн. Среднее отношение этих величин $(N^2 - 1)_a / (N^2 - 1)_k = 1,059$. Отношение же плотностей кристаллов равно 1,077. Разница этих отношений укладывается в пределы ошибки при измерении плотности.

Отсюда Вульф делает следующий вывод: "Поэтому мы можем сказать, что в пределе ошибок наблюдения эти отношения равны между собой, что ведет к следствию, что **арагонит представляет агрегат тех же частиц, что и кальцит, и оба минерала отличаются друг от друга только плотностью и степенью симметрии в расположении частиц в пространстве**" [27, с. 126].

Поскольку симметрия частиц арагонита не известна, Вульф принимает ее равной симметрии самого кристалла, т.е. относит к классу 222. Эти частицы должны располагаться в структуре кальцита таким образом, чтобы появилась ось 3-го порядка, что иллюстрируется

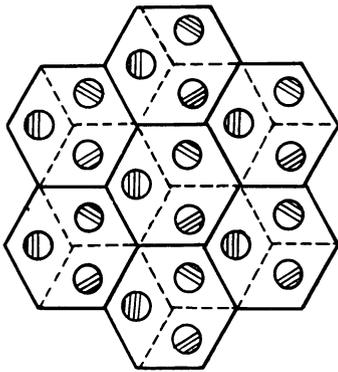


Рис. 1

соответствующей схемой (рис. 1). На схеме каждая частица, изображенная заштрихованным наполовину кружком, помещена внутри ромба, отвечающего одному кристаллу арагонита. Три смежных ромба, составляющих шестиугольник, обведенный сплошным контуром, соответствуют тройнику арагонита. Ромбы представляют стереоэдры, а шестиугольники – параллелоэдры Федорова.

Эта схема позволила Вульффу сформулировать некое общее заключение по поводу образования правильных систем точек из отдельных решеток:

"Для образования полиморфной разности высшей симметрии отдельные кристаллические частицы полиморфной разности нижней симметрии группируются друг около друга так, как группируются друг около друга целые кристаллы последней" [27, с. 130].

Этим заключением диссертация Вульфа заканчивается.

Как мы видим, работа является типичной дорентгеновской попыткой выяснить внутреннее строение кристаллов. Эта попытка, конечно, не могла привести к цели в своей фактической сущности. Ведь предположения о микроскопической структуре кристаллов строились на основе макроскопических свойств при отсутствии достоверной связи между этими двумя сторонами единого феномена. К макроскопическим свойствам можно отнести прежде всего химический состав, морфологическую симметрию и некоторые оптические свойства. Микроскопическую структуру пытались описать пространственные решетки Браве и правильные системы точек Зонке. Ни тот, ни другой подход не оказался полным – окончательное свое решение проблема расположения частиц в кристаллах нашла только в теории пространственных групп симметрии Федорова–Шенфлиса. Но и эта теория, взятая в чистом виде, оказывается бессильной без непосредственных рентгеноструктурных данных. Только они дают пространственную симметрию изучаемого кристалла и, следовательно, расположения частиц в пространстве; только они дают расстояние между частицами, уточняя конкретную архитектуру кристалла. Вульффу повезло дожить до рождения рентгеновской кристаллографии и внести свой весомый вклад в ее становление.

Рассмотренная магистерская диссертация интересна не столько результатами, сколько подходом.

Вульф одним из первых кристаллографов стал широко использовать в попытках решения проблемы структуры кристаллов физические свойства. Оптическая активность сразу указывает ему на винтовое расположение частиц в структуре. Пьезоэлектрические и упругие свойства привлекаются им для суждения о симметрии струк-

турных единиц. Более того, при рассмотрении структуры кальцита и арагонита Вульф переходит уже на "микроскопический" уровень, используя связь показателей преломления с силами, действующими между частицами в кристаллах и между частицами и эфиром (светом).

Все это говорит о том, что Вульф уже выработал свой собственный подход к проблеме структуры кристаллов, подход, который он развивал и в своих дальнейших работах.

4

25 мая 1892 г. Г.В. Вульф успешно защитил магистерскую диссертацию. Официальными оппонентами на защите выступали профессор А.Е. Лагорио и В.П. Амалицкий [250]. 6 июня Ученый совет Варшавского университета присвоил Г.В. Вульфу степень магистра минералогии и геогнезии [251]. Сразу после защиты Вульф отправляется в Париж, где его ждет Вера Васильевна.

12 июня 1892 г. он пишет Вернадскому: *"До сих пор я не известил Вас об одном обстоятельстве – у меня в Париже невеста – Вера Васильевна Якунчикова, которую Вы знаете, хотя очень, конечно, поверхностно. Теперь я в Париже и счастлив около своей Веры... Проездом через Варшаву я защитил свою диссертацию. Что со мною будет, получу ли я осенью что-нибудь определенное в смысле профессорской деятельности, я не знаю... Я сел за эту записку только для того, чтобы поделиться с Вами этими двумя событиями моей жизни, которые с избытком вознаграждают меня за все невзгоды и заставляют бодро и с надеждой на счастье смотреть в будущее"* [161, л. 5].

Вера Васильевна и Георгий Викторович обвенчались в Париже в русской православной церкви. Перед молодоженами встал вопрос, где устраивать совместную жизнь. Решение было принято в пользу Варшавы, потому что, как пишет Вульф в своих воспоминаниях, "им не по средствам будет жить в Москве среди богатой родни Веры Васильевны, так как Юрий Викторович зарабатывал немного, а Вера Васильевна тоже получала от отца сравнительно очень мало" [164, л. 62].

Однако, кажется, что эта причина была не главной. Защитив магистерскую диссертацию, Вульф вполне мог рассчитывать на успешную педагогическую карьеру в Варшавском университете. Получить же хорошее место в Московском университете для молодого ученого было очень трудно.

К осеннему семестру 1892 г. молодые супруги Вульф обосновываются в Варшаве, они снимают скромную квартиру на Пенкной улице.

19 октября Вульф представил Ученому совету свою пробную лекцию для получения звания приват-доцента. Лекция была посвящена новой и необычной для аудитории теме – жидким кристаллам.

Жидкие кристаллы были открыты совсем недавно в 1888 г. [252]. Австрийский химик Ф. Рейнитцер в том же году наблюдал странное плавление органического эфира холестерилбензоата. Прежде чем

расплавиться в изотропную жидкость, холестерилбензоат переходит в оптически анизотропный мутный расплав. Рейнитцер счел анизотропную фазу загрязненным твердыми кристалликами расплавом и послал свои препараты для дальнейшего исследования крупнейшему специалисту по микроскопии немецкому физику О. Леману. В результате тщательного изучения холестерилбензоата, а также п-азоксианизола, п-азоксифенетола и анизалазоксифенетола, присланных немецким химиком Л. Гаттерманом, Леман установил, что все эти вещества являются совершенно чистыми, а анизотропные мутные расплавы – это новые термодинамически устойчивые фазы с упорядоченным расположением анизометрических молекул. Исследованные вещества Леман назвал жидкими кристаллами благодаря сходству их оптических свойств (оптическая анизотропия) с твердыми кристаллами.

Лекция Вульфа называлась "О жидких кристаллах и о начальной стадии кристаллизации". Под этим названием ее опубликовали в "Варшавских университетских известиях" в 1893 г. [31].

Как видно из названия лекции, жидкие кристаллы интересовали Вульфа не только сами себе. В это время сферой его научных интересов становится проблема образования кристаллов, и в жидких кристаллах Вульф увидел модель, позволяющую проследить за начальной стадией зарождения кристаллов.

В начале лекции Вульф подробно излагает содержание статьи Лемана [253] о жидкокристаллических свойствах азоксисоединений. Леман смешивал жидкие кристаллы с канифолью или канадским бальзамом и кристаллизовал эту смесь при температуре образования анизотропной фазы. При этом жидкие кристаллы выделялись из смеси в виде сферических капель, изучение этих капель в поляризованном свете показало, что они оптически анизотропны. По своим оптическим свойствам капля аналогична твердому оптически одноосному кристаллу.

Как кристаллограф Вульф определяет симметрию капель: "Она характеризуется: 1) главной осью симметрии бесконечного порядка, проходящей через оба полюса капли. Это значит, что каплю можно совместить с самой собой, вращая ее на произвольный угол (бесконечно малый, конечный или бесконечно большой) около этой оси симметрии, и 2) главной плоскостью симметрии, перпендикулярной к вышеуказанной оси симметрии. Заметим тут же, что такой симметрии, чтобы ось была бесконечно большого порядка, в твердых кристаллах нет" [31, с. 4].

Исходя из таких оптических свойств строение капли жидких кристаллов можно представить таким образом: анизометрические молекулы расположены по меридианам, которые Вульф называет структурными линиями, причем все длинные оси молекул ориентированы в одну сторону. Отсюда следует вывод: "лемановская капля есть образование **неоднородное в кристаллографическом смысле**... Но если лемановские капли и не могут быть сочтены за кристаллические образования, и к ним нельзя применить законов кристаллографии, то

не трудно показать, что их изучение должно весьма существенным образом влиять на прогресс кристаллографии и выяснить многие основные вопросы, касающиеся свойств и образования твердых кристаллов" [31, с. 10].

Далее в лекции следует оригинальная часть. "Я попытаюсь показать, – пишет Вульф, – что непосредственным следствием лемановского открытия должно быть расширение нашего знания о первых стадиях кристаллизации и решение вопроса о том, выделяется ли из раствора кристалл в его окончательной полиэдрической форме, или же эта форма приобретает со временем, а начальная стадия имеет совсем другие свойства" [31, с. 10–11].

Вульф рассуждает следующим образом. Зародыш твердого кристалла подвержен действию двух сил: силы упругости между его частицами, которые стремятся придать зародышу многогранную форму, и капиллярных сил поверхностного натяжения, заставляющих зародыш принять шарообразную форму и расположить его частицы так, как они располагаются в капле жидкого кристалла. На самой ранней стадии кристаллизации, когда частиц в зародыше мало, силы упругости слабы и преобладают капиллярные силы, стремящиеся сделать зародыш шарообразным. "Таким образом, – заключает Вульф, – мы необходимо приходим к заключению, что всякий кристалл при своем возникновении должен существовать в виде лемановской капли" [31, с. 12].

В заключение лекции Вульф обращает внимание на еще один важный вывод, к которому приводят свойства жидких кристаллов. Речь идет о многократно дискутировавшемся кристаллографами вопросе о причинах двупреломления кристаллов. Существуют две точки зрения. Первая – двупреломление обусловлено симметрией пространственной решетки, вторая – двупреломление обусловлено симметрией самих частиц. По мнению Лемана и Малляра, к которому присоединяется и Вульф, справедлива вторая точка зрения, которая находит свое подтверждение в сильном двупреломлении жидких кристаллов, веществ, у которых пространственная решетка отсутствует вовсе.

Эта крайняя точка зрения просуществовала до того времени, когда рентгеноструктурный анализ выявил истинное внутреннее строение кристаллов. Стало очевидным, что оба фактора – и решетка, и поляризуемость структурных единиц вносят свой вклад в оптическую анизотропию кристаллов.

5

Вульф получил звание приват-доцента и 7 ноября 1892 г. Ученый совет допустил его к чтению лекций по минералогии "в качестве приват-доцента без содержания" [254].

Этот год был для Вульфа достаточно хлопотным – женитьба, подготовка диссертации к печати, лекция о жидких кристаллах, подготовка к чтению лекций. Поэтому он не опубликовал в этом году ни одной оригинальной работы. Кроме уже перечисленных выше (диссертации и

лекции), Вульф опубликовал в "Записках минералогического общества" лишь небольшую заметку [26], в которой дал простой аналитический вывод некоторых формул, приведенных в статье Федорова "Этюды по аналитической кристаллографии". Речь идет о формуле преобразования систем координат в пространстве (уравнение проективности Федорова) и о формуле, позволяющей вычислить кристаллографические индексы любого элемента (ребер или плоскостей) кристалла в предположении, что кристалл принадлежит к правильной (кубической) системе.

Семейная жизнь складывалась не без проблем. После Парижа, насыщенного выставками и концертами, с музыкально-литературными салонами, жизнь в провинциальной Варшаве для Веры Васильевны показалась скучной и серой. В своем дневнике [255] она пишет об этом периоде: "Я вышла замуж. Варшава. Провинциально-унылая среда профессоров, обособленность жизни русских среди недружественного населения. Внешне удобная жизнь в культурных условиях изящного западного города, но благодаря неслиянию поляков с русскими, внутренне глухая и скучная".

Муж хорошо понимает состояние Веры Васильевны. В своих воспоминаниях о ней [164] он пишет: "Варшава могла удовлетворить и то отчасти лишь музыкальный интерес Веры Васильевны, так как через нее проезжало много артистов в Москву и Петербург, но активного участия в этой жизни принять не могла, так как не было средств устраивать у себя музыкальные вечера. Местные большие музыканты – Падеревский, Сливинский и другие жили за границей и в Варшаве лишь наездами. Сближению с Варшавским музыкальным миром мешала русско-польская рознь. Вера Васильевна польским языком не владела, по-русски в польском обществе говорить было нельзя, приходилось отказываться от общения с Варшавским польским обществом, русское же общество было провинциально замкнуто. В мире художественном было еще меньше удовлетворения. Изысканный вкус и склонность к аффектации польских художников были не по натуре Веры Васильевны, да и лучшие польские художники Матейко, Симирадский и другие не жили в Варшаве. Музеи были бедны. Веру Васильевну тянуло из Варшавы за границу или в Москву, и она при первой возможности туда уезжала. В Варшаве был у нее ряд близких друзей и знакомых, но это был ряд лиц, к которым Вера Васильевна чувствовала личную симпатию" [164, л. 62].

Об этих близких друзьях Вульф упоминает в письме к Вернадскому от 28 декабря 1894 г.: "*Живем мы отдельной жизнью от профессуры, среди которой у нас есть два семейства хороших людей – Лагорио и Сомовы, с которыми мы близки; с остальными же сойтись нельзя, не поступившись убеждениями. Бывают у нас преимущественно молодые университетские, из семинаристов – почти все очень хорошие люди. К сожалению половину этих людей упрятали жандармы в цитадель*" [162, л. 8].

В связи с последней фразой этого письма необходимо сказать несколько слов о социально-политической обстановке в те годы в Варшаве.

Как хорошо известно, Польша вошла в состав Российской империи отнюдь не добровольно и на протяжении всей своей истории боролась за суверенитет и независимость. Борьба принимала разные формы: от крайних – вооруженных восстаний, до цивилизованных – бойкота русских товаров, русской церкви, праздников и, конечно, языка.

В то предреволюционное время антагонизм между поляками и русскими нарастал с каждым годом. Польское общество демонстративно изолировалось и как могло боролось против принудительной русификации.

Особенно остро этот конфликт ощущался в Варшавском университете, где и студенты и профессура оказались расколота на два лагеря – сторонников и противников русификации. Вульф принадлежал к немногочисленным сторонникам превращения Варшавского университета в истинно польский университет. Поскольку он не считал возможным скрывать свои взгляды, то находился в постоянной конфронтации с наиболее реакционными профессорами и, разумеется, с администрацией университета. Это и привело, как видно из цитированного письма, к формированию собственного кружка близких по взглядам людей, общение с которыми не противоречило его убеждениям.

В следующем 1893/94 учебном году Вульф должен был читать студентам 2, 3 и 4-го курсов совместно специальный курс об изоморфизме и полиморфизме кристаллов по два часа в неделю [254]. Однако к чтению лекций он приступил лишь с весеннего семестра, так как с 15 апреля 1893 г. по 1 января 1894 г. находился в заграничной командировке – работал у проф. Шрауффа в Вене [256]. Летние каникулы он использовал для участия в работе Международного конгресса геологов и минералогов в Цюрихе [257].

В 1894/95 учебном году педагогическая нагрузка Вульфа несколько возросла. Он читал для студентов 2, 3 и 4-го курсов естественного отделения необязательный специальный курс по кристаллографии (о явлениях кристаллизации) совместно по часу в неделю в обоих семестрах [258]. Кроме того, он проводил обязательные практические занятия по кристаллографии со студентами 2-го курса естественного отделения по 2 часа в неделю в обоих полугодиях "сообразно с читаемым курсом под наблюдением проф. Лагорио с выдачей Вульфу вознаграждения в 300 рублей из остатков от специальных средств" [259].

В 1894 г. Вера Васильевна родила сына Владимира. Он унаследовал от матери музыкальные способности и благодаря постоянной ее опеке и хорошим учителям стал профессиональным пианистом.

Второй сын Борис появился на свет в 1896 г. Вера Васильевна прививала и ему любовь к музыке, но истинным призванием Бориса стала живопись. Хотя художественные способности проявились уже в зрелом возрасте – к тридцати годам, когда после войны и революции он оказался за границей.

Докторская диссертация

1

Удивительно, но после магистерской диссертации и других работ, посвященных в основном оптическим свойствам кристаллов, Вульф обратился к совершенно новому для себя разделу кристаллографии – к росту кристаллов. Этой теме он посвятил свое новое исследование, явившееся наиболее важной работой варшавского периода.

Предварительные сообщения об этом были доложены на заседании секции физики и химии Варшавского общества естествоиспытателей 20 и 25 апреля 1895 г. и напечатаны в Трудах общества [36, 38]. Работа под названием "К вопросу о скоростях роста и растворения кристаллов" была опубликована в пяти номерах "Варшавских университетских известий" в 1895–1896 гг. [37] и в 1901 г. в журнале "Zeitschrift für Kristallographie" [57].

Как пишет автор в предисловии, эта работа была выполнена в рекордно короткий срок – за два года. "Быть может покажется удивительным, – пишет он, – что я теперь излагаю результаты такой работы, для исполнения которой два года могли бы быть слишком коротким сроком, так как относящиеся сюда опыты надращивания кристаллов должны поглощать много времени. Я и сам в начале работы не надеялся так скоро прийти к каким-нибудь положительным результатам, достойным внимания; мне помог удачный выбор материала. Двойные сернокислые соли $Zn(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ и $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ (Моровская соль), над которыми я производил опыты, принадлежат к самым легко и хорошо кристаллизующимся веществам. Такой благоприятный материал и ведение многих опытов одновременно доставили мне возможность значительно сократить срок работ" [37, с. 17]*.

Названные кристаллы изоморфны, принадлежат к моноклинной сингонии и характеризуются богатством простых форм, что очень важно при экспериментах по определению скорости роста граней. Они, как нельзя лучше, подходили для реализации оригинального методического приема, придуманного Вульфом.

Дело в том, что кристаллы цинковой соли бесцветны, а моровской соли – голубовато-зеленые. Вульф решил использовать кристаллы цинковой соли в качестве затравок, наращивая на них голубовато-зеленые кристаллы моровской соли. Это оказалось возможным, поскольку растворимость цинковой соли почти в два раза меньше растворимости железной соли.

* Цитируется по: Вульф Г.В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952.

Такой методический прием оказался весьма удачным. Выращенные кристаллы представляли собой, по образному выражению Вульфа, бесцветные "ядра", обросшие голубовато-зеленой "корой". Для измерения толщины "коры" с помощью микроскопа кристалл приходилось распиливать перпендикулярно ребру грани, скорость роста которой определялась, и срез тщательно полировать.

Однако собственно измерениям предшествовало выяснение еще одного вопроса. Дело в том, что в растворе, в котором находится растущий кристалл, происходит постоянное движение вещества. В обедненный веществом слой раствора, непосредственно прилегающий к кристаллу, диффундирует более концентрированный раствор и благодаря этому соседний с поверхностью кристалла слой раствора становится снова способным отложить на кристалл слой твердого вещества. Однако, если кристаллизация происходит энергично, то диффузия не успевает подносить вещество, и слой раствора, прилегающий к кристаллу, может стать настолько легким, что поднимется вверх, а на его место поступает новая порция более концентрированного раствора.

Таким образом, над растущим кристаллом образуется перепад давления, являющийся причиной восходящих потоков над кристаллом и нисходящих потоков, направленных горизонтально. Возникает так называемый концентрационный поток. Совершенно ясно, что в присутствии концентрационных потоков симметричный рост кристалла невозможен. "Потоки, – писал Вульф, – являются, так сказать, направлениями роста" [37, с. 24].

В связи с этим Вульф счел необходимым тщательно исследовать концентрационные потоки, поскольку до него по этому вопросу имелись лишь качественные соображения. Он воспользовался теньвым методом Теплера, суть этого, хорошо известного метода наблюдения оптических неоднородностей, состоит в следующем. Объект освещается точечным источником света, который затем фокусируется на край непрозрачного экрана с острой кромкой. Если в объекте нет оптических неоднородностей, то все идущие от него лучи задерживаются экраном. Оптические же неоднородности, показатели преломления которых отличаются от показателей преломления изучаемого образца, будут сильно отклонять лучи, которые и пройдут выше экрана. Тогда оптические неоднородности будут визуализироваться в виде ярких пятен на затемненном фоне.

Вульф использовал цилиндрический катализатор диаметром 2 см, который, кроме своего непосредственного назначения, являлся еще цилиндрической линзой. Кристаллизатор *K* (рис. 2) помещался на платформе *A* и мог вращаться вокруг своей оси между диафрагмой *dd* и двумя кусочками дерева *aa*. Кристаллизатор фиксировали две пружины *SS*. Сама платформа *A* помещалась на столике *B* и могла передвигаться взад и вперед по прорезям *hh* и стопориться винтами *mm*. Это позволяло перемещать кристаллизатор относительно экрана *e*, прикрепленного к столику *B*. Экран *e* перемещался в пазах *g* с помощью винта *p*, но его край находился на отдельной пластинке *e*¹, которую

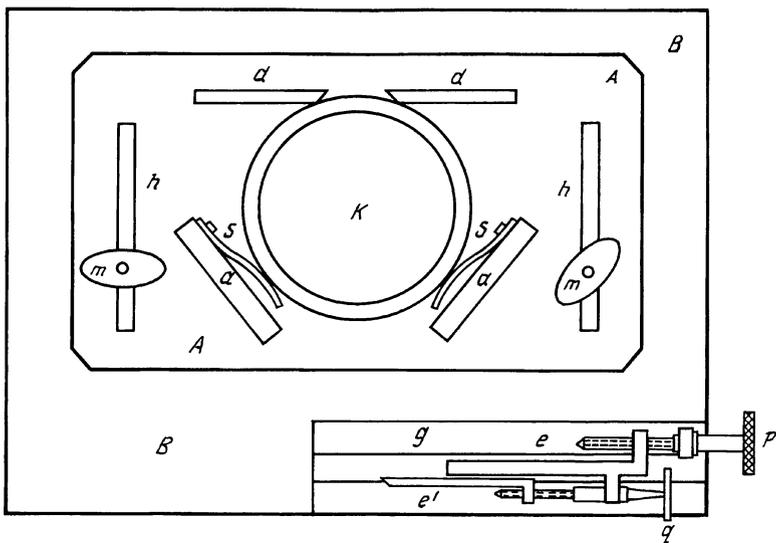


Рис. 2

можно было наклонять с помощью винта q для того, чтобы край экрана был установлен параллельно изображению щели.

Эту и другие установки, использованные в работе, Вульф сделал собственными руками, что подчеркнул специально: "Считаю необходимым сообщить, что все описываемые мною приборы или их части, как для опытов с концентрационными потоками, так и для опытов с вращающимися кристаллизаторами, сделаны мною собственноручно. Искусству делать приборы для опытов простыми средствами из дерева, латуни, жести, стержней, трубок, проволоки и т.п. материалов я всецело обязан моему парижскому учителю А. Корню. Это весьма простое искусство имеет неоцененные выгоды для экспериментатора. Не говоря уже о громадном сбережении средств и времени, трата которых сопряжена с заказами механику, наиболее ценным является полное сознание того, что сделано, знание всех достоинств и недостатков сработанного прибора, являющегося как бы частью самого экспериментатора" [37, с. 28].

Вот такое отношение к экспериментальной установке как к "части экспериментатора" характерно для всей научной деятельности Вульфа. Как мы увидим далее, практически все нестандартные приборы, использованные в своих экспериментах, были созданы его руками. Им же делались прекрасные демонстрационные эксперименты и учебные пособия.

Однако вернемся к исследованию концентрационных потоков, где концентрация вещества заметно выше, чем в остальном растворе и поэтому их показатель преломления отличается от показателя пре-

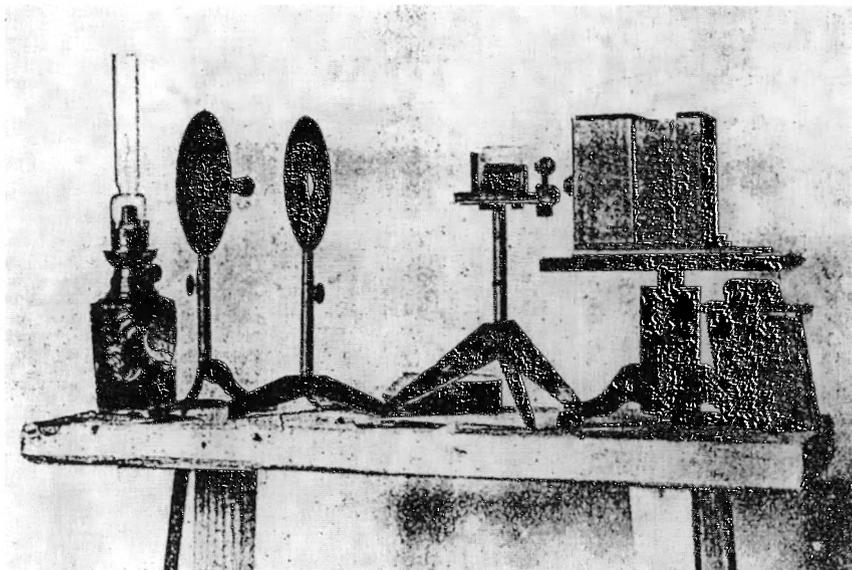


Рис. 3

ломления раствора, т.е. концентрационные потоки и есть те оптические неоднородности, которые так хорошо наблюдаются с помощью метода Теплера. Изображение потоков Вульф фотографировал с помощью микроскопического объектива. Общий вид этой установки (рис. 3) Вульф поместил в своей научно-популярной статье в журнале "Природа" [114].

Все эксперименты проводились с кристаллами цинковой соли. В результате экспериментов были получены результаты принципиальной важности:

1) **"При слабых концентрационных потоках кристалл растет гораздо правильнее, чем при сильных"** [37, с. 30].

Это хорошо просматривается на фигурах, приведенных на рис. 4. На кадрах 1–4 концентрационные потоки слабы и кристалл имеет форму с правильными плоскими гранями, пересекающимися под прямыми углами. С кадра 5 концентрационные потоки усиливаются, что сопровождается искажением формы кристалла. На кадре 10 эти искажения уже достигают максимума – потоки приобретают бурный характер.

2) **"Концентрационные потоки стремятся округлить кристалл"** [37, с. 31].

Действительно, пересыщенный тяжелый раствор поступает к нижней части боковых граней кристалла, откладывая на них часть вещества, и поднимается вверх, увлекая за собой концентрационные потоки, поступающие к верхним частям граней. Таким образом, верхние части боковых граней питаются меньше, чем нижние, что и приводит к появ-

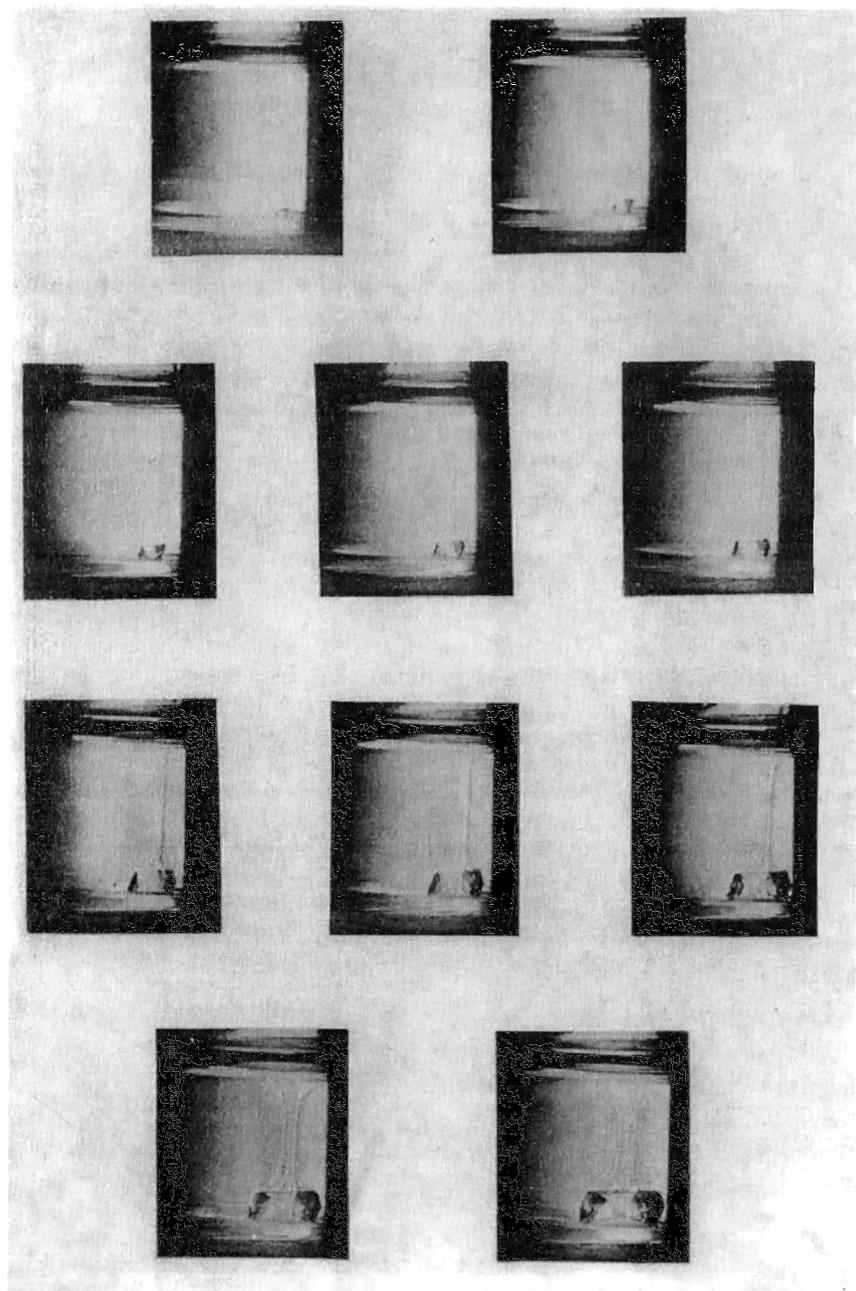


Рис. 4

лению ступенчатых граней с тупыми углами и округлению граней кристалла.

3) **"Снимки 1–10 на таблице (рис. 4) дают возможность составить правильное понятие о так называемом кристаллизационном потоке"** [37, с. 32].

До сего момента под кристаллизационным полем (Krystallisation-shot – дворик кристаллизации) понимали некоторое расплывчатое пятно, в центре которого находился растущий кристалл, отличающееся по прозрачности от остального раствора. Наблюдения, проведенные Вульфом, позволили точно определить кристаллизационное поле как слой раствора, который непосредственно прилегает к кристаллу, питает его и дает начало концентрационным потокам. На фигурах (см. рис. 4) раствор хорошо просматривается в виде тонкой светлой полоски у самого контура кристалла.

4) **"Концентрационные потоки обуславливают появление вицинальных граней"** [37, с. 32].

Кристаллографы называют вицинальными гранями или просто вициналями плоские или криволинейные участки на естественных гранях, отличающиеся от них небольшим наклоном. Вульф показал, что расположение вицинальных граней зависит от интенсивности концентрационных потоков, от направления потоков относительно нормального положения граней и от формы граней, которые определяются симметрией кристаллов.

5) **"Пределы роста"** [37, с. 33].

Вульф показал, что концентрационными потоками легко объяснить, почему кристалл перестает расти, несмотря на то, что окружающий его раствор сильно пересыщен. Он отмечает, что по мере уменьшения концентрации раствора обедненному слою раствора, непосредственно прилегающему к кристаллу, все труднее подниматься вверх, о чем свидетельствует укорочение струи концентрационного потока. Поэтому, когда слой обедненного раствора вовсе перестает подниматься вверх (концентрационный поток прекратился), кристалл вынужден будет расти лишь за счет диффузии вещества раствора. Последний процесс очень медленный, поэтому рост кристалла практически прекращается.

6) **"Скорость роста граней зависит от их наклона к горизонту в маточном растворе"** [37, с. 35].

На примере цинковой соли Вульф показал, что грани, составляющие с плоскостью дна кристаллизатора острые углы, растут быстрее, чем грани, составляющие тупые углы, так как там концентрационные потоки застаиваются и отложение соли на грани идет интенсивнее. Эти результаты позволили Вульфу сделать важный вывод, положенный им в основу дальнейших исследований скорости роста граней кристаллов: **"Сравнение скорости роста различных граней возможно лишь в том случае, когда сравниваемые грани одинаково ориентированы относительно направления концентрационных потоков"** [37, с. 36].

Вульф измерил относительные скорости роста граней. Так скорость роста грани (110) измерялась относительно скорости роста грани (20 $\bar{1}$), которая принималась за единицу, граней (001) и (11 $\bar{1}$) – относительно грани (110), грани (011) – относительно граней (001) и (011), грани (111) – относительно грани (110)*.

Вульф провел множество опытов и сделал следующие выводы:

"1. В скоростях роста отдельных граней кристаллов моровской соли наблюдается большое разнообразие.

Действительно, все добытые величины для отдельных граней предполагаются между 1,00 (для грани (201)) и 2,77 (для грани (011)). Обе скорости разнятся почти в три раза.

2. Все грани кристаллов моровской соли можно расположить по возрастающей величине скорости роста в следующем порядке:

(20 $\bar{1}$), (110), (001), (111), (11 $\bar{1}$), (011)" [37, с. 66].

Сравнивая относительные скорости роста граней кристалла с ретикулярной плотностью этих граней в предположении, что молекулы в моровской соли расположены почти по кубическому закону, Вульф нашел, что **"скорость роста граней кристалла моровской соли увеличивается по мере возрастания площади образующего параллелограмма или, что одно и то же, по мере уменьшения ретикулярной плотности грани"** [37, с. 67].

Вывод подтверждается известным фактом, что у кристаллов чаще всего наблюдаются грани с простыми индексами, грани же со сложными индексами встречаются редко. Последние обладают большей скоростью роста и быстро зарастают.

Изучив основные закономерности роста граней кристаллов, Вульф "задался целью сравнить с этими скоростями скорости растворения кристаллов той же соли на различных гранях с целью открыть соотношение между теми и другими скоростями" [37, с. 68]. До него эту проблему пытались решить Ф. Бекке [260] и О. Леман [261]. Бекке изучал травление флюорита в серной кислоте и в растворе соды. Он пришел к выводу, что грани, скорости роста которых малы, имеют и небольшие скорости растворения. Леман, обобщая ранее известные опыты, тоже приходит к аналогичному выводу. Однако Вульф считает, что эти соображения, основанные лишь на наблюдении фигур травления, носят, в основном, качественный характер. Поэтому он предпочитает прямые опыты по измерению скорости растворения граней кристаллов в условиях, допускающих полное сравнение с их скоростями роста. Для этого, считает Вульф, необходимо соблюсти следующие условия:

"1. Растворение должно происходить в маточном растворе, который для этого надо сделать несколько недосыщенным.

2. Степень недосыщения маточного раствора должна соответство-

* Индексы граней даны в моноклинной установке. – Прим. А. С.

вать степени пересыщения того же раствора при опытах над скоростью роста " [37, с. 71].

Опыты производились следующим образом. Из кристалла вырезались пластинки, параллельные соответствующим его граням, и отшлифовывались до нужной толщины и плоскопараллельности. Они помещались в недосыщенный раствор, налитый в колбу, которая непрерывно встряхивалась. По прошествии некоторого времени (3–6 мин.) пластинки извлекались из раствора для измерения толщины.

Как и в опытах по скорости роста, измерялись относительные скорости растворения разных граней кристалла. В результате были получены неожиданные результаты. Если принять за единицу скорость растворения грани ($20\bar{1}$), то относительные скорости растворения других граней находились в пределах от 0,93 до 1,17. Таким образом, все полученные грани растворялись примерно с одной скоростью. Если же сравнивать скорости роста и скорости растворения, то никакой явной взаимосвязи не наблюдалось.

"Таким образом, – писал Вульф, – из моих опытов над скоростями роста и растворения граней кристаллов моровской соли следует, что никакой взаимосвязи между теми и другими скоростями не существует: сильное различие в скоростях роста сопровождается почти одинаковой скоростью растворения на гранях кристалла" [37, с. 83–84].

Данный результат показался Вульфу подозрительным и он предпринял новые опыты по проверке как скорости растворения, так и скорости роста. Первой причиной возможной ошибки в опытах по растворению Вульф считал недостаточную концентрацию недосыщенного раствора. Поэтому он повторил опыты с раствором очень близким к насыщению. При этом растворимая пластинка двигалась в длинной трубке с раствором, которая приводилась во вращение. Но результаты остались прежними.

Тогда Вульф решил проверить свои результаты по измерению скорости роста граней в условиях полного отсутствия концентрационных потоков. Он применил вращающийся кристаллизатор, изготовленный собственноручно. Подробно Вульф описал его много позже в специальной статье [94].

Кристаллизатор представлял собой стеклянный цилиндр диаметром 4 см и высотой 5 см (рис. 5). Он закрывался круглой стеклянной крышкой с резиновой прокладкой, обеспечивающей его герметизацию. Кристаллизатор крепился к латунной раме, которая сама была насажена на горизонтальную ось колеса. Колесо с помощью ременной передачи соединялось со шкивом водяной турбины, обеспечивающей вращение кристаллизатора со скоростью 1–2 об/мин.

Одновременно в раме помещались два кристаллизатора, что давало возможность производить сразу два опыта. В одном кристаллизаторе выращивался кристалл цинковой соли в своем собственном маточном растворе, в другом – в растворе моровской соли.

Вульф, вместе со студентом Вейбергом, проделал целую серию (13 опытов) и пришел к тем же выводам, что и раньше. Он констати-

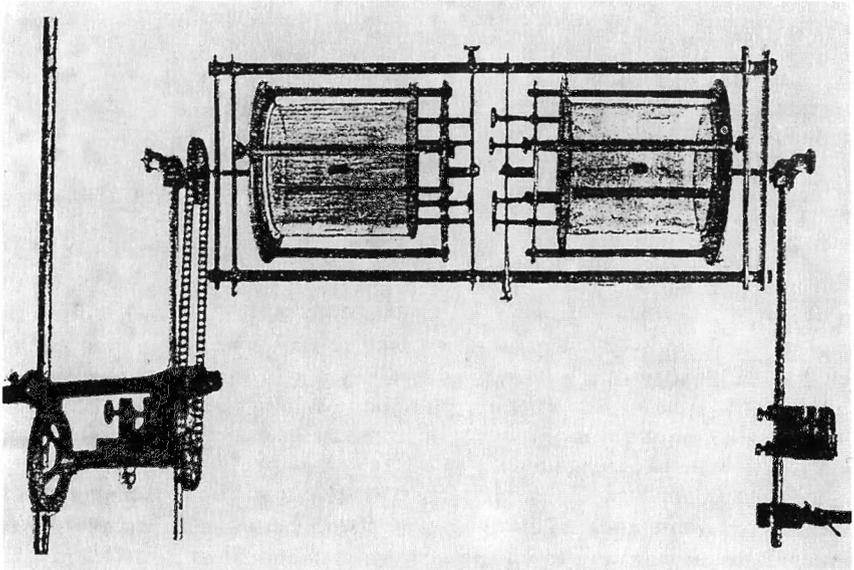


Рис. 5

ровал, "что установленное мною отсутствие взаимности между скоростями роста и растворения граней кристаллов моровской соли действительно имеет место" [37, с. 92].

Теперь перед Вульфом встал главный вопрос – почему же отсутствует корреляция между скоростями роста и растворения граней кристаллов? Ответ на этот вопрос, по мнению Вульфа, следовало искать в фигурах травления. Действительно, при росте кристалл ограничивается совершенными плоскими гранями, сохраняющими свою плоскостность в течение всего периода роста. При растворении же грани кристалл теряет свою плоскостность, покрываясь фигурами травления. Они возникают вследствие стремления растворителя и растворяющегося тела увеличить поверхность своего соприкосновения. Поэтому при растворении кристалла уже нельзя говорить о растворении его граней как плоскостей. Грань, покрытая фигурами травления, это целый агрегат граней разной ориентации, скорость роста которых весьма различна. В результате скорость растворения грани есть средняя величина всех этих граней агрегата. Понятно, поэтому, что средняя величина не сильно отличается от грани к грани, и относительная скорость растворения различных граней практически одинакова.

Эти соображения позволяют Вульфу утверждать, что **"фигуры травления, появляющиеся на грани во время растворения, делают совершенно несравнимыми измерения скорости роста и скорости растворения граней"** [37, с. 93]. Поэтому **"вообще в кристаллах не существует никакой простой взаимности между скоростями роста и растворения граней"** [37, с. 93].

Специальную часть работы Вульф посвятил проблеме капиллярных постоянных (удельной поверхностной энергии) кристаллических граней. Побудительным мотивом к исследованию явилась недавно вышедшая статья П. Кюри [262].

В этой небольшой работе были получены фундаментальные результаты. Их исходная посылка – работа Гаусса 1830 года [263], где он, основываясь на гипотезе центральных сил между частицами, доказал, что для несжимаемой жидкости работа поверхностных сил пропорциональна изменению поверхности.

Кюри, используя эти соображения, нашел, что для любого тела, деформированного без изменения объема, такая энергия пропорциональна изменению поверхности. Отсюда вытекает фундаментальный закон: "Если несколько поверхностей раздела S, S_1, S_2 с капиллярными постоянными A, A_1, A_2 ограничивают тело, то его устойчивой формой будет та, которая дает минимум величины $AS + A_1S_1 + A_2S_2$ " [262, с. 115].

Этот закон определяет внешнюю форму растущего кристалла – "его наиболее устойчивой формой будет та, для которой сумма поверхностных энергий имеет возможно наименьшее значение" [262, с. 115]. Отсюда следует, что поскольку каждой грани соответствует своя поверхностная энергия, то преобладающей формой должна быть такая, которая образована гранями, поверхностная энергия которых наименьшая.

Кюри рассмотрел три случая применения этого закона: при огранении кристалла квадратной призмой, кубоктаэдром и в случае роста сразу нескольких кристаллов. В последнем случае "в насыщенном маточном растворе **самый большой из кристаллов съедает меньше**" [262, с. 117].

Вульф, излагая содержание статьи Кюри, тоже рассматривает первые два случая. Однако при этом он вводит в рассмотрение нормали, проведенные из центра к граням кристалла. "Введение в рассмотрение нормалей, которого не сделал Кюри, – пишет Вульф, – значительно упрощает дело и позволяет, как сейчас увидим, подсмотреть некоторую общую закономерность при решении относящихся сюда задач" [37, с. 96].

Преимущество своего подхода Вульф демонстрирует на примерах огранения ромбической призмой, комбинации куба, октаэдра и ромбического додекаэдра, моноклинной призмы, прямоугольным параллелепипедом без центра симметрии, комбинацией куба с октаэдром. Во всех случаях Вульф показал, что найденная Кюри закономерность хорошо выполняется, если вместо геометрических характеристик граней стоят нормали к ним.

Для подтверждения общности этого закона он рассматривает многогранник с правильными гранями, удовлетворяющий условию минимума поверхностной энергии при данном объеме. Ясно, что все подобные многогранники, отличающиеся от исходного только своими

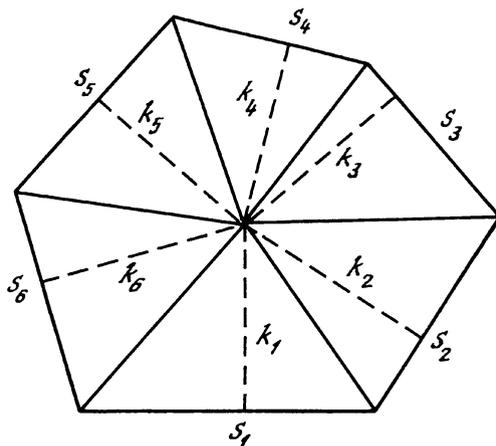


Рис. 6

объемами, будут тоже удовлетворять принятому условию. Все многогранники будут представлять кристалл в разных стадиях роста, причем начало роста должно совпадать с центром подобия (рис. 6). Если $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$ – нормали к граням одного и того же многогранника, то площадь всех его граней можно представить в виде

$$S = p(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 + \dots + n_n^2), \quad (1)$$

где p – некая постоянная, зависящая от формы многогранника.

В то же время поверхностная энергия этого кристалла будет равна

$$E = p(k_1 n_1^2 + k_2 n_2^2 + k_3 n_3^2 + \dots + k_n n_n^2), \quad (2)$$

где $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$ – капиллярные постоянные граней.

Если затем весь многогранник расчленим на пирамиды с общей вершиной и с основаниями, равными отдельным граням, то легко понять, что объем такого многогранника

$$V = q(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 + \dots + n_n^2), \quad (3)$$

где q – другая постоянная.

Так как многогранник должен обладать минимумом поверхностной энергии при постоянном объеме, то необходимо выполнение следующих условий:

$$dE = 2p(k_1 n_1 dn_1 + k_2 n_2 dn_2 + k_3 n_3 dn_3 + \dots + k_n n_n dn_n) = 0.$$

Выполнение этих условий возможно лишь тогда, когда

$$k_1 : k_2 : k_3 : \dots : k_n = n_1 : n_2 : n_3 : \dots : n_n. \quad (4)$$

"Это значит, – резюмирует Вульф, – что минимум поверхностной энер-

гии при данном объеме многогранника достигается при том взаимном расположении его граней, когда они удалены от одной и той же точки на расстояния, пропорциональные их капиллярным постоянным" [37, с. 103].

Отсюда следуют важные следствия:

1. Поскольку длины нормалей пропорциональны скоростям роста соответствующих граней, то "скорости роста граней кристалла пропорциональны капиллярным постоянным граней относительно маточного раствора" [37, с. 104]. Следовательно, "измеряя относительную скорость роста граней кристалла, мы тем самым измеряем относительную величину капиллярных постоянных этих граней относительно маточного раствора, в котором растет кристалл" [37, с. 104].

2. Из соотношения (4) вытекает, что

$$s_1 k_1 : s_2 k_2 : s_3 k_3 : \dots : s_n k_n = s_1 n_1 : s_2 n_2 : s_3 n_3 : \dots : s_n n_n, \quad (5)$$

где $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ – площади граней. Но $s_n k_n$ есть поверхностная энергия грани в рассматриваемую стадию роста, а $s_n n_n$ – пропорциональна объему пирамиды, основанием которой служит грань s_n и вершина которой находится в центре роста. Поэтому "объем вещества, откладываемогося при кристаллизации на какой-нибудь грани, и, вообще, поверхностная энергия кристалла пропорциональна работе, затраченной на образование всего кристалла" [37, с. 104].

Вульф считает последнее следствие основным положением, из которого и нужно выводить правило о наименьшей энергии кристаллического многогранника. Он аргументирует это следующим образом. Скорость роста грани прямо пропорциональна ее энергии. Но быстро растущие грани быстро исчезают, а остаются только медленно растущие, энергия которых наименьшая, поэтому и суммарная энергия кристалла стремится стать наименьшей.

В заключение он рассматривает связь ретикулярной плотности кристаллических граней со спайностью и внешним ограничением кристалла при его росте. Вслед за Браве [264] Вульф утверждает, что для того, чтобы разрушить кристалл, нужно преодолеть силы сцепления, нормальные к плоскости, и силы сцепления, касательные к плоскости. Энергия нормальных сил сцепления N , по Браве, обратно пропорциональна ретикулярной плотности сетки:

$$N = A/p,$$

где A – коэффициент.

Что касается тангенциальной энергии, то, как показал Зонке [265], капиллярная постоянная k грани, при прочих равных условиях, тем меньше, чем больше ретикулярная плотность грани. Поэтому можно положить

$$k = a/p,$$

где a – коэффициент, названный Вульфом молекулярной энергией роста. Эта энергия должна меняться с направлением вокруг молекулы и зависеть от раствора.

Вульф вычислил молекулярные энергии роста для разных граней кристаллов моровской соли и сопоставил их со скоростями роста. Оказалось, что молекулярная энергия роста практически не зависит от скорости роста грани и равна в среднем 1,03. Это можно объяснить только тем фактом, что не все грани с одинаковыми кристаллографическими индексами и одинаковой ретикулярной плотностью растут одинаково быстро.

Поскольку молекулярная энергия роста меняется непрерывно и в небольших пределах вокруг молекулы, а ретикулярная плотность, наоборот, принимает дискретные значения в широких пределах, то Вульф просто объясняет полиэдрическую форму кристаллов. Если кристаллы имеют в своей огранке грани со сложными индексами, то это объясняется тем, что молекулярная энергия роста граней с малой ретикулярной плотностью очень мала.

В конце работы Вульф обсуждает опыты Хауэра [266] по самопроизвольному возникновению граней, симметричных с вызванными искусственно. Хауэр шлифовал напильником у кристаллов хромовых квасцов искусственные грани и растил эти кристаллы в растворе железоаммонийных квасцов. Если искусственно образовывались грани куба, то в процессе роста появлялись октаэдрические грани, если образовывались грани додекаэдра, то появлялись грани куба.

Вульф объясняет эти результаты тем, что грани додекаэдра кристаллов хромовых квасцов обладают наибольшей капиллярной постоянной относительно раствора железоаммонийных квасцов, октаэдрические – наименьшей, а кубические – занимают среднее положение. Искусственные кубические и додекаэдрические грани, обладая большой энергией роста, возбуждают на себе сильные концентрационные потоки, отвлекая раствор от других частей кристалла, и быстро зарастают.

"При таком произвольном появлении граней с большой энергией роста, – писал Вульф, – общая поверхностная энергия роста кристалла должна увеличиваться, что, **по-видимому**, противоречит теории Кюри. Но нельзя растущий кристалл рассматривать независимо от окружающего его раствора, как это было указано уже в начале этого исследования. Энергия роста кристалла должна слагаться не только из собственной энергии кристалла, но и из энергии раствора, выражающейся, между прочим, в концентрационных потоках. Концентрационные потоки стремятся унести от некоторых частей кристалла питательное вещество или прочь вверх, или же к другим частям кристалла, наиболее интенсивно растущим. Поэтому слабее питаемые участки будут, **по-видимому**, обладать меньшей энергией" [37, с. 113].

Этим важным заключением заканчивается основная часть работы.

4

Мы уже говорили, что вышеизложенное исследование является наиболее важной работой Вульфа варшавского периода. Работа быстро получила известность и стала интенсивно обсуждаться. Прежде

всего это касалось принципа минимума поверхностной энергии при образовании кристалла в равновесных условиях. При этом вскоре выяснилось, что аналогичные соображения были высказаны еще в 1878 г. Дж. Гиббсом [267]. Однако его работы были опубликованы тогда в малодоступных изданиях и не были известны европейским ученым. В связи с этим, при строгом соблюдении приоритета, принцип минимума поверхностной энергии называют принципом Гиббса–Кюри. В русскоязычной литературе его часто называют принципом Гиббса–Кюри–Вульфа (см. например, [206, 207, 268, 269]), что, конечно, неверно. Сам Вульф оценивал свои достижения гораздо скромнее. Принцип минимальной поверхностной энергии он всегда называл принципом Кюри или Гиббса–Кюри (см. например, [120, 121, 134, 152]). Лишь говоря о конкретизации этого принципа – построении равновесной формы кристалла по перпендикулярам, пропорциональным их капиллярным постоянным, а также об установлении связи капиллярных постоянных со скоростями роста граней, Вульф однажды высказался следующим образом: "В таком дополнительном виде принцип Кюри получил название принципа Кюри–Вульфа" [114, с. 1102].

Итак, принцип Кюри–Вульфа является следствием более общего принципа минимума поверхностной энергии Гиббса–Кюри и справедлив он только в том случае, если справедлив последний. Оба принципа настолько тесно связаны между собой, что в мировой литературе они обычно не разделяются. Поэтому и мы при дальнейшем изложении, если не сделано специальных оговорок, будем иметь в виду их совместно.

Мировая литература по этому вопросу весьма обширна (см. подробнее [268, 270, 271]), в ней много работ *pro* и *contra*. Причем главным дискуссионным является вопрос о равновесных условиях кристаллизации и равновесной форме кристалла. Ведь в большинстве случаев кристаллы растут в условиях далеких от термодинамического равновесия и их форма, естественно, далека от равновесной. Крайними ее проявлениями являются сферолиты и дендриты, а также различные двойники и другие формы срастания.

В связи с этим принято различать равновесную форму кристалла, соответствующую минимуму суммарной поверхностной энергии, и форму роста, которую кристалл приобретает в неравновесных условиях кристаллизации. Равновесная форма не совпадает с формой роста и к последней принцип Гиббса–Кюри не применим. Здесь определяющими являются кинетический и диффузный механизмы.

Что же касается равновесной кристаллизации, то, несмотря на достаточную большую экспериментальный материал, подтверждающий справедливость принципа минимума поверхностной энергии, и здесь понадобился ряд уточнений.

Еще в 1909 г. П. Павлов [272] высказал сомнение в справедливости принципа Гиббса–Кюри на том основании, что при его выводе не учитывались поверхностные энергии ребер и вершин кристалла. На это возражение Вульф ответил специальной заметкой [92]. Она инте-

ресна четко сформулированным отношением Вульфа к проблеме "кристалл–среда".

«Прошла пора, – пишет Вульф, – когда кристалл изучался как геометрическое тело, когда наука о кристалле сводилась к "кристаллографии". На кристалл стали смотреть теперь как на однородное твердое тело, обладающее известной степенью симметрии, физика твердого тела стала физикой кристалла, "кристаллофизикой". В связи с этим вопросы о взаимодействии твердого тела и соприкасающейся с ним жидкости, столь важные для физикохимии, свелись на вопрос о взаимодействии жидкости и соприкасающегося с ней кристалла... Таким образом является необходимость решить вопрос о **физическом** значении ребер и углов кристалла, как элементов его ограничения в **физическом** смысле этого выражения, т.е. как элементов, на образование которых должна расходоваться работа» [92, с. 121, 123]. Путем простых рассуждений Вульф показывает, что "элементы ограничения кристалла, как физического тела" есть только углы, а не ребра и вершины. Поэтому учитывать их вклад в поверхностную энергию не следует.

В последующие годы встал еще один интересный вопрос: достаточно ли одного факта термодинамического равновесия для того, чтобы работал принцип Гиббса–Кюри? Для ответа на этот вопрос Р. Марк и А. Ритцель [273] учли вклад в энергетику роста так называемую упругость растворения – разницу в растворимости различных граней кристалла. Они показали, что если упругость растворения мала, то равновесная форма кристалла будет определяться минимумом поверхностной энергии. Если же упругость растворения велика, то любое увеличение поверхности одной грани будет сопровождаться уменьшением поверхности другой грани. Поэтому конечная форма кристалла может отличаться от равновесной. Позднее Дж. Валетон [274], подробно рассматривая термодинамику образования граней, показал, что для больших кристаллов влиянием поверхностной энергии на термодинамическое равновесие можно пренебречь. Таким образом принцип Гиббса–Кюри точно применим только к форме маленьких кристаллов.

В результате были выяснены энергетические ограничения на рассматриваемый принцип. Но, тем не менее, он по-прежнему является основой науки о морфологии кристаллов. По-видимому, наиболее точно его значение определил один из создателей атомно-молекулярной теории роста кристаллов В. Коссель. Он писал, что этот принцип рассматривает проблему роста кристаллов "zu summarisch", т.е. в целом, с самых общих позиций. И пусть многие существенные детали процесса роста лежат вне действия этого принципа, но, тем не менее, термодинамическое рассмотрение, как наиболее общее, всегда будет стоять в основании любых новых концепций. Об этом хорошо сказано в статье Кюри: "Итак, вышеизложенная теория позволяет решить целый ряд вопросов; она основана лишь на общих принципах и, не делая никаких частных гипотез, не дает нам никаких точных знаний о механизме образования кристаллов. Всякая частная физическая теория, которая будет иметь целью объяснить этот механизм, прежде

всего не должна будет находиться в противоречии с этой более общей теорией" [262, с. 117].

Теперь несколько замечаний специально о принципе Кюри–Вульфа. Его публикация вызвала большой интерес среди кристаллографов. Работа Вульфа на немецком языке вышла в 1901 г., а уже в 1903 г. английский кристаллограф Х. Хилтон в своей монографии "Математическая кристаллография" [275], ставшей классической, подробно рассмотрел этот принцип. При этом Хилтон пытался при выводе основного соотношения (4) учесть связь между площадями растущих граней.

Разбив, как это делал и Вульф, многогранник кристалла плоскостями на пирамиды, Хилтон из некоторых произвольных точек A, B, C, \dots внутри этих пирамид опустил перпендикуляры a_i, b_i, c_i, \dots на грани кристалла. Между ними можно установить соотношение типа

$$n_1 \pm n_{a_1} = a_1, \quad n_2 \pm n_{a_2} = a_2 \dots \quad (6)$$

Соотношения (6) в конечном итоге связывают между собой площади граней кристалла.

Хилтон доказал, что

$$\begin{aligned} n_1 &= \alpha a_1 \pm \beta b_1 \pm \gamma c_1 = \rho k_1, \\ n_2 &= \alpha a_2 \pm \beta b_2 \pm \gamma c_2 = \rho k_2, \\ n_3 &= \alpha a_3 \pm \beta b_3 \pm \gamma c_3 = \rho k_3, \\ &\dots \end{aligned} \quad (7)$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \rho$ – неизвестные константы, k_i – капиллярные постоянные граней. Затем, выбрав некую точку, расстояния от которой до секущих плоскостей равны $\alpha a_1 + \beta b_1 + \gamma c_1, \alpha a_2 + \beta b_2 + \gamma c_2, \alpha a_3 + \beta b_3 + \gamma c_3$ и расстояния до граней – n'_i , с использованием соотношения (6) он получил

$$\begin{aligned} n'_1 &= n_1 \pm \alpha a_1 \pm \beta b_1 \pm \gamma c_1, \\ n'_2 &= n_2 \pm \alpha a_2 \pm \beta b_2 \pm \gamma c_2, \\ n'_3 &= n_3 \pm \alpha a_3 \pm \beta b_3 \pm \gamma c_3, \\ &\dots \end{aligned}$$

Отсюда с учетом (7) он нашел

$$n'_1 : n'_2 : n'_3 : \dots = k_1 : k_2 : k_3 : \dots$$

Таким образом, связь между гранями не повлияла на справедливость принципа Кюри–Вульфа.

Аналогичную попытку предпринял и Х. Либман [276]. Он связал с каждой гранью кристалла вектор F_i , равный по модулю площади грани и направленный перпендикулярно к ней. Тогда сумма проекций этих векторов на оси координат должна равняться нулю:

$$\sum F_i \cos \alpha_i = 0, \quad \sum F_i \cos \beta_i = 0, \quad \sum F_i \cos \gamma_i = 0, \quad (8)$$

где α_i, β_i и γ_i – углы i -й призмы на оси X, Y, Z соответственно.

Затем, при условии, что объем кристалла постоянен, Либман провел замену переменных (n на F), записав уравнение Лагранжа:

$$\lambda dE = 2dV + \lambda_1 (\sum dF_i \cos \alpha_i) + \lambda_2 (\sum dF_i \cos \beta_i) + \lambda_3 (\sum dF_i \cos \gamma_i) = 0, \quad (9)$$

где $\lambda, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – неопределенные множители.

Проведя преобразование выражения (9), он получил уравнение плоскости, определяемой ее нормалью n_i

$$n_i = \lambda k_i + \lambda_1 \cos \alpha_i + \lambda_2 \cos \beta_i + \lambda_3 \cos \gamma_i. \quad (10)$$

Но это же уравнение (10) описывает семейство параллельных плоскостей с расстояниями до них n'_i :

$$x \cos \alpha_i + y \cos \beta_i + z \cos \gamma_i = n'_i, \quad (11)$$

где есть точки с координатами $x = \lambda_1, y = \lambda_2$ и $z = \lambda_3$.

Из двух последних выражений (10) и (11) получено

$$n_i \pm n'_i = \lambda k_i, \quad (12)$$

т.е. увеличение нормали к грани при ее росте пропорционально капиллярной постоянной.

В качестве примера реализации принципа Кюри–Вульфа Либман рассмотрел образование комбинаций плоскостей (100), (111) и (110) при разных соотношениях между капиллярными постоянными этих граней k_1, k_2 и k_3 соответственно. Он нашел, что если $k_1 > k_2/\sqrt{3}$, а $k_2 > k_3/\sqrt{2/3}$, то реализуются все три грани. Если же $k_1 > k_2/\sqrt{3}$, а $k_2 < k_3/\sqrt{2/3}$, то образуются грани (100) и (111). При условии $k_1 < k_2/\sqrt{3}$ и $k_1 > k_3/\sqrt{2}$ реализуются грани (100) и (110), а при $k_1 < k_2/\sqrt{3}$ и $k_1 < k_3/\sqrt{2}$ – только грань (100).

Необходимо также указать на статью С. Виолы [277], где без ссылок на Вульфа и без упоминания его имени, но со ссылками на работы Кюри и Хилтона, выводится соотношение (4). Оно трактуется как одна из форм закона Гиббса–Кюри, что, конечно, несправедливо. Он полагал, что $k = c/\rho = c\sigma$, где ρ – ретикулярная плотность грани, σ – удельная площадь, приходящаяся на одну частицу, и c – константа. Тогда

$$n_1 : \sigma_1 = n_2 : \sigma_2 = n_3 : \sigma_3 = \dots = n_n : \sigma_n \quad (13)$$

или "Увеличение нормалей пропорционально удельным площадям поверхностей кристалла" [277, с. 344].

Этот вывод Виола также назвал одной из форм принципа Гиббса–Кюри. Однако данный вывод никак нельзя приписывать Кюри. Как показал Зонке [265], при уменьшении ретикулярной плотности должна увеличиваться капиллярная постоянная этой грани. Исходя из этого, Вульф принял, что $k = a/\rho$, где a – молекулярная энергия роста. И, хотя

он в явном виде не выписал соотношения типа (13), оно было ему известно, так как непосредственно следовало из принципа Кюри–Вульфа.

Канонический вывод соотношения (4) дал в 1924 г. Я.И. Френкель [278]. Через точку роста и ребра кристалла проводят систему плоскостей, которая рассекает кристалл на пирамиды. Тогда объем кристалла

$$V = \frac{1}{3} \sum n_i S_i,$$

где n_i – нормаль к грани, S_i – ее площадь.

Пусть n_i и S_i в процессе роста испытывают бесконечно малое изменение δn_i и δS_i . Тогда

$$\delta V = \frac{1}{3} \sum S_i \delta n_i + \frac{1}{3} \sum n_i \delta S_i.$$

Но это то же самое, что

$$\delta V = \sum S_i \delta n_i,$$

где $S_i \delta n_i$ – бесконечно малый объем, описываемый гранью S_i при параллельном перемещении ее на расстояние δn_i . Отсюда

$$\sum S_i \delta n_i = \frac{1}{2} \sum n_i \delta S_i;$$

или

$$\delta V = \frac{1}{2} \sum n_i \delta S_i.$$

Если F есть энергия кристалла, то при условии F и $V = \min$ имеем

$$\delta F = \sum k_i \delta S_i = 0,$$

$$\delta V = \frac{1}{2} \sum n_i \delta S_i = 0.$$

Первое равенство выполняется лишь при "экстремальных" значениях S_i и n_i , но при всех значениях δS_i , удовлетворяющих второму равенству. Отсюда следует, что n_i должны быть прямо пропорциональны соответствующим значениям k_i .

Позже, анализируя принцип Кюри–Вульфа, В.К. Семенченко [279] обратил внимание на то, что при старом выводе соотношения (4) при условии минимума поверхностной энергии для всех граней кристалла постоянной должна оставаться величина

$$\frac{2k_i}{n_i} = W. \tag{14}$$

Константу W он предложил назвать **константой Вульфа**. Она играет важную роль в термодинамике кристаллов. Ее физический смысл

ясен из легко выводимого соотношения

$$W = \frac{2A}{3V}, \quad (15)$$

где A – работа образования поверхности кристалла.

Из сказанного следует, что установление принципа Кюри–Вульфа является достижением огромной важности для кристаллографии. И, хотя на первый взгляд, он сводил физическую задачу о форме растущего кристалла к задаче геометрической, на самом деле, и это всегда подчеркивал Вульф, в его основе лежит физика взаимодействия среды и кристалла, отраженная в поверхностной энергии граней. Именно она диктует, при термодинамическом равновесии, форму кристалла и скорость роста его граней

5

Во времена Вульфа господствовала единственная, так называемая, структурная точка зрения на морфологию кристаллов, которая и являлась основой подходов к проблеме скоростей роста граней. В ее основе, как мы уже говорили, лежала гипотеза Браве [264], согласно которой кристалл "одевается" гранями с наибольшей ретикулярной плотностью. Они же и растут с наименьшей скоростью, так как в противном случае они быстро бы выклинивались и исчезали. Однако уже в то время появились определенные трудности в применении гипотезы Браве. Одной из них был хорошо установленный факт, что изоморфные кристаллы часто обладают различной формой, хотя пространственные решетки у них должны быть совершенно одинаковыми.

Через несколько лет после появления гипотезы Браве Кюри сформулировал свой известный принцип, основанный на энергетических предположениях. Вскоре Зонке [265] объединил принцип Кюри и гипотезу Браве, высказав утверждение, что грани, обладающие наибольшими ретикулярными плотностями, обладают минимальной поверхностной энергией. Этой гипотезой воспользовался Вульф в своей работе и в последующем специальном исследовании, посвященном поверхностной энергии.

Эксперименты Вульфа по измерению скоростей роста граней в целом качественно подтвердили гипотезу Браве, чем не в малой степени способствовали ее развитию. Однако Вульф не был, по-видимому, полностью удовлетворен полученными результатами. Он поручил своему ученику С. Вейбергу повторить опыты по измерению скорости роста на кристаллах железоаммонийных квасцов. Результаты этих опытов были доложены на заседании Отделения физики и химии Варшавского общества естествоиспытателей 7 декабря 1896 г. и опубликованы в Протоколах и трудах этого общества в следующем году [280]. Вейберг качественно подтвердил найденную Вульфом закономерность, но установил, что "скорости роста граней кристалла железоаммонийных квасцов возрастают гораздо быстрее площадей

образующихся параллелограммов граней. Такое несогласие может найти себе объяснение в том, что молекулярная энергия роста сильно меняется по различным направлениям, т.е. в сильной диссимметрии частиц" [280, с. 22].

В 1920 г. П. Ниггли [281] развил гипотезу Браве, введя в рассмотрение толщину активного слоя на поверхности растущего кристалла. Эта толщина всегда кратна межплоскостному расстоянию в решетке в направлении, перпендикулярном растущей грани, а последняя, в свою очередь, связана с ретикулярной плоскостью. Но и эта теория не смогла объяснить многих закономерностей в скоростях роста граней кристаллов.

Еще одной модернизацией структурной теории, инициированной предыдущими работами (в том числе и Вульфа), явилась попытка Х. Донней и Д. Харкера [282] заменить простую решетку совокупностью элементов симметрии пространственных групп. Действие пространственных элементов симметрии создает добавочные узлы, которые необходимо рассматривать наравне с узлами решетки, что резко изменяет ретикулярную плотность всех граней и, следовательно, влияет на скорость роста. Но эта теория тоже не решила всех проблем.

Некоторое время назад появилась и стала утверждаться теория периодических цепей связей [283]. Она рассматривает цепочки повторяющихся связей на поверхности решетки, сумма которых дает поверхностную энергию данной грани. При этом главный вклад вносят сильные связи, лежащие в гранях с большой ретикулярной плотностью. Тогда, утверждает эта теория, скорость роста грани тем меньше, чем меньше сильных связей пересекает эта грань. Увы, и эта теория не смогла полностью объяснить эксперименты, ибо она, как и ее предшественники, не принимала во внимание физико-химические факторы роста.

Скорость роста грани в значительной степени зависит от скорости отложения на ней кристаллизующего вещества. А эта последняя, в свою очередь, зависит от многих физико-химических факторов, в особенности от степени переохлаждения или пересыщения раствора, скорости испарения из раствора растворителя и ряда других.

Тем не менее структурные теории сыграли большую роль в построении современной теории роста кристаллов. Во многих частных случаях они оказались достаточными для предсказания габитуса кристаллов и оценки скорости роста их граней.

В заключение остановимся на результатах Вульфа по измерению скоростей растворения кристаллов. По сравнению с закономерными скоростями роста они выглядели неожиданно и вызвали большой интерес.

Специальное исследование этого вопроса провел Федоров [284–287]. На основе многочисленных наблюдений он сформулировал [286] закон компликации: "Растворимость по отношению к каждой грани кристаллического вещества прямо пропорциональна ее плотности сетки, а потому она тем меньше, чем сложнее символ наблюдаемой грани (при правильной установке кристалла), а для параллельных

граней даже равна нулю". Из закона следует, что процессы растворения и роста являются взаимно соответственными – быстрорастущие грани быстрее растворяются.

Для подтверждения этого закона Федоров поставил несколько опытов, которые дали одинаковые результаты. Вот наиболее простой из них. Были взяты два выбитых по плоскости спайности кристалла каменной соли, причем на одном из них была искусственно отполирована грань с очень большим индексом. Эти два кристалла были приведены в соприкосновение через слой насыщенного раствора этой же соли. Через 10 мин. стало видно, что полированная грань покрылась густым матовым налетом, свидетельствующим об образовании на нем многочисленных граней. На другой грани были явно видны следы растворения.

Вульф не комментировал результаты Федорова и его закон компликации. Но он высказал свое мнение в отзыве [67] на сочинение студента физико-математического факультета Варшавского университета Н. Ватича "Об отношении кристалла к его маточному раствору", представленное на соискание медали. Автор сочинения изучал растворимость и рост калийных квасцов и пришел к выводу об их взаимном соответствии. В подтверждение полученного вывода Ватич привел следующие данные по относительным скоростям роста и развития трех граней квасцов:

	(111)	(100)	(110)
Рост	1	2,34	1,99
Растворение	1	1,34	1,25

Вульф комментирует эти данные так: "Автор этой рецензии не может не отметить своего несогласия с этим вопросом... Если действительно скорости обоих процессов и соответствуют друг с другом, т.е. и для роста и для растворения величины скоростей следуют неравенству $(100) > (110) > (111)$, то все же никакого равенства или близости между отношениями скоростей роста и растворения для одних и тех же граней не существует, и данные автора, между прочим, подтверждают и вывод, сделанный раньше автором этой рецензии, что скорости растворения различных граней разнятся между собой гораздо меньше, чем скорости их роста" [67, с. 52].

Несмотря на такое заключение, Вульф рекомендовал присудить Ватичу золотую медаль, что и было сделано Ученым советом.

Взаимное соответствие роста и растворения граней кристалла изучалось многими исследователями (см. подробнее [268, 270]). В результате утвердилось мнение, что говорить о строгом взаимном соответствии нет достаточных оснований, ибо на процесс растворения, как и на процесс роста, влияет множество физико-химических факторов: температура растворения, недосыщение раствора, примеси, степень и природа дефектов самого кристалла, его положение и форма. Все эти факторы стараются учесть различные молекулярно-кинетические теории, впрочем без больших успехов. Поэтому данные,

полученные Вульфом, отвечающие **средним скоростям растворения**, являются совершенно достоверными и объяснимыми.

Оценивая эту работу Вульфа в целом, необходимо подчеркнуть, что она оказала большое влияние на все последующие исследования процессов роста кристаллов. Сейчас нет ни одной монографии, в которой не цитировалось и не обсуждалось бы это исследование Вульфа. Работа "К вопросу о скоростях роста и растворения кристаллов" давно признана классической.

6

Как упоминалось выше, эта работа была опубликована в "Варшавских университетских известиях" [37]. Разрешение на публикацию дал Ученый совет физико-математического факультета 9 сентября 1895 г. после положительных отзывов профессоров Лагорио и Амалицкого [160б].

5 декабря 1895 г. Вульф подает в Совет рапорт: «Имею честь покорнейше просить физико-математический факультет рассмотреть мою работу, озаглавленную "К вопросу о скорости роста и растворения кристаллических граней", допустить меня к защите этой работы как диссертации на степень доктора минералогии и геогнезии, буде факультет признает мою работу того достойной. При сем прилагаю экземпляр моей работы» [160в].

На эту просьбу Совет определил – поручить рассмотреть работу и составить отзыв профессорам Лагорио и Амалицкому, тем же, кто уже дал положительный отзыв на статью Вульфа.

Но 15 января 1896 г. Вульф вдруг забирает свою работу из Совета. В протоколе заседания физико-математического факультета записано: «...заявление г. декана о том, что приват-доцент Вульф просит вернуть ему представленное в факультет в качестве докторской диссертации сочинение его "К вопросу о скорости роста и растворения кристаллических граней"» [160г]. Совет принял это к сведению.

Что же произошло? Наиболее вероятно, что Лагорио или Амалицкий, или они вместе, сочли, что работа Вульфа не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, и это свое мнение высказали Вульфу приватно. Тот, не желая, чтобы негативный отзыв прозвучал на заседании Совета факультета, отозвал диссертацию.

Однако остается вопрос, почему столь значительное исследование получило негативную оценку таких профессоров как Лагорио и Амалицкий.

Ученик Вульфа Флинт в некрологе [201] и своих воспоминаниях [202, 203] объясняет отклонение диссертации ее малым объемом (120 стр.). Более определенная версия звучит в записке [288], поданной академиками А.П. Карпинским, В.И. Вернадским, А.Е. Ферсманом и А.Ф. Иоффе в Российскую Академию наук в связи с выдвижением Вульфа в члены-корреспонденты. Говоря о современном значении этой выдающейся работы, авторы записки пишут: "Но не то было в

1895–1897 годах, когда означенная работа была представлена в Варшавский университет на соискание звания доктора; исследование было признано недостаточным и было отклонено" [288, с. 46].

Совершенно другую причину отклонения диссертации приводит еще один ученик Вульфа Успенский [194]. Вот что он пишет: «По защите магистерской диссертации Георгий Викторович стал приват-доцентом Варшавского университета и ассистентом проф. Лагорио. Лагорио, впоследствии занимавший один из видных постов при царском правительстве, типичный бюрократ по душе, не оценил Георгия Викторовича и доставил ему много глубоких огорчений при его дальнейшей научной работе. Этих огорчений Георгий Викторович не мог забыть всю свою жизнь. Лагорио не пропустил в Варшаве докторской диссертации Георгия Викторовича на тему "К вопросу о скорости роста и растворения кристаллических граней"» [194, с. 19].

Из этого отрывка можно сделать вывод, что диссертация Вульфа была отклонена по причинам не научного характера. Однако то, что мы знаем сейчас о Лагорио как об ученом и человеке, об отношении Вульфа к нему как к своему учителю, не дает оснований принять эту точку зрения.

По-видимому, причина лежала в чисто научной плоскости. Работа Вульфа далеко обогнала свое время. Она была совершенно нетрадиционной для тогдашнего состояния экспериментальной минералогии, использовавшей при изучении процессов роста лишь качественные, наблюдательные средства и методы. Вульф же подошел к росту кристаллов как физик, вводя в проблему количественные характеристики (скорость роста и растворения, капиллярные постоянные). Более того, развивая соображения Кюри об энергетических закономерностях роста кристаллов, Вульф, по-видимому, оказался совсем не понятным минералогами. Все это не могло не привести к неприятию такого подхода и, как следствие, к отклонению диссертации под предлогом ее недостаточности и небольшого объема.

Вульф подал диссертацию в Новороссийский университет в Одессе и 8 декабря 1896 г. успешно ее защитил*, получив ученую степень доктора минералогии и геогнезии [289]. Однако, не надеясь сразу получить профессию в Варшавском университете, он принял назначение Министерства просвещения на должность экстраординарного профессора кафедры минералогии и кристаллографии Императорского Казанского университета. К этой должности Вульф приступил 7 августа 1897 г. [290]. Но проработать в Казани ему довелось всего три семестра, до 7 ноября 1898 г., когда обстоятельства вернули его обратно в Варшавский университет.

Дело в том, что в 1896 г. Лагорио был назначен директором Варшавского политехнического института и освободил кафедру минералогии Варшавского университета. На эту кафедру в звании ординарного профессора и получил назначение Вульф.

* Приведенная в некоторых работах [199, 200, 202, 203] дата защиты Вульфом докторской диссертации в 1906 году явно ошибочна.

Работы по геометрической кристаллографии и симметрии кристаллов

1

В варшавский период Вульф много времени уделял традиционной для минералогов области – геометрической кристаллографии. С большой вероятностью можно сказать, что это было связано с его педагогической деятельностью, так как преподавание минералогии и кристаллографии включало в себя как один из главных элементов "измерение кристаллов".

Этот специальный кристаллографический термин включает следующее: установку кристалла, т.е. привязку его элементов симметрии к лабораторной системе координат по определенным правилам, измерение углов между гранями кристалла и, наконец, приписывание всем граням и направлениям кристалла кристаллографических индексов.

Измерение углов между гранями кристаллов – это главная процедура экспериментальной геометрической кристаллографии. Величины углов являются константами кристалла, что следует из фундаментального закона их постоянства для кристаллов данного химического соединения. Измерения проводятся с помощью прибора, называемого гониометром. Принцип его устройства очень прост. Луч света от источника падает на грань закрепленного в держателе кристалла, и отражаясь, попадает в зрительную трубу. Угол между падающим и отраженным лучами измеряется с помощью шкалы, нанесенной на вращающемся лимбе. Поворачивая кристалл, можно таким образом измерить углы между всеми его гранями в поясе, перпендикулярном плоскости оптической системы.

Описанный гониометр называется однокружным и, если с его помощью нужно измерить углы между гранями других поясов, установку кристалла в держателе необходимо изменить. Естественно, что это приводило к неудобствам. Поэтому усилия кристаллографов были направлены на совершенствования таких приборов.

В конце XIX в. это усовершенствование удалось сразу трем, независимо работавшим ученым: русскому кристаллографу Е.С. Федорову (1889) и двум немецким кристаллографам В. Гольдшмидту и С. Чапскому (1892) [291]. Они создали новый прибор, который называют двухкружным или теодолитным гониометром (рис. 7). В этом приборе кристалл закрепляется на вращающемся вокруг горизонтальной или вертикальной оси столике, имеющем к тому же еще и поворотные степени свободы для тонкой его юстировки. Зрительная труба и источник света, как и в однокружном гониометре, могут вращаться относительно друг друга и углы этого поворота можно измерить. С помощью двухкружных гониометров измерять углы между гранями

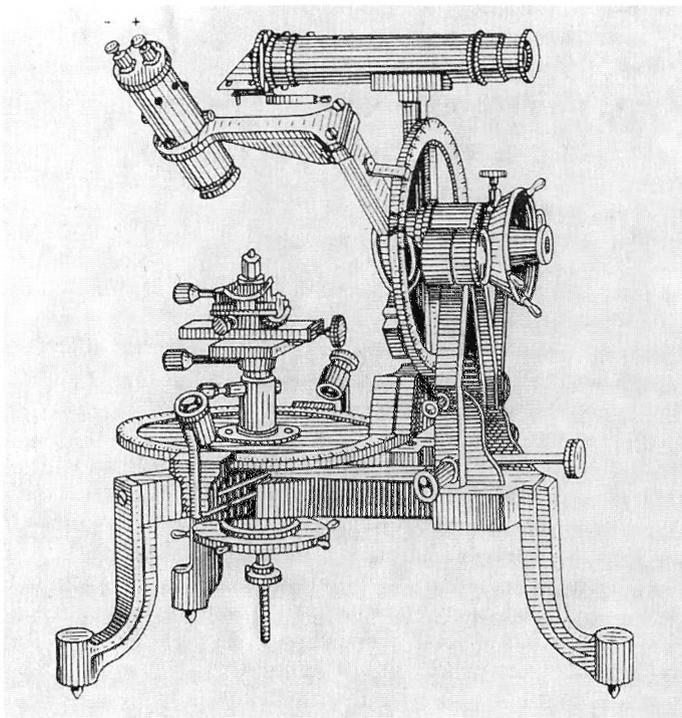


Рис. 7

кристаллов просто и удобно. Вульф одним из первых понял все преимущества теодолитных гониометров и стал усиленно их пропагандировать, развивая и уточняя при этом сам метод.

В 1901 г. почти на каждом заседании Варшавского общества естествоиспытателей он выступал с докладами на эту тему. 21 апреля – "О систематическом уклонении углов кристалла от нормальных величин" и продемонстрировал модели по симметрии кристаллов, 10 ноября – "О способе вычисления кристаллов из измерений с помощью теодолитного гониометра" и "Приложение метода наименьших квадратов к вычислению кристаллов". Последний доклад был особенно объемным и он продолжил его на заседаниях 16 февраля и 2 марта 1902 г. Подробное изложение этих докладов было опубликовано в "Zeitschrift für Kristallographie" и лишь в 1906 г. в Трудах общества [292]. Причина такой задержки отечественных публикаций заключалась в непростой политической ситуации, сложившейся в те годы в Польше.

Первая работа – "О способах начертания и вычисления кристаллов применительно к измерениям с помощью теодолитного гониометра" [59, 70]. Ее цель Вульф определил следующим образом: "Предлагаемая статья имеет целью показать всю простоту и общеприложимость теодолитного метода. Автор особенное внимание приложил на то,

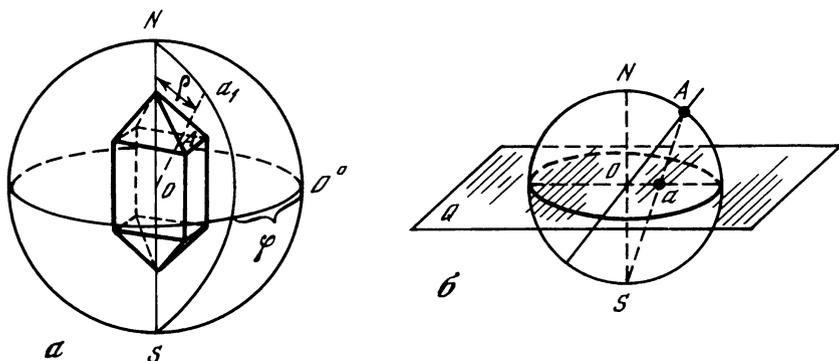


Рис. 8

чтобы всем относящимся сюда приемам начертания и вычисления придать наиболее простую форму, доступную всякому, имеющему дело с кристаллами; при этом приходилось иметь в виду преимущественно химиков и минералогов, которые, благодаря несоответственной и устаревшей системе университетского преподавания, мало знакомы с математикой и для которых, поэтому, может представлять затруднение самостоятельное решение и тех простых задач, к которым сводится весь вопрос построения и вычисления кристаллов.

Так как в теодолитном методе кристалл определяется как совокупность точек (полюсов граней) на шаре, то отсюда ясно громадное значение для этого метода стереографической проекции. Можно сказать, что стереографическая проекция является при измерении теодолитным гониометром простейшим способом непосредственной записи измерений. Вот поэтому автор большое внимание уделил упрощению способов начертания и вычисления этой проекции и положил ее в основу всех начертательных и вычислительных методов, служащих к изображению кристалла и нахождению постоянных его определяющих" [70, с. 1–2].

Здесь необходимо дать пояснение. Одним из принципиальной важности вопросов для кристаллографии является вопрос об удобном представлении результатов измерения углов между гранями кристалла. Измерения с помощью двухкругного гониометра дают сферические координаты нормалей к граням: λ – угол между некоей, принимаемой за нулевую, меридиональной плоскостью и меридиональной плоскостью, перпендикулярной к данной грани, проходящей через направление, по которому кристалл отъюстирован, т.е. установлен в гониометре; φ – угол между направлением юстировки и перпендикуляром к данной грани (рис. 8,а)*.

Для представления координат нормалей на плоскости было предложено несколько способов [293]. Старейшим из них является сте-

* В современной кристаллографической литературе приняты другие обозначения: долготу обозначают φ , а полярное расстояние – ρ .

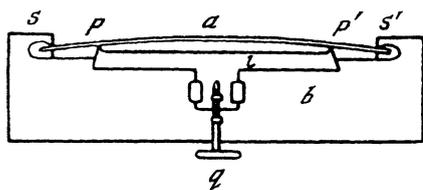


Рис. 9

реографический. Его предложил в 1854 г. профессор морской академии в Аннаполисе (США) У. Шовенет для решения сферических треугольников с целью определения местонахождения корабля в море [145].

За плоскость стереографической проекции была выбрана экваториальная плоскость (Q на рис. 8, б), на которую сфера проектируется в виде круга. Точкой зрения на эту проекцию тогда будет точка S .

Для проектирования прямой OA проводят линию SA от полюсной точки пересечения прямой OA со сферой до точки зрения S . Точка пересечения линии AS с кругом проекции и есть стереографическая проекция направления OA . Теперь легко понять, что горизонтальное направление проектируется как точки на экваторе, а плоскости – как дуги, опирающиеся на концы диаметра круга проекций.

Для удобства в работе Шовенет, а за ним и другой американский офицер С. Сигсби (1885) предложили строить стереографические проекции с помощью специальной сетки, разделенной через 1 градус на меридианы и параллели. Сами построения делались на прозрачной бумаге, наложенной на сетку и вращающейся вокруг ее центра [145].

Впервые стереографическую проекцию для представления результатов измерения кристаллов применил Е.С. Федоров. Он тоже использовал градусную сетку, которая представляла собой наложение двух стереографических проекций с разных (полярной и экваториальной) точек зрения, т.е. была универсальной. Но эта ее универсальность делала сетку неудобной и сложной в работе [234].

Вульф тоже широко использовал стереографическую проекцию. Еще в 1893 г. он опубликовал статью [29], в которой рассмотрел задачу о смене плоскости проекции и вытекающих отсюда следствиях. Смена плоскости проекции ведет к необходимости вычерчивания новых положений других плоскостей (дуг окружностей большого радиуса). Для этой цели Вульф предложил сконструированную им линейку, о которой мы уже упоминали.

Линейка (рис. 9) состоит из упругой полосы из стали или слоновой кости a , концы которой входят в зажимы s и s' , закрепленные на платформе b . Полоса может изгибаться под действием пластинок l с выступами p и p' , которая перемещается вращением винта q . Легко понять, что, вращая винт q , можно придать полоске форму дуги с большим радиусом.

В 1897 г. Вульф предложил свой способ работы со стереографической проекцией и свою специальную сетку, названную сеткой Вульфа. Об этом он доложил в том же году на заседании Казанского математического общества. Эта сетка оказалась очень похожа на сетки американских моряков, о работах которых он, однако, ничего не знал.

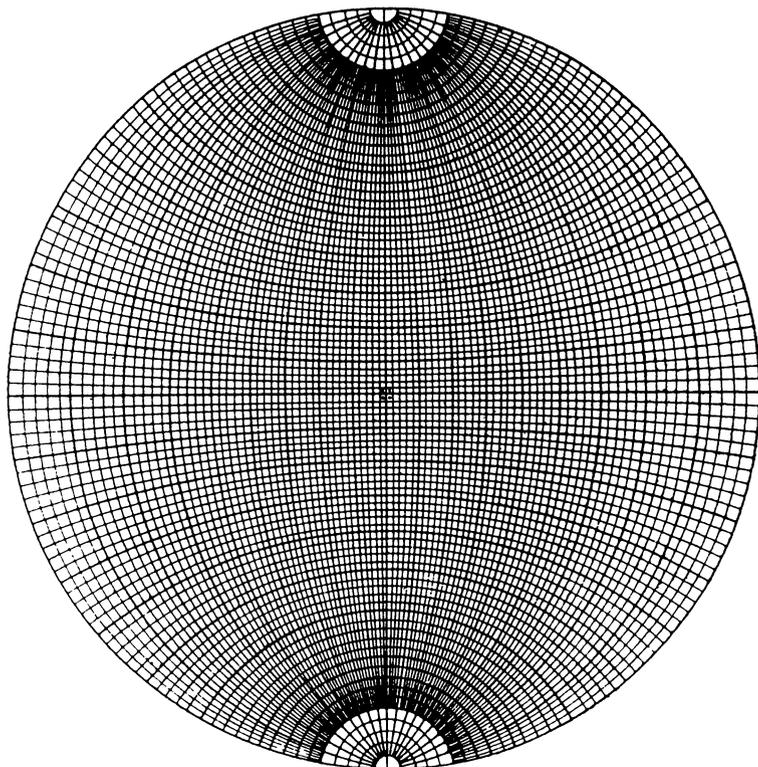


Рис. 10

"Я должен сознаться, – писал Вульф в предисловии к руководству, – что мне ничего не было известно о способе американских моряков. Несомненно, что их способ не вошел в употребление и был основательно забыт... **Такой неуспех американских моряков надо приписать весьма неудобным размерам и несоразмерно большой точности делений их сеток; успех же моего метода объясняется соответствием предложенного мною размера сетки и ее деления с точностью кристаллографической и петрографической практики.** Все это лишний раз доказывает, сколь необходимо для успеха дела уловить меру в соответствии между способом и целью, к которой он должен вести" [145, с. 6].

Сетка Вульфа – это сетка экваториального типа, т.е. за точку зрения принята точка пересечения экватора с одним из меридианов (рис. 10). Осью проекции служит диаметр сферы, на которой лежит точка зрения, а плоскость проекции – центральное сечение сферы, перпендикулярное к оси проекции. Сетка Вульфа имеет стандартный размер 20 см, линии параллелей и меридианов проведены через 2° . Расстояние между ними можно разделить на глаз еще на четыре части, поэтому работать с сеткой можно с точностью до $0,5^\circ$.

Экспериментальные данные по измерению кристаллов обычно не наносятся на саму сетку – на нее накладывают кальку и уже на кальку наносят точками полюса граней. Вращая и передвигая кальку, можно производить различные построения и вычисления.

Сетка Вульфа быстро завоевала популярность в мировой кристаллографической практике, ее использовали во всех лабораториях мира. Вот некоторые отзывы крупных кристаллографов и петрографов того времени.

Б. Госснер: "Вульфова сетка получила право гражданства преимущественно перед всеми другими пособиями при вычислении и измерении кристаллов... Вульфова сетка должна применяться при каждом кристаллографическом исследовании" [294, с. 25, 31].

Ф. Райт: "Здесь тоже сочетание прозрачной бумаги со стереографической сеткой в качестве шаблона, как это предложено Вульфом, должно быть рекомендовано для достижения скорых и точных результатов. Опыт показал, что самый лучший способ – это способ Вульфа" [295, с. 191].

Сам Вульф придавал большое значение своему изобретению и стремился внедрить сетку не только в кристаллографию (см. [60]), но в астрономию и географию, в те области, которые имеют дело с представлениями результатов на сферических поверхностях.

Описание сетки и простейшие методы работы с ней составляют первую часть разбираемой статьи. Во второй части, которая составляет собственно статью [59], приводится решение двух задач:

1. Вычислить угол между двумя точками на шаре p_1 и p_2 по данным полярным расстояниям φ_1 и φ_2 и широтам λ_1 и λ_2 этих точек.

2. Вычислить полярное расстояние φ и долготу λ полюса большого круга q , проходящего через две точки p_1 и p_2 на шаре, сферические координаты которых $\varphi_1, \lambda_1, \varphi_2, \lambda_2$ даны.

Решение этих задач легко находится с помощью формул сферической тригонометрии:

$$1. \cos(p_1, p_2) = \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2).$$

$$2. \operatorname{tg} \lambda = -\frac{\operatorname{tg} \varphi_1 \cos \lambda_1 - \operatorname{tg} \varphi_2 \cos \lambda_2}{\operatorname{tg} \varphi_1 \sin \lambda_1 - \operatorname{tg} \varphi_2 \sin \lambda_2}.$$

Эти формулы позволили Вульфу далее решить следующие важные для стереографического метода задачи:

1. Даны координаты плоскостей осей, найти координаты самих осей.

2. Даны координаты осей, найти отношение осевых единиц и индексы граней.

3. Из этих данных вычислить углы между осями.

Решение этих задач сопровождается конкретным примером. Даны сферические координаты граней кристалла серноватистоокислого кальция $\text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. С помощью полученных формул по этим координатам

вычисляются координаты осей, индексы граней и отношения осевых единиц.

Однако, замечает Вульф, все вычисления можно существенно упростить, если перед измерением особым образом отюстировать кристалл: или по одной оси, по одной из граней, содержащей обе оси, или по осям симметрии. Эти приемы тоже поясняются на примере того же кристалла серноватистоокислого кальция.

Статья [70] содержит еще одну часть, отсутствующую в статье [59]. Речь идет о способе черчения кристаллов в параллельной перспективе, т.е. об изображении внешней формы кристалла. Этот способ Вульф доложил 23 октября 1899 г. на заседании Отделения физики и химии Варшавского общества естествоиспытателей [56].

Разработанный им оригинальный способ черчения кристаллов использовался Вульфом на практике с 1897 г. В 1899 г. его независимо открыл Ф. Штебер [296], но в более сложном варианте – без применения стереографической сетки. Суть способа заключается в перенесении точки зрения стереографической проекции в бесконечность. Плоскость проекции при этом остается неизменной, так что если эта плоскость представляет собой направление ребра кристалла, то при общей плоскости стереографической и параллельной проекций направление проекций ребра кристалла в обеих проекциях будет одно и то же. Разница состоит в длине проекций отрезка.

Развивая эти идеи далее, Вульф показывает простые способы черчения кристаллов в ортогональной проекции.

2

Одна из самых важных работ Георгия Викторовича в области геометрической кристаллографии посвящена анализу погрешностей при измерении кристаллов с помощью теодолитного гониометра. Эта работа была опубликована в "Zeitschrift für Kristallographie" [59], а позднее в Трудах общества естествоиспытателей [68].

Вульф разбирает два источника систематических погрешностей, происходящих из-за наклона обеих осей прибора и от переклеивания кристалла на держателе. В отличие от Федорова, который рекомендует добиваться наибольшей перпендикулярности обеих осей, Вульф предлагает другую, более простую процедуру. В соответствии с ней прибор настраивается так, что биссектриса угла между осями обеих оптических труб описывает при вращении вокруг горизонтальной оси прибора конус, включающий полюс стереографической проекции. Но при этом в измерения необходимо вводить соответствующие поправки, которые Вульф и вычисляет.

Что касается второй систематической ошибки, то для ее устранения он предлагает техническое решение. Дело в том, что для измерения кристалл приклеивается воском к специальному кристаллодержателю. Часть кристалла погружается в воск и уже недоступна измерению. Поэтому для полного измерения кристалл необходимо переклеивать уже отмеренной стороной. Но при этом сбивается старая

юстировка и кристалл приходится юстировать заново, что, конечно, неудобно.

Вульф предложил специальный кристаллодержатель, устраняющий эти трудности (рис. 11). Кристалл k прикрепляется воском к тонкому столбику g , состоящему из двух очень узких стеклянных полосок, склеенных так, что образуются две взаимно перпендикулярные, хорошо отражающие свет плоскости g_1 и g_2 (см. выноску на рис. 11). Столбик неподвижно соединен с С-образной, тонкой и зачерненной металлической пластинкой p , которая крепится к столику гониометра t зажимным винтом s .

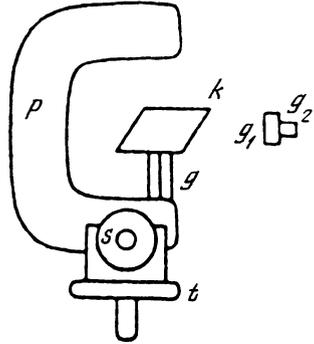


Рис. 11

При измерении записываются координаты плоскостей g_1 и g_2 : $\varphi_1, \lambda_1, \varphi_2, \lambda_2$ и по ним вычисляют координаты переклеенного кристалла: $\varphi'_1 \lambda'_1, \varphi'_2 \lambda'_2$. Тогда $\varphi'_1 = 180^\circ - \varphi_1$; $\varphi'_2 = 180^\circ - \varphi_2$; $\lambda'_1 = 360^\circ - \lambda_1$; $\lambda'_2 = 360^\circ - \lambda_2$. После того как одна половина кристалла измерена, пластинку p с кристаллом осторожно отделяют от столика t , перекалывают нижним концом вверх и в этом положении опять прикрепляют к столику t . Теперь необходимо отюстировать кристалл, руководствуясь вычислительными координатами g_1 и g_2 . Поскольку плоскости g_1 и g_2 дают четкие рефлексy, то юстировку можно сделать очень точно.

Эта работа, как видно, носит методический характер и в ее постановке явно чувствуется влияние школы Корню. Но еще большее влияние проявилось в другой работе Вульфа, которая называлась "О точности законов геометрической кристаллографии" [71], что отчетливо видно из прекрасно написанного введения:

"Исследование о пределах приложимости эмпирически установленных законов составляет одну из важнейших задач каждой такой науки. Поэтому вопрос, с какой степенью точности осуществляются природой законы геометрической кристаллографии на различных неделимых царствах кристаллов, должен считаться одним из главнейших вопросов кристаллографии.

Кристалл представляет собой многогранник, все грани которого связаны между собой известными кристаллографическими законами, и мы поступаем совершенно неправильно, произвольно выбирая для определения его постоянных только некоторые его грани, как бы они ни были важны для данного кристалла. Такой способ был бы совершенно правильным только в том случае, если бы кристалл был образован совершенно идеально, т.е. если бы погрешности в его образовании исчезли перед погрешностями измерения. Так как этого отнюдь не бывает, то для определения постоянных кристалла следует принимать в расчет все грани кристалла, вводя каждую грань в вычисления согласно **ее весу**. Другими словами, необходимо найти решение следующей основной задачи:

Предположим, что основные законы кристаллографии идеально

точные и что только случайные условия кристаллообразования препятствуют их точному осуществлению; в этом предположении, принимая во внимание каждую грань кристалла, смотря по ее весу, вычислим: 1) наиболее вероятные значения постоянных, определяющих кристалл, и 2) ту степень точности, с какой весь комплекс граней данного кристалла определяет самого себя кристаллографически.

Решение этой задачи составляет непосредственную задачу метода наименьших квадратов и без приложения этого метода к вычислению кристаллов совершенно невозможно.

Решение этой задачи дает также возможность строго испытать точность, с какой природа осуществляет законы кристаллографии, что еще более говорит в пользу разработки приложения метода наименьших квадратов к кристаллографическим вычислениям...

Мне кажется, что этих соображений вполне достаточно, чтобы убедиться, что мы до сих пор не обладаем способом определения точности кристаллообразования, который бы по строгости и общности был бы достоин законов кристаллографии. Ближайшая цель настоящего исследования будет состоять, поэтому, во-первых, в разработке приложения метода наименьших квадратов к вычислению кристаллов, и, во-вторых, в приложении этого метода к вопросу о точности кристаллообразования" [70, с. 1–3].

Таким образом, Вульф подошел к законам кристаллографии, определяющим форму кристаллов, как физик, рассматривая их как любой физический закон, который выполняется с той или иной степенью точности. Это прежде всего касается двух основных кристаллографических законов: закона постоянства углов кристалла и закона рациональных параметров.

Закон постоянства углов кристалла – один из самых старых законов кристаллографии. Его сформулировал в 1669 г. знаменитый датский натуралист Н. Стенон в своем трактате "О твердом, естественно содержащемся в твердом" (подробнее см. в [297]). В современной формулировке он звучит следующим образом: во всех кристаллах данного вещества при одинаковых условиях углы между соответствующими гранями кристаллов постоянны.

Пусть у нас есть несколько кристаллов одного и того же вещества, выращенных в разных условиях. По своему габитусу они отличаются друг от друга, так как имеют разное число граней. Но, тем не менее, в соответствии с законом Стенона углы между одинаковыми гранями у них будут равны.

Второй закон сформулировал через 150 лет французский кристаллограф Р. Гаюи (подробнее см. в [297]). Для того чтобы четко понять этот закон, надо представить себе кристалл в системе координат, оси которой образуют три, в общем не перпендикулярные между собой, его ребра. Представим также, что в этом кристалле выбрана, за единичную, некая грань, отсекающая по оси координат масштабные отрезки. Тогда закон Гаюи в современном виде можно сформулировать следующим образом: для любых двух граней реального кристалла двойные отношения параметров равны отношению малых целых чисел.

Легко понять, что как закон Стенона, так и закон Гаюи, есть следствие решетчатого строения кристаллов. До Вульфа никто не задумывался, с какой точностью выполняются эти законы для реальных кристаллов. А ведь уже давно было известно, что габитус не только природных, но и искусственно выращенных кристаллов зависит от условий кристаллизации.

Для того чтобы применить метод наименьших квадратов при анализе погрешностей при измерении кристаллов, необходимо использовать возможности, предоставляемые теодолитным методом. Как известно, в этом методе положение граней определяется полярным расстоянием φ и долготой λ . В результате измерения кристалла мы имеем систему точек $p_1 p_2 p_3 \dots p_q$ на шаре, определяемых сферическими координатами $\varphi_1 \lambda_1, \varphi_2 \lambda_2, \varphi_3 \lambda_3, \dots, \varphi_q \lambda_q$. На сфере тогда всегда можно определить три точки (полюса осей) x, y, z и три осевых единицы a, b и c так, что для любой точки p_i соблюдается условие

$$\frac{a}{h_i} \cos(p_i x) = \frac{b}{k_i} \cos(p_i y) = \frac{c}{l_i} \cos(p_i z), \quad (16)$$

где h_i, k_i, l_i – три целых числа (индексы граней), различные для различных точек. Положим $m = a : b, n = c : b$, тогда выражение (16) можно представить в виде

$$\frac{m}{h_i} \cos(p_i x) = \frac{1}{k_i} \cos(p_i y) = \frac{n}{l_i} \cos(p_i z). \quad (17)$$

Пусть теперь из граней $p_1, p_2, p_3, \dots, p_q$ выбраны четыре таких, которые при пересечении образуют тетраэдр с индексами $h_1, k_1, l_1; h_2, k_2, l_2; h_3, k_3, l_3; h_4, k_4, l_4$. Для каждой из этих четырех граней выражение (17) дает два независимых уравнения. Так как $\cos(p_i x), \cos(p_i y)$ и $\cos(p_i z)$ можно выразить через координаты точек, p_i, φ_i и λ_i и через координаты осей: $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z, \lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$, то мы получим восемь уравнений с восемью неизвестными: $m, n, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z, \lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$. Эти уравнения полностью определяют весь комплекс точек. Однако мы должны определить еще с помощью какого-либо простого способа (например, графически) для всех точек целые числа h, k, l , затем для каждой точки составить уравнение (17). Это дает в общем случае $2q$ **условных** уравнений, соответствующих числу $2q$ измеренных величин φ_i и λ_i . К этой системе легко применить правила метода наименьших квадратов и, решив ее, найти наиболее вероятные значения неизвестных $m, n, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z, \lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$.

Так Вульф сформулировал свою задачу в самом общем случае.

Далее он вводит веса граней, по аналогии с весом функции, переменные которой определены с некоторыми погрешностями. При решении общей задачи вес грани зависит от двух обстоятельств. Во-первых, полюс грани может быть определен на сфере с большей или меньшей точностью. А это, в свою очередь, зависит от качества рефлекса, определяющего точность установки, или от колебаний в по-

ложении грани, обусловленной кристаллизацией. Эти погрешности имеют случайный характер. Во-вторых, на точность положения осей и величины осевых единиц может влиять положение грани относительно осей. Поэтому вес, с которым грани принимают участие в определении неизвестных величин, зависит от средних погрешностей координат граней и от величин, характеризующих положение грани по отношению к осям кристалла.

С учетом сказанного выше и принимая во внимание упрощающее влияние симметрии кристалла, Вульф рассматривает далее формальные процедуры метода наименьших квадратов.

Эта процедура затем конкретно рассматривается на примере триклинного кристалла серноватистокислого кальция и кубического кристалла алюмокалиевых квасцов. В результате было показано, что в кристаллах серноватистокислого кальция закон постоянства углов между гранями выполняется с погрешностью $\pm 2'$. Что касается кристаллов квасцов, то, по мнению Вульфа, их вообще нельзя считать кубическими.

В заключение работы Вульф подводит итоги:

"Я позволю себе еще раз сопоставить результаты настоящего исследования:

1. Теодолитный метод позволяет осуществить приложение метода наименьших квадратов к вычислению кристаллов и притом в самой общей форме.

2. Метод наименьших квадратов, приложенный к вычислению кристаллов, позволяет воспользоваться для вычисления постоянных кристалла **всеми** гранями кристалла и при этом сообразно их весу, а не несколькими произвольно выбранными, как это обыкновенно делается. Благодаря этому возможно определить точность, с которой кристалл себя определяет всеми своими гранями, т.е. определить точность его образования или, еще иначе, определить ту точность, с которой на этом кристалле осуществлены природой геометрические законы кристаллографии.

3. Приложение метода наименьших квадратов к вычислению кристаллов серноватистокальциевой соли и квасцов привело к заключению, что каждому кристаллу свойственна явственно выраженная индивидуальность. Эта индивидуальность выражается, прежде всего, по отношению к точности кристаллообразования, законам рациональных чисел (законам поясов). Законы симметрии и постоянства углов осуществляются с меньшей точностью: величины, определяющие отклонение от этих двух законов, часто превышают пределы погрешностей, характеризующих первый закон.

4. Различные простые кристаллографические формы обладают на одном и том же кристалле различной степенью точности образования. На кристаллах калиевых квасцов октаэдр образован наиболее точно, за ним следует додекаэдр и куб. Отклонение более точно образованной формы от нормального положения скорее сопровождается появлением вицинальных граней, чем отклонение менее точной формы" [70, с. 63–64].

Эта работа очень интересна в методологическом плане. С начала своей научной деятельности, а особенно после работы у Грота, Вульф во всех своих кристаллографических исследованиях старался утверждать физический подход. И в этой работе он подошел к кристаллографическим законам как физик, считая царство кристаллов объектом не столько минералогии, сколько физики. Вот такой физический подход Вульф продолжал утверждать во всех последующих исследованиях.

Физичность разбираемой работы, сложность и трудоемкость математических выкладок сделали ее недоступной для кристаллографов и минералогов, а специфический кристаллографический материал исследования – недоступным для физиков. Работа, к сожалению, так и осталась невостребованной, несмотря на поднятые в ней фундаментальные для кристаллографии проблемы.

3

Особенность преподавания в Варшавском университете состояла в том, что преподаватели имели возможность объявлять необязательными курсы, связанные с их научными интересами. Вульф в полной мере пользовался этой возможностью. Когда он занимался изучением оптических свойств кристаллов, то читал курс кристаллооптики и даже выпустил соответствующее учебное пособие. Когда он исследовал процессы роста и растворения кристаллов, то читал необязательный курс "О явлениях кристаллизации". В 1896/97 учебном году Вульф объявил необязательный курс о симметрии кристаллов для студентов 2 и 3-го курсов [298].

Вопросы симметрии кристаллов интересовали Вульфа еще со студенческих лет. На интуитивном, качественном уровне симметрия воспринимается как правильность формы, соразмерность и закономерная повторяемость ее частей. Для изучения симметрии на уровне количественных соотношений кристаллографы, начиная с Х. Вейса и О. Браве и кончая И. Гесселем и А. Гадолиным, выработали свой математически точный язык. В его основе – идея инвариантности положения фигуры относительно поворотов и отражений в пространстве. Повороты и отражения осуществляются относительно воображаемых геометрических образов – осей, плоскостей, и их комбинаций. Эти геометрические образы стали называть элементами симметрии. Оси могут быть простыми, совмещающими фигуру поворота на угол $360^\circ/n$, где n – называют порядком оси; инверсионными, совмещающими фигуру поворотом на угол $360^\circ/n$ с последующим отражением в центре симметрии (\bar{n} – порядок оси). Легко понять, что ось $\bar{1}$ эквивалентна центру симметрии C , а ось $\bar{2}$ – плоскости симметрии m .

Минимальная совокупность элементов симметрии, достаточная для того, чтобы фигура совместилась сама с собой, называется группой симметрии, подчеркивая тем самым, что все эти повороты и отражения образуют группу в математическом смысле. Однако кристаллографы, в силу исторических традиций, называют совокупность элементов симметрии кристаллографическим классом или видом симметрии.

Гессель в 1830 г. и Гадолин в 1867 г. строго показали, что кристаллы в своей морфологической симметрии могут принадлежать только к одному из 32 видов симметрии. Это обусловлено тем обстоятельством, что совместимыми с кристаллической решеткой являются только следующие элементы симметрии: простые оси симметрии 1, 2, 3, 4 и 6, инверсионные оси симметрии $\bar{3}$, $\bar{4}$ и $\bar{6}$, центр симметрии $C(=\bar{1})$ и плоскость зеркальной симметрии $m(=\bar{2})$.

Итак, учение о симметрии к концу XIX в. без сомнения пребывало в состоянии фундаментальной завершенности. Однако это не помешало Вульффу подойти к этой проблеме со свежей, новой точки зрения. Он предложил перестроить все учение о симметрии кристаллов, положив в основу единственный элемент симметрии – плоскость зеркального отражения.

Впервые с этой идеей он выступил 27 марта 1896 г. на заседании Варшавского общества естествоиспытателей, однако не опубликовал свой доклад, поскольку считал работу незаконченной. Но 10 апреля текущего года Вульф получил журнал "Neues Jahrbuch fur Mineralogie", где в статье Виолы [299] излагались сходные идеи. К тому времени Вульф закончил вывод всех 32 видов симметрии кристаллов, исходя лишь из плоскостей симметрии, и придумал свою номенклатуру и способы ее обозначения. Все это вместе с первоначальным текстом доклада он решил опубликовать в Трудах Варшавского общества естествоиспытателей [39].

Первоначальный вариант доклада начинался с определения симметричных фигур, обладающих симметрией первого рода (проявляющихся с помощью только поворотов) и второго рода (проявляющихся с помощью поворотов и отражений). Отсюда Вульф делает вывод, что в таком "определении симметрии недостает единства" [39, с. 7]. Это единство появится, если положить в основу учения о симметрии плоскость зеркального отражения. Свое предложение он обосновывает следующим образом: "Я не ошибусь, если скажу, что в жизни под симметричным расположением предметов или отдельных частей одного и того же предмета мы называем исключительно одинаковое расположение их **справа и слева** одного или нескольких направлений (точнее плоскостей). Поэтому в общезнании признается только один элемент симметрии – плоскость симметрии, типичным примером которой служит зеркало" [39, с. 7].

Вульф показывает, что две плоскости, проведенные под углом α , действуют совместно, так же как ось симметрии, расположенная на линии их пересечения, с углом поворота в 2α . Этот случай двойного отражения автор назвал **хемисимметрией или половинной симметрией**. Хемисимметрия дает возможность получать все фигуры, обладающие симметрией первого рода. Если же совместно действуют сразу три плоскости, причем одна из плоскостей перпендикулярна линии пересечения двух других, то с их помощью можно получать все случаи симметрии второго рода. Этот случай Вульф назвал **тетартосимметрией или четвертной симметрией**.

"Таким образом, – пишет Вульф, – является возможность все случаи симметрии весьма просто свести на плоскость симметрии. Этим достигается цельность определения симметрии. Мы приходим к заключению, что **симметрия есть следствие отражения в одной или нескольких зеркальных плоскостях (плоскостях симметрии), действующих порознь, попарно и по три**" [39, с. 8].

На этом первоначальный текст доклада заканчивается. Далее Вульф конкретизирует свой подход применительно к кристаллам, показывая схематично и только в общих чертах, как можно, используя только один элемент симметрии – зеркальную плоскость, вывести все 32 вида симметрии кристаллов. Статья заканчивается таблицей, в которой приведены стереографические проекции каждого вида симметрии, их классификация и обозначения.

Последняя часть работы в расширенном и подробном изложении была опубликована в Варшавских университетских известиях [47]*, на французском языке в Ежегоднике по геологии и минералогии России [49] и в виде реферата на немецком языке в "Zeitschrift fur Kristallographie" [48]. Следовательно, Вульф придавал этой работе большое значение.

Статья открывается двумя определениями симметрии – классическим и предложенным Вульфом. Это явно сделано для того, чтобы читатель мог сравнить оба определения и оценить преимущества нового.

Классическое определение Вульф сформулировал следующим образом: **"Пространственная фигура обладает симметрией, если ее можно совместить с самой собой [с] помощью вращения около осей, проведенных через фигуру (операции совмещения первого рода), или [с] помощью совместного действия вращения и зеркального отражения в плоскостях, проведенных через фигуру перпендикулярную к осям вращения (операции совмещения второго рода)"** [47, с. 166].

Новое определение более пространно:

"1. Плоскость, способная отражать лучи света обеими своими сторонами и давать изображение предметов, называется зеркальной.

2. Симметрией называется то пространственное соотношение, которое связывает предмет и его изображение в одной или нескольких зеркальных плоскостях.

3. Зеркальная плоскость называется плоскостью симметрии, если в расчет принимается только обусловленная ею симметрия фигур.

4. Фигурами, симметричными друг другу, называются такие фигуры, которые относятся к любой из них, как изображения этой фигуры в одной или нескольких зеркальных плоскостях.

5. Если фигуры расположены относительно одной из них, как изображения этой фигуры в одной или нескольких зеркальных плоскостях, то говорят, что фигуры расположены симметрично относительно этих зеркальных плоскостей.

* Цитируется по: Вульф Г.В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952.

б. Симметричной фигурой называется такая фигура, части которой симметричны друг другу и симметрично расположены относительно плоскостей симметрии, проведенных через фигуру" [47, с. 161–169].

Это определение построено Вульфом в стиле точных математических аксиом и следствий, когда стремятся к исчерпывающей строгости, не допускающей произвольного толкования. Здесь явно чувствуется влияние математика П.О. Сомова. "Замечания П.О. Сомова привели к изменению редакции некоторых параграфов статьи и автор считает своим долгом выразить П.О. Сомову благодарность за любезное содействие", – пишет Вульф в заключение статьи [47, с. 191].

В соответствии с данным определением Вульф рассматривает далее три пересекающиеся зеркальные плоскости, образующие трехгранный угол, и доказывает теорему, по которой точка и ее изображение в зеркальных плоскостях, пересекающихся в одной точке, лежат на поверхности шара, центр которого – в точке пересечения плоскостей. Согласно этой теореме удобнее далее рассматривать не трехгранный угол, а сферический треугольник, полученный от пересечения трехгранного угла с поверхностью этого шара. Поэтому все дальнейшие построения Вульф проводит с помощью стереографической проекции. Он определяет основные понятия: симметрично равные фигуры, простое симметричное преобразование, плоскость простой симметрии, совместимое равенство, ось совмещения (симметрии), двойное симметрическое преобразование (плоскость двойной симметрии), тройное симметрическое преобразование (плоскость тройной симметрии).

Ученый доказывает основную теорему: совокупное действие двух зеркальных плоскостей выражается вращением предмета на прямой пересечения плоскостей как на оси, на угол, вдвое больший угла между плоскостями.

На основании такого рассмотрения легко доказать, что трехгранный угол зеркальных плоскостей есть самая общая их комбинация, так как отражение в четвертой плоскости приводит просто к совместимому равенству.

Далее Вульф исследует разделение симметрических преобразований по относительному числу получаемых изображений и показывает, что двойное преобразование дает половину, а тройное – лишь четверть всего возможного числа изображений. Но эти утверждения теряют смысл, если угол между плоскостями бесконечно мал. Поэтому справедлива теорема, по которой угол между двумя плоскостями должен быть целой частью полуокружности, если число плоскостей конечно.

Пусть ABC – сферический треугольник зеркальных плоскостей a , b и c (рис. 12). Пробная фигура для наглядности изображена в виде стрелки с загнутым в одну сторону концом. Последовательное изображение стрелки m в плоскостях a и b будет m' и m'' . Через три соответственные точки стрелок m , m' и m'' (их концы μ , μ' , μ'') проведена окружность. Очевидно, что плоскость этой окружности должна быть перпендикулярна к плоскостям a и b , потому, что в ней должны прохо-

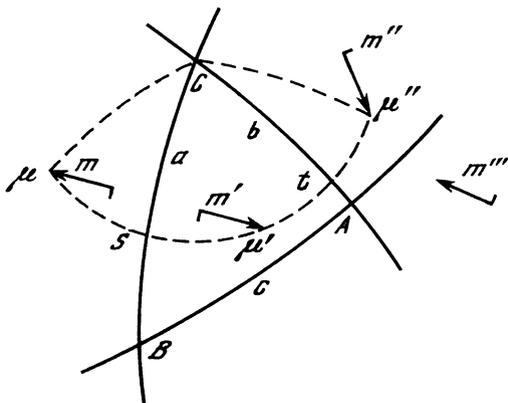


Рис. 12

дуть перпендикуляры к плоскостям a и b , при помощи которых точки μ' и μ'' получаются как изображение точек μ и μ' . Плоскость окружности перпендикулярна к диаметру C сферы, как прямой пересечения a и b . Поэтому при вращении точки μ на диаметре C она перейдет через точки μ и μ' . Если точки пересечения круга μ , μ' и μ'' с a и b есть s и t , то

$$\mu\mu'' = \mu s + t\mu'' + C.$$

Но так как $\mu s = s\mu'$ и $t\mu'' = \mu't$, то

$$\mu\mu'' = 2C,$$

что и требовалось доказать.

Затем Вульф переходит к кристаллографической симметрии. Он называет случаи симметрии, характеризующиеся присутствием плоскостей простого отражения – **холосимметрией**, присутствием плоскостей двойного отражения – **хемисимметрией**, присутствием плоскостей тройного отражения – **тетартосимметрией**. Последовательно, строго доказательно Вульф выводит все возможные кристаллографические виды симметрии. Их, как и следовало ожидать, оказывается 32.

Для их классификации и обозначения Вульф придумал свою номенклатуру. Все виды симметрии он разделил на 6 систем: правильная, гексагональная, тетрагональная, тригональная, диагональная и моногональная. Внутри 5-ти систем (за исключением моногональной) виды симметрии делятся на отделы: октаэдрический, тетраэдрический, бипирамидальный и пирамидальный. А отделы, в свою очередь, подразделяются на симметрии – холо-, хеми- и тетарто- в зависимости от числа образующих плоскостей.

В основу обозначений видов симметрии он положил сочетание плоскостей симметрии. Стороны треугольников обозначаются вели-

чиной противоположных им углов, выраженных в виде отношения $180^\circ/\alpha_i$, где $i = 1, 2, 3$. Таким образом, сферический треугольник определяется символом $s(mnp)$, где $m = 180^\circ/\alpha_1$, $n = 180^\circ/\alpha_2$ и $p = 180^\circ/\alpha_3$. Буква s – означает симметрию для того, чтобы не спутать эти индексы с индексами граней. Если же какая-либо сторона треугольника станет плоскостью двойного отражения, то в ее индексе появится значок ($'$), а если тройного – то ($''$).

Вульф считал, что он нашел легкий и простой способ вывода всех видов симметрии и разработал удобный способ их обозначения. Он успешно пропагандировал их на лекциях студентам, а также в своих учебниках и научно-популярных книгах. Но, увы! Современники предпочли обозначения Шенфлиса, которые, кстати, и сейчас используются физиками-теоретиками, а потомки разработали более простую международную номенклатуру.

В оправдание Вульфу надо сказать, что все выдающиеся кристаллографы считали своим долгом предлагать свою номенклатуру для обозначения видов симметрии. Среди них Гессель, Браве, Мебиус, Гадолин, Кюри, Федоров, Миннингероде, Шенфлис, Фойгт, Виола и совсем недавно ученик Вульфа Шубников.

Не приняли кристаллографы и предложение Вульфа о замене центра и осей симметрии плоскостями зеркального отражения. Однако как методический прием способ Вульфа получил широкое распространение. Его использовал в 1907 г. ученик Е.С. Федорова А.К. Болдырев при выводе групп симметрии конечных и бесконечных систем [300], а в наше время академик Н.В. Белов с его помощью наглядно вывел все 230 пространственных групп симметрии [301].

В связи с этим надо сказать, что Вульф тоже хотел предпринять вывод всех возможных способов расположения частиц в кристаллах с помощью своей концепции определяющей роли плоскостей симметрии. 31 мая 1897 г. на заседании Отделения физики и химии Общества естествоиспытателей Лагорио зачитал реферат [44] на эту тему. Из реферата следует, что для решения этой задачи Вульф ввел понятие об **односторонних** зеркальных плоскостях симметрии, способных отражать лишь в одну сторону. Тогда винтовую ось, необходимый элемент симметрии бесконечных пространственных фигур, можно заменить совокупным действием четырех односторонних плоскостей. Две из них параллельны друг другу и обращены отражающими сторонами в одну сторону, что обеспечивает поступательную часть винтового перемещения. Две другие плоскости, тоже обращенные отражающими сторонами согласно, пересекаются по винтовой оси и дают вращательное отражение. Одностороннее действие плоскостей необходимо для того, чтобы можно было различить левое и правое вращение. Такое рассмотрение, по мнению Вульфа, внесет последовательность, строгость и простоту в эту сложную проблему – вывод всех возможных случаев пространственной симметрии бесконечных решеток.

"Однако, – говорится далее в докладе, – референт не берется за задачу – вывести все эти случаи из данного определения симметрии,

так как с одной стороны она уже решена, а с другой – для кристаллографии ее решение не имеет, по убеждению референта, насущного значения и представляет лишь отвлеченный интерес" [44, с. 2].

Да, вывод всех пространственных групп симметрии к этому времени уже был завершён Федоровым и Шенфлисом и здесь Вульф безусловно прав, тем более, что вывод 230 пространственных групп его методом был бы ещё более трудоемким делом, чем методом Федорова.

Однако, что касается его замечания о "несущественном значении" этого вывода и его "отвлеченном интересе" для кристаллографии, то здесь Вульф разделяет несправедливое мнение всех тогдашних кристаллографов, которые видели в работах Федорова лишь изящную игру ума, не имеющую никакого отношения к строению реальных кристаллов. Но десять лет и первые же рентгеноструктурные исследования Брэггов и самого Вульфа покажут, что реальное расположение атомов в кристаллах точно описывается только с помощью федоровских пространственных групп симметрии.

Последние годы в Варшавском университете

1

Последние годы работы Вульфа в Варшавском университете были особенно плодотворными. Кроме уже рассмотренных работ по геометрической кристаллографии, им были выполнены интересные исследования оптических свойств кристаллов.

Оптика кристаллов всегда интересовала Вульфа. С первых лет своей преподавательской деятельности он читал студентам курс кристаллооптики и в 1894 г. написал соответствующее учебное пособие [35].

Работы этого периода неравноценны. Среди них есть заметка о скрещенной дисперсии оптических осей в кристаллах пинолгликоля [45], в которой угол между оптическими осями их кристаллов измерен как функция длины волны света. Две чисто методические работы: одна из них [50] была доложена на заседании Физико-математического общества Казанского университета во время кратковременного пребывания в нем Вульфа. Она касается наблюдения выхода оптических осей кристаллов с помощью специального приспособления. Само же приспособление к поляризационному микроскопу совершенно идентично трехосному столику Федорова – оно допускает вращение двух взаимно перпендикулярных осей и нуждается в стеклянном шаровом сегменте, который наклеивается на кристаллическую пластинку. Однако Вульф не упоминает ни столик Федорова, ни самого Федорова, а работа подана как оригинальная. Кажется, что это является следствием все того же конфликта между ним и Федоровым, начавшегося после инцидента, возникшего вокруг публикаций Вульфом рефератов статей Федорова.

Вторая методическая работа [68] посвящена использованию гониометра для измерения разности хода, возникающей при прохождении света через пластинку, вырезанную из кристалла. Вначале эта задача рассмотрена теоретически для получения простых формул, связывающих разность хода с показателями преломления кристалла, углами падения и толщиной пластинки. Эти формулы проверяются на примере измерения пластинок кальцита и арагонита. Для этого Вульф снабдил гониометр поляризатором и анализатором, превратив его в прибор для кристаллооптических исследований.

Еще одна оптическая работа, имеющая сейчас лишь теоретический интерес, посвящена попытке объяснить оптические аномалии азотно-кислых солей свинца, бария и стронция [42, 43]. В этих статьях речь идет о необычных оптических свойствах смешанных кристаллов указанных солей, исследованных немецким кристаллографом Р. Браунсом [302]. Он нашел, что разные пирамиды роста обладают разными опти-

ческими свойствами в зависимости от того, какие грани образуют их основания. Так, если основанием является грань куба, то пирамида оптически изотропная, если – грань октаэдра, то одноосная положительная, если – пентагон-додекаэдр, то одноосная отрицательная.

Вульф пытался объяснить полученные результаты с позиций теории Малляра. Напомним, что в соответствии с этой теорией кристаллы средних и высших сингоний можно рассматривать как совокупность вложенных друг в друга решеток низших сингоний. Эту совокупность называют неделимыми.

С помощью стереографических проекций он пробует скомбинировать оптически одноосные неделимые, образующие пирамиды Браунса, и найти положения оптических осей смешанных решеток. Затем, используя теорию Френеля, в соответствии с которой скорость света обратно пропорциональна упругости среды, находит формы оптических индикатрис. Они совпали с экспериментально найденными. Полученный результат Вульф счел качественным подтверждением теории Малляра.

С современной точки зрения отличие в оптических свойствах различных пирамид роста объясняется всего лишь ростовым напряжением.

2

Наиболее интересным и важным исследованием Вульфа этого периода является изучение оптических свойств изоморфных смесей. Первоначально об этом было доложено на заседаниях Варшавского общества естествоиспытателей и опубликовано в его Трудах [54, 55], а позже, в существенно расширенном виде – в "Zeitschrift fur Krystallographie" [60, 78].

По собственному признанию Вульфа, толчком, побудившим его начать исследования оптических свойств смешанных изоморфных кристаллов, была статья Я. Ретгерса [303], в которой автор в результате тщательных количественных исследований пришел к выводу, что "у изоморфных смесей имеет место пропорциональность между удельным весом (следовательно и удельным объемом) и химическим составом".

Количественные выражения закона Ретгерса следуют из закона аддитивности. Если удельные веса смешивающихся изоморфных кристаллов δ_1 и δ_2 (соответствующие им удельные объемы $\omega_1 = 1/\delta_1$ и $\omega_2 = 1/\delta_2$), то между этими величинами и удельным весом δ (удельным объемом ω) смешанного кристалла имеют место соотношения

$$(v_1 + v_2)\delta = v_1\delta_1 + v_2\delta_2, \quad (18)$$

$$(m_1 + m_2)\omega = m_1\omega_1 + m_2\omega_2, \quad (19)$$

где v_1 и v_2 – объемы смешивающихся кристаллов, а m_1 и m_2 их массы (веса).

Отсюда, если положить $m_1 + m_2 = 100$ и $v_1 + v_2 = 100$, следует, что

$$\delta = \frac{(\delta_2 \pm \delta_1)v_2}{100} + \delta_1, \quad \omega = \frac{(\omega_2 \pm \omega_1)m_2}{100} + \omega_1.$$

Из соотношений (18) и (19), полученных Ретгерсом, Вульф сделал вывод о том, что **"изоморфные вещества смешиваются механически, так что объем смеси равен сумме объемов смешиваемых веществ"** [54, с. 2]. Этим смеси отличаются от смешанных кристаллов, которые являются химическими соединениями.

"Когда я обратил внимание на указанное весьма важное свойство изоморфных смесей, – пишет Вульф, – мне сразу показались неточными все до сих пор установленные законы, где выражалась весьма простая связь различных физических постоянных смешанных кристаллов с весовыми соотношениями смешивающихся веществ, причем оставались без внимания удельные веса" [54, с. 2].

Для проверки этого предположения Вульф решил использовать оптические свойства смешанных изоморфных кристаллов. Подтверждение правильности выбранного пути он нашел в книге А.Е. Арцруни "Физическая химия кристаллов", вышедшей на немецком языке [304]. Автор пишет, что считает "уместным и теоретически более правильным все физические свойства (в том числе и оптические) выражать через объемные проценты".

Для решения поставленной задачи Вульф выбрал два изоморфных кристалла $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Cs}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Кристаллы сильно различаются по плотности: $1,721 \text{ г/см}^3$ для аммониевой соли и $2,672 \text{ г/см}^3$ – для цезиевой, что является принципиальным для решения поставленной задачи.

Вместо трудно выполнимого с высокой точностью измерения показателей преломления, ученый решил измерить угол погасания на максимально развитых гранях, тем паче, что эти углы имеют различия для двух чистых солей: углы погасания на гранях (010) отличаются на 43° , а на гранях (110) – 54° .

В теоретической части Вульф выводит формулу, связывающую угол погасания μ_0 смешанного кристалла с величинами двупреломления в данном сечении оптической индикатрисы для одного δ_1 и другого δ_2 кристалла и углы погасания одного из них равны μ_2 :

$$\text{ctg } 2\mu_0 = \frac{k_1\delta_1}{k_2\delta_2} \frac{1}{\sin 2\mu_2} + \text{ctg } 2\mu_2, \quad (20)$$

где k_1 и k_2 – "количество" одного и другого вещества.

Для экспериментального исследования Вульф приготовил 9 смешанных кристаллов с соотношением компонент 1 : 9; 2 : 8; 3 : 7; 4 : 6; 5 : 5; 6 : 4; 7 : 3; 8 : 2 и 9 : 1. Вначале были измерены углы чистых кристаллов. Для аммониевой соли он оказался равным $6^\circ 7'$, для цезиевой соли $61^\circ 51'$ со средней погрешностью $\pm 25'$. Затем для этих кристаллов были измерены величины двупреломления. Средняя величина отношения двупреломления цезиевой соли к двупреломлению аммониевой соли оказалась равной $1,27 \pm 0,015$.

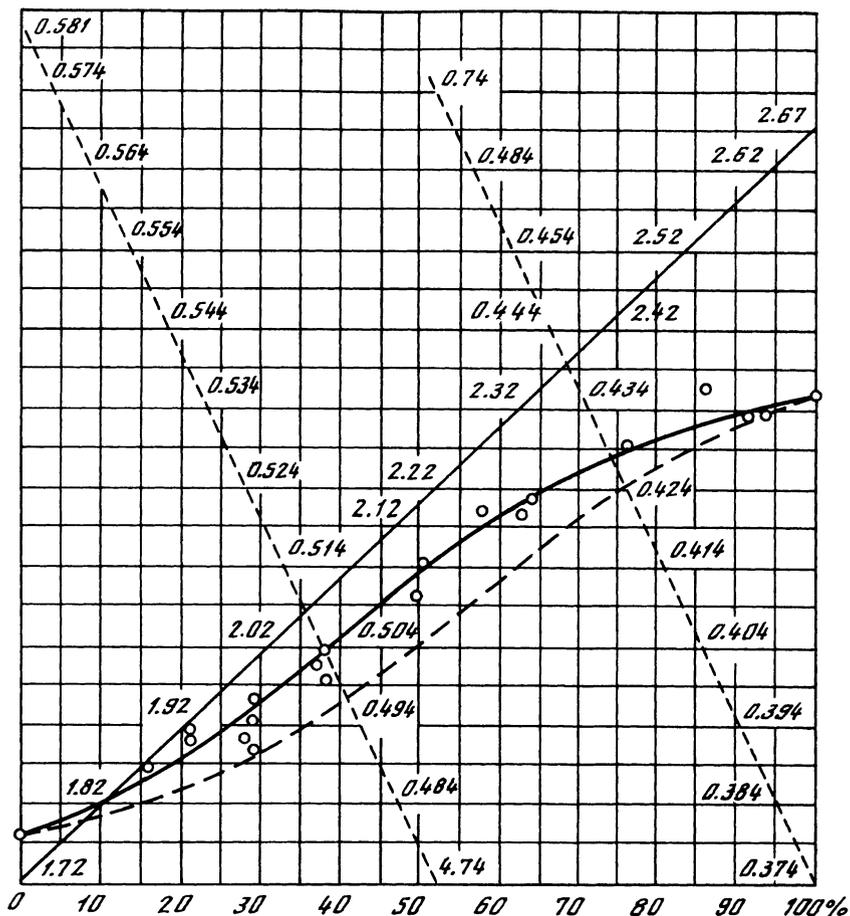


Рис. 13

В предварительном сообщении [54] Вульф привел экспериментальные данные по измерению угла погасания на грани (010). По формуле (20) он рассчитал угол погасания μ , принимая, что k' и k'' есть "количества" обоих кристаллов, выраженные в объемных и массовых концентрациях. При этом он констатировал, "что углы угасания (погасания. – Прим. А.С.), расположенные по объемным отношениям, гораздо ближе следуют теоретическим величинам, чем будучи расположены по весовым отношениям... и мы приходим к заключению, что **оптические постоянные кристаллов смешанных изоморфных веществ пропорциональны объемам составных частей смеси**" [54, с. 4–5].

В следующей работе [60] Вульф измеряет угол погасания на грани (110). Полученные результаты представлены в виде графика (рис. 13), где на оси абсцисс отложен процентный состав цезиевой соли (слева

направо) в смешанном кристалле. На оси ординат отложены три величины:

1. Угол погасания. При этом изогнутая сплошная кривая показывает теоретическую зависимость угла погасания от объемной концентрации смешанного кристалла, а пунктирная изогнутая кривая – то же, но от массовой концентрации. Точки, обведенные кружочками – экспериментальные значения.

2. Удельный вес показан тонкой изогнутой кривой.

3. Удельный объем – штрихпунктирной прямой.

"Уже первый взгляд на рисунок, – пишет Вульф, – убеждает нас, что экспериментальные точки много ближе группируются к изогнутой кривой, чем к пунктирной и это соответствует тому, что **показатели преломления смешанных кристаллов пропорциональны объемам смешивающихся кристаллов**" [60, с. 13].

Итак, проблема решена. Однако ученый обращает внимание на то, что экспериментальные точки не очень хорошо ложатся на сплошную кривую. Он видит причину этого в неоднородности смешанных кристаллов. Подтверждением тому служат наблюдения над кусочками смешанных кристаллов, взвешенных в метиленхлориде – иммерсионной жидкости.

Кусочки из верхнего слоя кристалла заметно легче и плавают в этой жидкости, кусочки из центральных областей тяжелее и тонут. Далее Вульф изучил срезы этих кристаллов и нашел, что различные пирамиды роста обладают разным погасанием.

Большая часть статьи посвящена описанию стереографической проекции, сетки и работе с ней. С помощью стереографической проекции Вульф решает две задачи, связанные с распространением света в кристаллах. До него для этой цели стереографическая проекция не применялась.

Первая задача – это построение изополяризационных кривых, т.е. нахождение направлений в кристаллах, распространяясь вдоль которых свет будет иметь одинаковую поляризацию. Вторая задача – нахождение направлений в кристаллах, распространяясь вдоль которых свет будет иметь одинаковую разность хода. Вульф показал, то использование стереографической проекции и сетки существенно облегчает нахождение этих направлений.

В следующей части статьи [60] – приводится описание двух приспособлений к двухкружному гониометру системы Чапского для точной ориентировки кристаллических пластинок и источника света для подвижного коллиматора.

Вульф пользовался двухкружным гониометром системы Чапского (см. рис. 7), в котором, в отличие от гониометра Федорова, держатель кристалла располагался вертикально, а коллиматор и зрительная труба – на горизонтальной оси. Он постоянно подчеркивал преимущества этого прибора по сравнению с гониометром Федорова. "*Не колеблясь, высказываюсь за систему Чапского, – писал он Вернадскому. – Я уже заказал Фуэссу второй экземпляр. Грот тоже держится этой системы*" [161, л. 23].

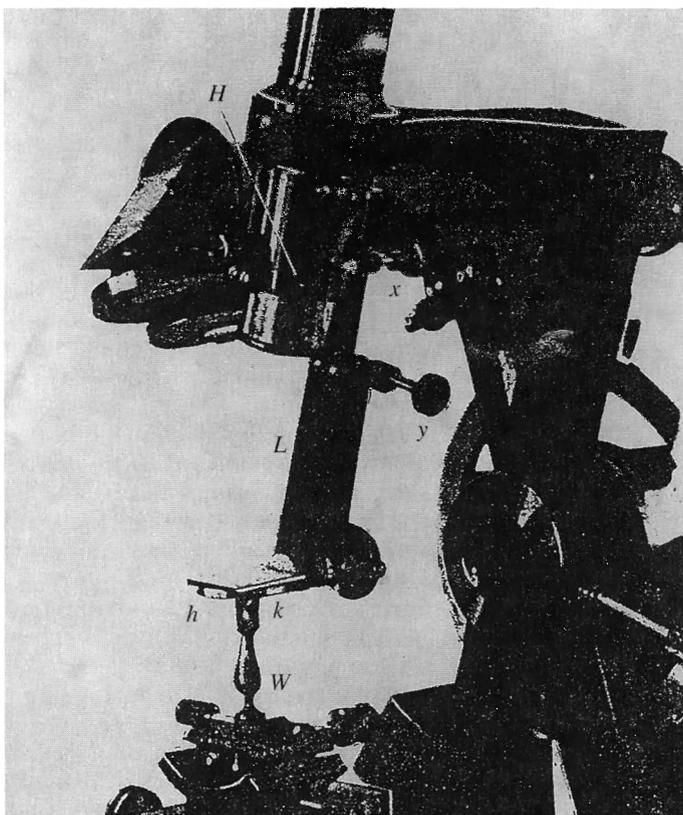


Рис. 14

Конечно, гониометр Чапского удобен, но не сказываются ли и здесь непростые личные отношения Вульфа и Федорова? Первое приспособление касается усовершенствования осветительного устройства подвижного коллиматора. Вульф предлагает заменить его стационарным, а коллиматор снабдить зеркалом и линзой для того, чтобы свет от стационарного осветителя попадал на грань юстируемого кристалла. Такими осветителями, как сообщил Вульф, фирма Фуэсса уже снабжает гониометры Чапского новой конструкции.

Второе приспособление (рис. 14) предназначено для изготовления шлифов из кристаллов, ориентированных определенным образом. На коллиматор со стороны объектива надевается гильза *H*, которая может вращаться вокруг его оси с помощью винта *x*. На этой гильзе находится стержень *L*, направленный к держателю кристалла *W*, на конце которого расположена подковообразная металлическая пластинка *h*, на уровне держателя кристалла, поворачивающаяся вокруг стержня с помощью винта *y*. Для изготовления шлифа кристалл юстируется на гониометре для вывода нужного направления, перпендикулярного бу-

дущему шлифу. К нему подводится подковообразная пластинка, на нее кладется стеклянная пластинка g , к которой кристалл k приклеивается легкоплавкой замазкой. Теперь плоскость будущего шлифа зафиксирована, пластинка снимается и переносится на держатель шлифовальной машины.

Это приспособление Вульф использовал для изготовления шлифов смешанных кристаллов, исследованных в этой работе. Он считал свое изобретение весьма важным и описал его в специальной статье [93].

Были изготовлены шлифы смешанных кристаллов, перпендикулярные оптической оси кристалла аммониевой соли. В смешанных кристаллах это направление уже не является оптической осью и распространяющийся по нему свет обладает определенной разностью хода. Вульф считал, вполне логично, что эта разность хода пропорциональна содержанию цезиевой соли в смешанном кристалле. Его измерения хорошо согласовывались с вычисленными для этого направления значениями величин двупреломления.

Найденная закономерность между двупреломлением и объемным содержанием смешанных кристаллов справедлива только для изоморфных кристаллов. Она, таким образом, есть тест на изоморфизм. Его использовал Вульф в последней части статьи [60] для решения вопроса о том, являются ли входящие в состав минералов плагиоклазов альбит и анорит изоморфными кристаллами. Он использовал данные по показателям преломления, полученные А. Леви [305] для семи образцов, содержащих разное количество составляющих соединений, и нашел, что они не подчиняются найденной им закономерности. "Ввиду этого, – писал Вульф, – я считаю себя вправе утверждать, что плагиоклазы не представляют ряд изоморфных смесей" [55, с. 4].

3

Несмотря на вроде бы убедительные доказательства, приведенные в этой статье, Вульфу вскоре стало ясно, что проблема оптических свойств смешанных изоморфных кристаллов до конца не решена. "Результаты этого исследования, – писал он, – показались мне все же не окончательными, поскольку для обеих веществ из-за небольшой разницы в молекулярных объемах, объемные проценты мало отличаются от молекулярных процентов, и хотя было несомненно установлено, что в этом случае k не пропорционально весовым процентам, все же оставалась неясность, соответствуют ли k объемным или молекулярным процентам" [78, с. 559].

Идея о прямой связи оптических свойств изоморфных смешанных кристаллов с молекулярным содержанием компонент не являлась в то время новой. Еще в 1878 г. ее начал развивать французский кристаллограф Г. Дюфе [306]. Он и его ученики показали, что для ромбических кристаллов

$$n_a = k'n'_a + k''n''_a, \quad n_b = k'n'_b + k''n''_b, \quad n_c = k'n'_c + k''n''_c, \quad k' + k'' = 1, \quad (21)$$

где n_a , n_b и n_c – показатели преломления смешанных кристаллов,

n'_a, n'_b, n'_c – показатели преломления одного изоморфного компонента; n''_a, n''_b и n''_c – показатели преломления второго компонента, а k' и k'' – концентрации первого и второго компонентов, пропорциональные числу молекул этих компонентов.

Идею Дюфе поддержал такой авторитет как Малляр [307]. Это не могло не обеспокоить Вульфа, ибо его результаты, изложенные в [60], не стыковались с этой идеей. Поэтому он предпринял новое исследование, результаты которого опубликовал в 1907 г. в журнале "Zeitschrift für Kristallographie" [78].

Основному тексту предшествует введение, где кроме обзора литературы Вульф вывел свою формулу, связывающую показатель преломления смешанного кристалла с показателями преломления компонент. Он рассматривает стопку кристаллических пластинок разной толщины ε_i с показателями преломления n_i и утверждает, что существует аддитивный закон

$$n_i \varepsilon_i = n \sum \varepsilon_i,$$

где n – показатель преломления стопки как целого.

Отсюда он получает, что

$$n'k' + n''k'' = n,$$

где k' и k'' – объемные концентрации компонент.

"Приведенные соображения, – пишет Вульф, – говорят против предположения Дюфе о пропорциональности показателя преломления числу образующих смесь молекул обоих компонент и вопрос состоит лишь в том, пропорционален ли n объему или весу. И хотя я считал невероятным утверждение о том, что n пропорционален числу молекул, все же в моей работе (см. [60]. – Прим. А.С.) эта точка зрения недостаточно четко выражена. Поэтому я считаю своим долгом более подробно исследовать этот вопрос и изучить такие изоморфные вещества и их смеси, которые сильно отличаются по удельным весам и молекулярным объемам" [78, с. 561–562].

Такими веществами Вульф считал сульфаты щелочных металлов и аммония. Эти кристаллы ромбические, оптически двухосные, при этом их оптические индикатрисы не подобны. Поэтому их двупреломления по разным кристаллографическим осям будут иметь разный знак.

Вульф подробно проанализировал, исходя из закона аддитивности, поведение двупреломлений разного знака при смешении таких кристаллов. В качестве примера он рассмотрел случай, когда смешанные кристаллы образуют два изоморфных вещества, обладающих двупреломлениями:

$$\begin{array}{ll} \Delta'_a = \beta \pm \gamma < 0 & \Delta''_a = \gamma \pm \beta > 0 \\ \Delta'_b = \gamma \pm \alpha > 0 & \Delta''_b = \beta \pm \alpha > 0 \\ \Delta'_c = \alpha \pm \beta < 0 & \Delta''_c = \alpha \pm \gamma < 0 \end{array}$$

где α , β и γ – показатели преломления.

Рассмотрев все возможные случаи образования смешанных кристаллов из компонент с различными знаками двупреломления, Вульф

пришел к следующим выводам:

1. Если в процессе образования смешанных кристаллов средняя ось оптической индикатрисы не меняет своего положения, а две другие оси меняют их, то знаки всех двупреломлений различны. При этом все три прямые зависимости двупреломления от концентрации пересекают ось абсцисс и смешанные кристаллы при трех концентрациях становятся оптически одноосными.

2. Если же все три оси оптической индикатрисы циклически меняются местами, то два двупреломления имеют противоположные знаки и два смешанных кристалла будут оптически одноосными.

3. Если наибольшая или наименьшая оси оптической индикатрисы сохраняют свое положение, а другая меняет свое положение, то два двупреломления имеют противоположные знаки и только один смешанный кристалл будет одноосным.

4. Если все оси оптической индикатрисы остаются на своих местах, то вне зависимости от знаков двупреломления, ни одна из прямых, описывающих зависимость двупреломления от концентрации, не будет пересекать ось абсцисс и ни одного оптически одноосного кристалла не образуется.

В начале для экспериментального решения поставленной задачи Вульф выбрал кристаллы сульфатов калия и цезия. Но получить смешанные кристаллы при больших концентрациях калиевой соли оказалось невозможным. Тогда он получил чистые и смешанные кристаллы калиевой и аммониевой солей.

С помощью компенсатора Бабине и методом клина были измерены двупреломления чистых солей K_2SO_4 и $(NH_4)_2SO_4$. Эти данные были необходимы для того, чтобы с помощью принципа аддитивности выразить зависимость двупреломления от концентрации x – доли аммониевой соли в 100 частях смеси. Затем полученные величины Вульф подставил в выражение для угла оптических осей. Зависимости от этих величин для различных изоморфных смесей рассматриваемых кристаллов были измерены Вырубовым, а также содержались в работе Малляра [307]. Отсюда он вычислил величины x для 11 смешанных кристаллов, измеренных Вырубовым, для которых были также определены весовые, объемные и молекулярные концентрации. Найденные Вульфом величины x не совпали ни с одной из перечисленных концентраций аммониевой соли, но ближе всего при больших концентрациях приближались к весовой концентрации.

"Но это, – пишет Вульф, – противоречит всем до сих пор сделанным наблюдениям и конечно я не мог оставить такое недоразумение без тщательного исследования" [78, с. 577].

Вульф предложил своему ученику Г. Малиновскому вырастить однородные смешанные кристаллы солей, для которых были измерены удельные веса и двупреломления. В результате тщательных измерений Вульф сделал следующие выводы: "1) Измерения Вырубова совершенно правильны; 2) коэффициенты k в уравнениях (21) в смешанных кристаллах K_2SO_4 и $(NH_4)_2SO_4$ пропорциональны не объему или числу молекул, а весу смешивающихся веществ. Эти результаты находятся в

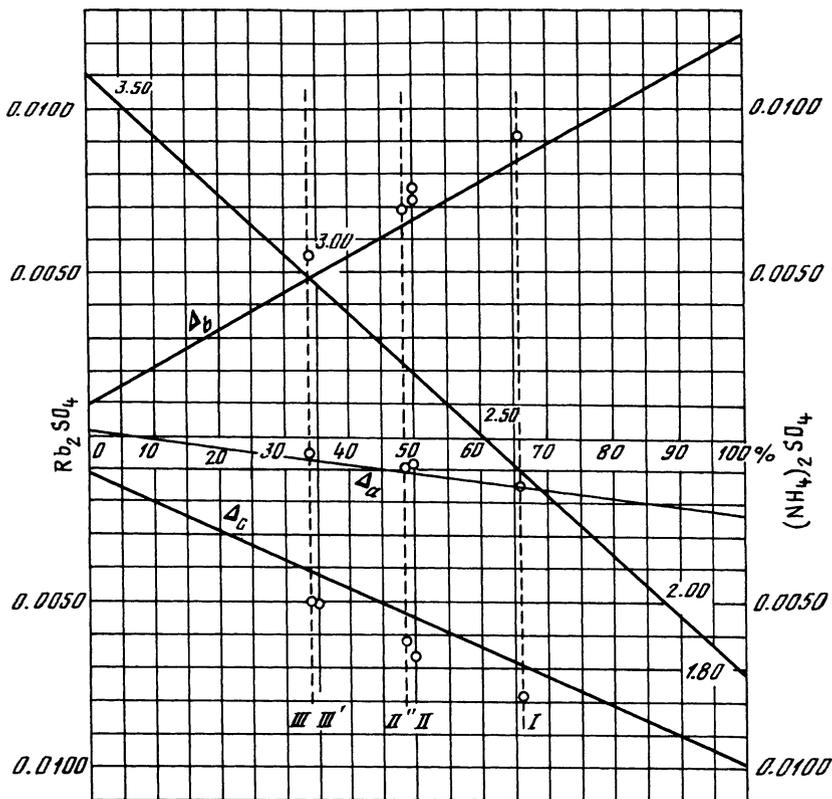


Рис. 15

резком противоречии с теми исследованиями, согласно которым коэффициенты k пропорциональны не весу смешиваемых веществ, а их объемам или числу молекул. Такое многообразие природы коэффициентов k совершенно недопустимо и указывает только на некорректность уравнений (21). Из этого можно сделать единственный вывод, что никакой линейной связи между главными показателями преломления в смешанных кристаллах ромбической системы нет" [78, с. 578].

Однако Вульф еще не может отказаться от мысли о связи оптических свойств смешанных кристаллов с объемной концентрацией. Он снова видит причину несоблюдения этого правила в неоднородности кристаллов сульфатов аммония и калия и решает еще раз проверить все на смешанных кристаллах сульфатов рубидия и аммония, сильно различающихся удельными весами, но имеющих почти одинаковые молекулярные объемы.

Смешанные кристаллы сульфатов аммония и рубидия получились на удивление однородными. Были выращены семь кристаллов, различающихся по своему составу, а измеренные величины представлены на рис. 15.

По оси ординат нанесены величины двупреломления чистых кристаллов Rb_2SO_4 (слева) и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (справа). Прямые линии, соединяющие их, это аддитивная зависимость двупреломления смешанных кристаллов от состава, измеренного в процентах и отложенная на оси абсцисс. Здесь же проведена прямая, на которой помечены удельные веса смешанных кристаллов. На пунктирных линиях, проведенных через экспериментальные точки, на оси абсцисс выделен объемный процент компонент в смешанном кристалле.

Хорошо видно, что экспериментальные данные не подтверждают связь ни с объемной, ни с весовой, ни с молекулярной концентрацией смеси.

В заключение приведены следующие выводы:

"Мы пришли к тому результату, что в изоморфных смешанных кристаллах нет никакой линейной связи между главными показателями преломления смешанного кристалла и показателями преломления конечных членов ряда смешивания. Отсюда мы можем заключить, что оптически смешанный кристалл никоим образом не может считаться простой совокупностью расположенных друг возле друга частиц образующих его компонентов" [78, с. 586].

В связи с этим, возвращаясь опять к вопросу о природе плагиоклазов, Вульф вынужден признать, что "мы лишились основания разрешить его, исходя из оптических свойств его членов" [78, с. 586].

Эти две рассмотренные нами большие работы Вульфа интересны во многих отношениях.

Во-первых, в выборе темы; Вульф до того никогда не занимался смешанными кристаллами, хотя проблема изоморфизма интересовала его уже давно. Это связано с той важной ролью, которую играют изоморфные кристаллы в решении проблемы структуры кристаллов. Поскольку изоморфные кристаллы легко образуют смешанные кристаллы, их внутреннее строение должно быть подобным. В пространственной решетке смешанного кристалла атомы или ионы исходных веществ должны занимать одни и те же положения. В "дорентгеновскую эпоху" осознание этого важного факта имело большое значение для построения моделей микроскопической структуры кристаллов. Так, установление лишь самого факта изоморфизма двух или нескольких кристаллов уже позволяло объединить их в одну группу с подобной кристаллической решеткой.

То же самое можно сказать и о физических свойствах изоморфных кристаллов. Если физические свойства определяются внутренним строением кристалла, то, изучая тонкие особенности их изменения в последовательном ряду смешанных кристаллов, можно рассчитывать получить сведения и об особенностях их внутреннего строения.

Как мы знаем, Вульф всегда ставил проблему внутреннего строения кристаллов на первое место. И поэтому выбор в качестве объектов изоморфных веществ с этой точки зрения понятен. Что же касается оптических свойств кристаллов, то это давняя любовь Вульфа. На протяжении всей своей научной деятельности он неоднократно возвра-

щался к этой теме, так как считал, что оптические свойства наиболее тонко отражают внутреннее строение кристаллов.

Во-вторых, эти работы интересны в методическом отношении. Вульф еще раз проявил себя как первоклассный методист и экспериментатор. Достаточно вспомнить как тонко и точно были спланированы одна и другая работы, как адекватно были выбраны методы измерения, какие экспериментальные усовершенствования он внес. Как тщательно были отработаны экспериментальные данные. Во всем ощущается чутье опытного исследователя.

В-третьих, работы интересны своей незаконченностью. Ведь окончательного ответа на поставленный вопрос получено не было. Вульф только высказал предположение, что в смешанных изоморфных кристаллах между преломляющими свойствами (показателями преломления, углами оптических осей, углами погасания) и составом не существует линейной связи, что и отвечает действительности. Прямых же доказательств он представить не смог, как не смог и найти эту нелинейную зависимость в явном виде. И, кажется, что этому есть объективные причины. Последняя работа была выполнена во время революции, когда в Варшавском университете уже начались волнения. Гражданская позиция не позволяла Вульфу остаться в университете. Таким образом, он на долгое время оставался без лаборатории и возможности продолжать экспериментальные исследования. Если бы этого не случилось, без сомнения Вульф продолжил бы исследования в этой области и разобрался бы в проблеме.

4

В последние годы жизни в Варшаве в семье Вульфов возникли проблемы – ухудшилось здоровье Веры Васильевны. На нее серьезно повлияла открывшаяся психическая болезнь ее сестры Ольги, а затем внезапная смерть от туберкулеза осенью 1902 г. сестры Марии, с которой Вера Васильевна была особенно дружна. В результате этих потрясений у Веры Васильевны открылся туберкулез легких, таившийся в ее организме.

Георгий Викторович сделал все, чтобы спасти жену. Летом ее возили на кумыс, зиму она проводила с сыновьями в горах Швейцарии. В летние и пасхальные каникулы к ним присоединялся и Вульф.

Педагогическая деятельность этого периода проходила в обычном режиме [308]. Так, в 1903/04 учебном году Вульф читал студентам 1-го курса естественного отделения кристаллографию по 2 часа в неделю в первом полугодии и студентам 2-го курса по часу в неделю в обоих полугодиях. Кроме того, он читал студентам 1, 2 и 3-го курсов минералогии и проводил практические занятия по кристаллографии и минералогии на 2 и 3-м курсах. На занятиях Вульфу помогали его ученик, хранитель музея минералов С. Вейберг и лаборант И. Сиома.

О Сиоме нужно сказать особо. В 1900 г. Вульф обратился к Вернадскому, чтобы тот порекомендовал кого-нибудь из своих учеников на освободившуюся должность лаборанта в кабинете минералогии. Вер-



Г.В. Вульф. 1903 г.

надский рекомендовал Сиому – поляка по национальности. Это вызвало негативную реакцию Вульфа. В письме Вернадскому он объясняет ее национальной и общественной атмосферой в Варшаве. Вульф пишет: *"Зная как старожил условия варшавской жизни и наблюдая довольно пристально условия жизни поляков в России – в Петербурге и в Казани – я вынес глубокое убеждение, что самочувствие поляков вне Царства Польского лучше, чем внутри его, потому что вне его они (я говорю о людях, серьезно относящихся к жизни и не чуждающихся общественных интересов) объединяются с русскими в общем стремлении усовершенствования условий жизни в России вообще, без разбору национальности, здесь же национальный характер деятельности придет сам собой, независимо от всякого стремления к тому поляка, как бы они этого не сторонились; да и сторониться тут может разве индифферентный к жизни человек. Уж очень сильно зло, проистекающее от порабощения одной национальности другой, к тому же еще и с более древней культурой. Поэтому Вы поймете, если я откровенно признаюсь, что не могу взять на себя смелость пригласить сюда г-на Сиому и если бы я имел возможность давать какие-нибудь советы, то советовал бы ему не стремиться в Варшаву. Русскому здесь, конечно, легче, потому что какую бы горечь он не чувствовал под влиянием окружающей его*

действительности, он или может сострадать полякам, или не страдать с ними заодно" [161, л. 14–15].

В конце концов, несмотря на сопротивление администрации Варшавского университета (оказалось, что Сиома слывет неблагонадежным), его удалось устроить на работу в лабораторию. Но из этого письма нетрудно понять насколько сложными, а подчас и взрывоопасными были межнациональные отношения в Польше.

К этому вопросу мы вернемся, а сейчас укажем еще на одну особенность общественно-политической жизни Варшавы тех лет. Речь идет о цензуре. Администрация Царства Польского всяческими способами пыталась в преддверье надвигающихся грозных революционных событий отгородить свое население от общественно-политической жизни России.

В связи с этим Вульф писал Вернадскому: *«Мы живем за такой каменной стеной (даже живя за границей мы знали бы больше, что делается у нас в России), что письма, подобные Вашему, имеют совершенно своеобразную цену, сравнимую с письмами греков или римлян друг к другу. Тщательно охраняя нас от верных сведений, которые могли бы "распускать" газеты, администрация заставляет питаться нас и студенчество частными известиями самого разнообразного содержания. Впрочем и эти сведения цензируются: судя по тому как долго (если сравнить штемпеля) шло Ваше письмо ко мне, сведения, сообщенные Вами, были проверены компетентным лицом, неведомо обо мне позаботившемся. У нас все пока плохо, студенты понимают, что теперь не время выражать свои сомнения, которые их однако сильно гнетут. Волнений у нас не было, забастовок тоже, но лекции сошли раньше на нет, чем можно было бы предполагать»* [161, л. 18–19].

Это письмо написано в середине 1902 г. Тогда забастовок еще не было. Но в 1904 г. началось... После объявления войны Японии по всей России прокатилась волна антивоенных демонстраций и политических стачек. Охватили они и Польшу [309]. Летом произошли кровавые столкновения полиции с рабочими и студентами в Варшаве. Осенью взбунтовались резервисты, отказывающиеся идти на японский фронт. *"У нас постоянные волнения, – писал в это время Вульф Вернадскому, – две недели тому назад человек 20 убили выстрелами из ружей солдаты, да полсотни ранили. Казаков услали по деревням усмирять резервистов, в городе оставили регулярные войска, которые и расправились с народом. Говорят в некоторых местах опасаются раздавать резервистам оружие до прибытия их на место действия"* [161, л. 28].

Наиболее трагические события развернулись летом в Лодзе, где полиция и войска расстреляли более 200 демонстрантов. В Варшаве тоже бастовали и тоже были многочисленные жертвы [309]. Так власти жестоко подавляли первую буржуазно-демократическую революцию в Польше.

Здесь необходимо обратить внимание на главную особенность революции в Польше, по сравнению с революцией в России. В Польше она имела ярко выраженный национальный характер. На протяжении последних 100 лет Польша всеми способами боролась за свою национальную независимость [309]. Формы этой борьбы были самые разные – от вооруженных восстаний до мирных бойкотов распоряжений русских властей. При этом на всех этапах лейтмотивом была борьба с русификацией, за сохранение польской самобытности, своей культуры, своей науки и искусства.

Естественно, что прежде всего это была борьба за сохранение польского языка. В школах и университетах Польши обучение проходило только на русском языке. Поэтому на волне революционных событий 1905 г. польское население начало бойкот учебных заведений. *"Школы все закрыты, – писал Вульф Вернадскому, – кроме двух гимназий мужских, да двух женских, так как эти гимназии русские. Огромное большинство польского общества не пошло дальше требования польской национальной школы. Оно только в своей прогрессивной части присоединяется к русскому широкому движению"* [161, л. 28].

Осенью 1905 г. съезд учителей Польши потребовал от властей ввести обучение в школах на польском языке. После этого во многих школах польский язык стал вводиться явочным порядком [309].

Но центром борьбы с русификацией образования стал Варшавский университет. Как мы уже упоминали выше, Варшавский университет был образован на месте Варшавской Главной школы как русское государственное высшее учебное заведение. Подавляющее большинство профессоров были русскими, подавляющее большинство студентов – поляками. Эти два слоя существовали отдельно друг от друга, соприкасаясь лишь по формальным поводам. Если бы профессорско-преподавательское меньшинство и студенческое большинство были бы русскими, то между ними, как и во всех российских университетах, существовал бы в худшем случае скрытый антагонизм, в лучшем – нейтралитет. Но в Варшавском университете эти отношения были враждебными.

Причина тому – агрессивная русификация в университете. Немногочисленную польскую профессуру администрация третировала и планомерно вытесняла из университета. Освободившиеся вакансии заполняли русскими преподавателями, часто не весьма квалифицированными, но зато "патриотичными".

Второй момент – язык. Преподавание проводилось только на русском языке, поэтому преподаватели–поляки были вынуждены вести занятия на иностранном для них языке. Вот как описывает это в своих воспоминаниях о последних месяцах в Варшавском университете Вульф: "Необходимо коснуться переживаний моих студенческих лет, когда я, чуть не единственный русский среди громадного большинства моих польских товарищей, слушал в том же Варшавском университете лекции польских профессоров, читавших

на русском языке. Некоторые из них были прекрасными учеными, и их лекции слушались с захватывающим интересом, но на каком русском языке они читались! И мне, русскому, было больно и обидно и за свой искалеченный язык, и за то, что эти люди принуждены излагать свои прекрасные мысли и знания в такой прямо отвратительной форме и кому же? – тем, кто мог бы гораздо лучше воспринять их лекции, читайся они на языке, родном и для лектора, и для громадного большинства их слушателей. Это для меня было непонятной несообразностью, и я невольно задавал себе вопрос, в силу каких таких государственных интересов может существовать такая несообразность?" [113, с. 191].

Такая "несообразность", непонятная молодому ученому, происходила в соответствии с государственной политикой Российской империи, направленной на ассимиляцию окраинных нерусских районов с целью сохранения их в составе единого государства.

Невозможность слушать лекции на родном языке естественно вызвала протест польских студентов. Тем паче, что польских студентов было большинство. В 1904/05 учебном году из 1485 студентов Варшавского университета было 1100 поляков и только 246 русских [310]. Мирные способы протеста выражались в демонстративном игнорировании русского языка – студенты в стенах университета говорили между собой, с профессорами и инспекторами только на польском. В связи с этим стали возникать конфликты между польскими и русскими студентами. Иногда дело доходило до драк.

Главные события развернулись весной 1905 г. [311]. Грандиозная сходка студентов закончилась погромом – более 400 человек ворвались в здание университета, ломали мебель и разорвали портрет царя. Студенты направили делегацию к попечителю Варшавского учебного округа, которому вручили петицию с требованием полонизации университета. При этом делегация демонстративно отказалась разговаривать с попечителем по-русски.

С началом нового 1906 учебного года волнения усилились. 1 сентября толпа польских студентов (более 200 чел.) блокировала здание университета и не пропускала никого внутрь. Ректор вынужден был перенести начало занятий на 15 сентября. Но и в назначенный день занятия не состоялись – студенты вновь блокировали вход в университет. Ректор опять перенес начало занятий уже на 15 октября. Но волнения только усиливались. 11 октября на улице был жестоко избит проф. В.П. Амалицкий, один из ярых противников полонизации университета. Раздавались угрозы и в адрес других профессоров. По университету распространили листовку, где говорилось следующее: "С каждым говорят языком, понятным для него. Наши профессора уже заявили нам, какой язык им единственно доступен. Средство, чтобы выжить их, трудно указывать, но и стесняться в выборе их не нужно. Наша задача – сделать жизнь для профессоров настолько приятной, чтобы они сами пожелали уехать" [311]. И это были не только угрозы. Когда 15 октября некоторые профессора пробрались-таки в аудитории, их выгоняли оттуда силой и грозили избить. В связи с беспорядками по

распоряжению Министра народного просвещения Варшавский университет был временно закрыт.

5

По своим общественно-политическим взглядам Вульф принадлежал к либерально-демократической интеллигенции. Его взгляды сформировались не без влияния западных политических и общественных отношений, западного образа жизни. Поэтому он, в числе немногих профессоров Варшавского университета, поддерживал требования политических и академических свобод, громко звучавших в среде интеллигенции в первые месяцы революции.

Ярким выражением этих требований явилась статья В.И. Вернадского "О профессорском съезде" [312], опубликованная в декабре 1904 г. в газете "Наши дни". В ней Вернадский призывал к отмене "полицейского" университетского устава 1884 года, ликвидировавшего автономии университетов и выборность ректоров, что привело к административному вмешательству во все сферы университетской жизни.

Основные положения статьи были конкретизированы и расширены в записке "Нужды просвещения", опубликованной в той же газете в январе 1905 г. [313]. В ней, вместе с требованием академических свобод содержались требования и свобод политических, а также полного и коренного изменения государственного строя. Под этой запиской подписались 342 ведущих деятеля отечественной науки и высшей школы, в частности 16 академиков. По всей стране началась кампания присоединения своих подписей к этой "Записке 342-х". Вульф в числе небольшой группы профессоров Варшавского университета подписал "Записку 342-х". Это повлекло за собой неприятности. Вульф подробно сообщил о них Вернадскому [161, л. 30–32].

11 февраля все подписавшие "Записку 342-х" получили от ректора (Зилова) письмо следующего содержания: «Милостивый государь! Имею честь покорнейше просить сообщить мне, действительно ли Вы подписали "Записку 342-х ученых"». В письме, полученном Вульфом, кроме того, была приписка: "и, как мне передали, собрали подписи других".

Естественно, что Вульф не дал ответа на письмо, сочтя его посягательством на свободу волеизъявления. Тогда ректор стал тормозить оформление Вульфу заграничной командировки, прямо связывая свое решение с предоставлением ответа. Ту же самую позицию занял и попечитель учебного округа. В результате долгих мятущих Вульф получил отпуск, так и не дав ответа на письмо ректора.

"Вот в каких условиях не только произвола, но просто каприза, приходится нам здесь существовать и действовать, – заканчивает свое письмо Вульф. – Счастье, что Зилов глуп, так что его легко посадить, но с другой стороны это грубый насильник, с которым буквально бывает невозможно говорить. Вообще условия существ-

ования в Варшавском университете становятся час от часа невыносимыми. У нас пять советов, пять факультетов. Это все на три четверти своего состава шайка беззастенчивых проходимцев" [161, л. 32].

"Записка 342-х", подпись под которой поставили более 1500 профессоров и преподавателей со всей России, явилась платформой, на которой возник "Академический союз" – общественная организация деятелей науки и высшей школы, созданный для реализации задачи освобождения образования от политического и административного диктата правительства.

Вульф возглавил варшавское отделение "Академического союза" и от его имени поддержал требования студентов о полонизации Варшавского университета. Он с пониманием отнесся к бойкоту студентами занятий, но ратовал за сохранение университета как такового.

15 октября 1905 г. Вульф пишет Вернадскому: «*Университет помер. Теоретически для меня несомненно, что он может воскреснуть лишь в виде польской высшей школы. Но наши профессора-реакционеры все еще надеются, что военное положение и реакция помогут им открыть университет "хотя бы для трех студентов". Конечно, их расчеты плохи, ибо поляки не дадут им более проявить никакого признака жизни. Не следует думать, что школьное движение в Польше чисто национальное. Борьба идет не против русской, а против русифицированной школы*» [161, л. 38].

25 октября Вульф продолжил эту тему: «*Варшавская высшая школа (Университет, Политехнический и Ветеринарный институты) как русские государственные учреждения окончила свое существование под напором общественного освободительного движения. (Одновременно с университетом, бойкоту студентов подверглись и Политехнический и Ветеринарный институты, что привело к их закрытию. – Прим. А.С.) Это были оплоты русской бюрократии в Варшаве... Варшавскому отделению "Академического союза" пришлось вынести непосильную борьбу с советами этих насквозь бюрократических учреждений. Задача Отделения состояла в том, чтобы убедить советы в неизбежной необходимости пойти навстречу запросам местного общества, без содействия которого и вне общения с которым немислима высшая школа, тем более автономная.*

Советы остались на прежней русификаторской позиции и довели до того, что бывшее ранее примерительное настроение общества и студенчества, согласившегося на постепенную полонизацию теперешней школы, сменилось стремлением к полному ее уничтожению... К (академическому. – Прим. А.С.) Союзу, который в своей борьбе против бюрократической высшей школы в Варшаве пошел по одному пути с польским обществом, в советах развилась ненависть, переходившая границы дозволенной элементарной порядочности. Дошло до того, что Ушинский, не стесняясь, распространял слух, что гнусное и совершенно загадочное избиеие на улице профессора

Амалицкого устроено Варшавским Отделением "Академического Союза" и эта клевета находит себе веру... Что будет дальше – не известно» [161, л. 34].

Свою точку зрения о будущем Варшавского университета Вульф защищал и в печати. 24 сентября 1905 г. в газете "Сын отечества" он опубликовал большую статью "Положение Варшавского университета" [65]. Автор подчеркивает особенность Варшавского университета, в котором русские профессора и польские студенты "сразу же распределились в университете в два слоя, как масло и вода, не смешиваясь между собой". Но эта "антитеза" превратилась в непроходимую пропасть, вследствие политики обрусения, проводившейся "с неумолимой прямолинейностью, достойной лучшего применения". Вследствие этого университетская общественность и польское общество оказались по разную сторону баррикад.

"Где же выход из столь критического положения? – спрашивает Вульф. – Возврата к прошлому нет и быть не может: школьная политика в Царстве Польском потерпела полнейший крах и попытка продлить ее во что бы то ни стало подольет лишь масла в разгоревшийся огонь. При современном запросе общества на самостоятельность, независимая от общественного влияния школа существовать не может, тем более автономная высшая школа, так как почву для ее живой, плодотворной деятельности должно составлять именно общество. Автономная школа может быть жива только силами и жизненными соками общества, которому она должна служить. Таким образом, единственная возможность сохранить высшую школу в Царстве Польском состоит в допущении в нее местных общественных сил. Она должна стать рано или поздно польской школой" [65].

Вульф категорически против перенесения Варшавского университета в другой город России, как это предлагают некоторые профессора. "Уйти всем составом, – пишет он, – забравши с собой все культурное достояние края в виде библиотеки, музеев, коллекций и прочего университетского имущества, перешедшего к университету от Главной школы или даже от Александровского Королевского университета, основанного в 1817 г., уйти и оставить после себя не только пустое, но и опустошенное место – такое решение вопроса представляется поистине чудовищным" [65].

Вульф предлагает открыть в России новый университет, в который перешел бы преподавательский состав из Варшавы, а сам Варшавский университет передать в распоряжение поляков.

"Мы приходим к заключению, – заканчивает свою статью Вульф, – что единственный выход из критического положения, в которое поставлен в данное время Варшавский университет, представляется постепенная его полонизация. Что в университет должна быть влита живая общественная струя – это не подлежит сомнению. Единственную реальную почву для деятельности университета должно искать в польском обществе, которому и следует сейчас же дать возможность принять участие в жизни университета. Для этого необходимо

замещать остающиеся по уходу русских профессоров вакантные кафедры польскими учеными силами, ввести основные предметы преподавания, имеющие большой местный интерес – польскую литературу, историю Польши, местное право, и дать право гражданства преподаванию на польском языке" [65].

2 мая 1906 г. в газете "Наша жизнь" Вульф публикует вторую статью на эту тему [66]. В ней он критикует различные варианты перенесения Варшавского университета в глубь России: забрать все, забрать только купленное на русские деньги и другие нелепые варианты. "Проект переноса Варшавских высших учебных заведений в русский город мне кажется совершенно несбыточным, – пишет Вульф. – Не говоря уже о том, что русский народ, высказавшийся так единодушно за народную свободу, не станет делать насилие над польским народом, отнимая у него его культурное достояние, перенос Варшавской высшей школы дал бы любому русскому городу какое-то чуждое, неприкладное к его жизни, а в случае частичного переноса, даже и вовсе уродливое учреждение" [66].

Вульф настаивает на постепенной колонизации университета. "Продолжать идти по прежнему пути совершенно невысказано: политика обрусительной школы окончательно провалилась", – заканчивает Вульф статью.

Эти статьи вызвали бурю негодования в реакционной прессе. Профессор Д. Давыдов написал специальную брошюру [314], в которой пытался опровергнуть основные положения статьи [65], не приводя впрочем никаких фактических доказательств.

Некто П.А. Кулаковский разразился целой серией статей в ультраконсервативной газете "Новое время", объединенных потом в целую брошюру [315]. Он решительно отверг саму идею о колонизации Варшавского университета. «Этот последний проект, – писал Кулаковский, – поддерживается профессорами – членами "Академического союза", но таких в Варшавской университетской коллегии всего пять–шесть человек, считая тут и поляков и одного с полувейской фамилией». Под последним явно подразумевался Вульф.

Н.А. Вецкий также яростно протестует против колонизации университета [316]. «Явная несправедливость такого захвата бросается в глаза и нужно, подобно проф. Г. Вульфу, быть совершенно слепым и не понимать, что такое равноправие народностей, чтобы сочувствовать этой исключительности поляков, этим шляхетским вождениям "народовцев", заплечных патриотов своего отечества», – писал он.

Вецкий предлагает перенести Варшавский университет вместе с библиотекой, музеями, коллекциями в какой-нибудь русский город, например, в Саратов, Самару, Царицын, Астрахань, Оренбург, Владикавказ.

Вопросу перемещения Варшавского университета в Саратов была посвящена специальная брошюра П. Кострова [317]. Дело в том, что организация университета в Саратове планировалась давно и на этот счет был даже указ императора. Но отсутствие необходимых средств не давало возможности реализовать это начинание. А тут появилась

возможность открыть Саратовский университет, затратившись практически только на переезд. Тем паче, что такой прецедент уже случился – Варшавский политехнический институт, закрытый тоже в связи с бойкотом студентов, переместили в Новочеркасск и на его базе организовали Донской политехнический институт.

Однако правительство решило иначе.

20 октября 1906 г. состоялось заседание Совета Министров, специально посвященное проблеме Варшавского университета. В официальном сообщении по этому поводу, опубликованному в газете "Россия" [318] говорится: Совет Министров признал, что "Варшавский университет, помимо своего ученого и просветительского значения для края, является прежде всего учреждением государственным, удовлетворяющим потребности просвещения всей Империи. Поэтому упразднение его в том или ином виде недопустимо. Россия, как это было уже не раз в ее истории, переживет надвинувшееся на нее лихолетие, а с тем вместе возобновится и временно нарушенная культурная деятельность Варшавского университета на общую пользу. В Варшаве русский государственный университет открыт, в Варшаве он и должен остаться, и только пока продолжается его вынужденное бездействие силы и средства этого университета могут быть временно использованы для нужд высшего просвещения в другом месте России" [318].

6

"Силы и средства" Варшавского университета временно использовались "для нужд высшего просвещения" сугубо индивидуально. Некоторые профессора остались в Варшаве, некоторые – уехали. Все члены "Академического союза" из-за бешеной травли реакционной профессурой решили покинуть Варшаву.

Вульф уехал к жене и детям в Женеву. Он начинает искать себе новое место работы.

Еще находясь в Варшаве он пишет Вернадскому, что интересуется, как будет замещаться кафедра минералогии Сельскохозяйственного института в Москве, освободившаяся после ухода Федорова [161, л. 38]. Из Женевы в мае 1906 г. он уже пишет, что отказался от приглашения переехать в Одессу и будет добиваться этой кафедры: "Я предпочел принять участие в конкурсе в Петровско-Разумовское (там находился Сельскохозяйственный институт. – *Прим. А.С.*). Несомненно, что водворение меня в Петровско-Разумовское сопряжено для меня с большими неудобствами. Я буду принужден читать и геологию, которой не занимался с университетской скамьи и к которой не чувствую интереса. Наоборот, кристаллографию придется спрятать про себя или читать в качестве приват-доцента в Московском университете: надо же сообразываться с запросами аудитории, в особенности в практическом учебном заведении! Кроме всего прочего я меняю ординатуру на адъюнктуру. Все это, однако, меня не остановило, я даже предпочел Петровско-Разумовское Одессе, утешаясь между прочим тем, что я унаследую место Е.С. Федорова, сделавшего и там так много и

оставившего там свои традиции, столь родственные моему научному интересу. Моими конкурентами являются Павлов и Самойлов. Первого я не знаю, что же касается Самойлова, то я о нем, как Вы вероятно знаете, держусь самого лучшего мнения, как о многообещающем ученом и прекрасной личности. Положа руку на сердце, я считаю его самым подходящим" [161, л. 44].

Вульф послал в Сельскохозяйственный институт свои документы и среди них список научных работ. 17 мая 1906 г. Совет института просит Вернадского дать свой отзыв на присланные работы Вульфа. В отзыве Вернадский подробно осветил все основные работы Вульфа и дал им высокую оценку [319]. В заключение отзыва Вернадский писал: "Таким образом в течение 18 лет мы видим непрерывную работу профессора Вульфа в раз избранной им области, идущую до самого последнего времени. Работы эти поставили его имя в первые ряды кристаллографов нашего времени. Многочисленные упрощения в геометрических доказательствах и вычислениях в его работах высоко определяют его значение как университетского преподавателя кристаллографии" [319, с. 144].

Вульфу не досталась кафедра в Сельскохозяйственном институте – как он и предполагал, выбрали ученика Вернадского – Я.В. Самойлова. Теперь все надежды Вульф связывал с Московским университетом. По этому поводу он вел интенсивные переговоры с Вернадским.

Летом 1907 г. Вульф приезжает в Москву, получает разрешение на жительство и находит квартиру в доме Строгановского училища на Мясницкой. Он договаривается с Вернадским, тогда заведывавшим кафедрой минералогии, что будет читать приват-доцентский курс кристаллографии. "У меня есть намерения, – пишет он Вернадскому, – взять на мою ответственность из Варшавского университета некоторые приборы, в особенности же теодолитный гониометр. Они там стоят без употребления, здесь же сослужат службу" [161, л. 47].

Однако обстоятельства отложили эти намерения более чем на год. Дело в том, что власти решили возобновить занятия в Варшавском университете с осени 1908 г. Это решение было принято после многочисленных обращений видных польских общественных деятелей, обеспокоенных ущербом, который был нанесен польской культуре в связи с закрытием университета. Кроме этого они надеялись, что принятый указ от 27 августа 1905 г. об автономии университетов (выборность ректора и деканов, некоторая свобода внутренней жизни университетов) позволит им осуществить постепенную полонизацию Варшавского университета.

В связи с предстоящим открытием университета всем профессорам, уехавшим из Варшавы, было предписано вернуться и готовиться к началу занятий.

Для Вульфа вопрос о возвращении был особенно трудным. Его ждала открытая неприязнь начальства и абстракция коллег как одного из принципиальных противников русификации университета. Но он принял решение вернуться. Дело в том, что на рождество 1908 года должно исполниться 20 лет его работы в Варшавском университете и

он получает право выйти в отставку с соответствующей пенсией. После этого он свободен в выборе места дальнейшей работы.

То, что он застал вернувшись, подтвердило его наихудшие ожидания. Вот что он писал по этому поводу Вернадскому: "Открытие Варшавского университета осуществляется. Осуществляют его лица, сильно сопротивлявшиеся обновлению университета, и я имею основание думать, что открыв его на прежних основаниях, они тотчас сойдут со сцены, дело же будет в корне испорчено. Не успел я здесь появиться, как встретился лицом к лицу с фактами, доказывающими, что Варшавский (русский) университет и автономия – это две взаимоисключающие вещи: или автономия и университет, тесно связанный с местным польским обществом, т.е. польский, или же русский университет, тесно связанный с местной русской бюрократией, т.е. по существу не автономный. *Teogium non datur**. Изголодавшиеся по высшему просвещению (прибавлю, соединенному с правами по воинской повинности и другими) польское общество готово на всякие уступки, но все же, несмотря на это, я полагаю, что в прежнем виде Варшавский университет невозможен, и рано или поздно должен стать просветительным органом местного общества. Необходимы, однако, общие политические условия" [161, л. 50].

Из письма ясно, что позиция Вульфа не изменилась – он по-прежнему считает, что Варшавский университет должен стать польским. Не изменилась и позиция тех, кто упорно проводил русификацию университета.

О том, как встретила Вульфа Варшава, он рассказал в воспоминаниях о последних месяцах пребывания в Варшавском университете, опубликованных в 1915 г. [113]: "Не прошло и трех дней с моего приезда, как я получил приглашение явиться к попечителю учебного округа Беляеву. Беляев, с которым я был одно время товарищем по профессуре в том же Варшавском университете, встретил меня сухо и официально.

– Вы что же намерены здесь делать? – был его первый вопрос.

Я объяснил ему, что получив от ректора бумагу с вызовом явиться в Варшаву, не замедлил поступить согласно этой бумаге.

– На каком же вы языке намерены читать ваши лекции – на русском или на польском? – продолжал свой допрос попечитель.

На что я заметил, что в моих намерениях никогда не было читать лекции на языке, которым я не владею в должной мере, т.е. в данном случае на польском.

– Но как же вы в таком случае стояли за чтение в Варшавском университете лекций на польском языке? – удивился Беляев.

Я почувствовал, что мне было бы трудно объяснить ему теперь, что не всегда же люди руководствуются в своих поступках личными целями" [113, с. 190–191].

В обновленном Варшавском университете существенно изменился состав студентов. Поляки продолжали бойкотировать занятия – из 800

* Третьего не дано (лат.).

студентов к занятиям приступили только 36 поляков. Основная же масса – выпускники российских семинарий, которым власти разрешили поступать только в Варшавский университет.

17 ноября 1908 г. истек срок пребывания Вульфа в Варшавском университете и он подал прошение об отставке. Одновременно он передал через Вернадского прошение ректору Московского университета о зачислении его в приват-доцентом на кафедру минералогии.

Осталось принять последние экзамены и собраться в дорогу. О чувствах, с которыми Вульф покидал Варшаву, он пишет следующее: "Настали и прошли экзамены, и я собрался навсегда покинуть Варшаву и Варшавский университет, где прошли мои студенческие годы и прошла почти вся моя профессорская деятельность. Покидал я его совершенно иным, чем каким знал его в прежние годы, когда громадное большинство студентов было польское. С прежним варшавским студенчеством, рассеянным теперь по другим университетам – русским и заграничным, меня связывало не только время, но и хорошие сердечные отношения, которыми оно дарило меня наравне с немногими другими моими товарищами – профессорами, также покинувшими Варшавский университет. Тогдашняя польская молодежь относилась к нам с большим доверием и часто приходила к нам запросто побеседовать о текущих событиях университетской жизни. Такие отношения были совершенно непонятны для большинства русских варшавян, и нас открыто упрекали в заискивании перед молодежью и популярничании. Говорили также, что у польской молодежи весьма легко приобрести популярность – стоит лишь начать с ней говорить по-польски. Эти люди жестоко ошибались – мы не имели нужды говорить по-польски, ибо с **нами** всегда говорили по-русски. Это сложилось как-то само собою, и со стороны молодежи иногда обращалось даже в своего рода демонстрацию... Когда наша группа профессоров, высказывая пожелание, чтобы преподавание в крае шло на родном языке местного населения, связывала осуществление этого пожелания с необходимостью своего ухода из Варшавского университета ввиду недостаточного знания польского языка для свободного чтения лекций, нас молодежь просила бросить мысль об уходе и продолжать чтение лекций на нашем родном языке даже в случае, если бы в университете было введено преподавание на польском языке. Все это убеждало нас, что все тяжелые, гнетущие стороны русско-польских отношений в крае, вся взаимная подозрительность и даже проявление открытой вражды были плодом прискорбных недоразумений, плодом ошибочной политики... Это убеждало нас, что между русским и польским народом нет и не должно быть вражды, стоит только найти новый лозунг, указать новые общие пути обоим народам..." [113, с. 194–195].

Вульф хотел уехать незаметно, ни с кем не простившись. Но вышло иначе. 5 декабря 1908 г. студенты устроили торжественные проводы. От своего имени профессору преподнесли красивый адрес, подписанный десятками студентов [165]. В адресе говорилось:

"Глубокоуважаемый Юрий Викторович!"

Позвольте от лица всех присутствующих здесь высказать Вам несколько слов о тех чувствах, которые заставили нас собраться. Слишком малое время мы имели удовольствие знать Вас, но и в такой сравнительно небольшой период мы имели полную возможность оценить Ваши отношения к нам как профессора и как человека, и потому самые искренние и самые горячие чувства признательности и благодарности навсегда сохранятся в наших сердцах по отношению к Вам.

С Вашим уходом число профессоров с честью держащих знамя науки еще раз сократилось в нашем университете, но мы глубоко убеждены, что своими научными трудами Вы дадите нам возможность и впредь все же иметь Вас своим руководителем в науке и жизни. Ваш жизненный девиз об уважении личности человека, которым Вы всегда руководствовались в своей научной и общественной деятельности и который завещали нам через наших представителей, мы постараемся навсегда сохранить в нашем уме и сердце и воплотить в жизни. В этом у нас, надеемся, будет постоянная нравственная связь, а потому наша скорбь о Вашем уходе из Университета до некоторой степени уменьшается сознанием этой близости.

Итак, до свидания глубокоуважаемый Юрий Викторович! – Желаем Вам полного успеха на новом поприще Вашей научной деятельности. Надеемся, что и там Вы найдете такую же любовь и уважение Ваших слушателей, какую всегда питали к Вам все знающие Вас.

Г. Варшава, 1908 года 5 декабря"

Вульф произнес краткую речь: "Покидая Варшавский университет, где я учился и столько лет учил юношество, я хочу сказать вам несколько слов на прощание.

*Первая лекция, которую вы услышали в университете, была моя лекция. Когда я шел читать эту лекцию, я был убежден, что предстану перед юношами, привлеченными в чуждую им Варшаву** жаждой знания и светом истины. Проверив ваши знания, я увидел, что отнюдь не ошибся в своем предположении. И если я действительно не ошибся, если вы действительно проникнуты стремлением к истине, то вы меня поймете, когда я выскажу вам мое глубокое убеждение, что стремление к истине только тогда будет плодотворным, когда вы проникнетесь любовью к истине. Наука, как и искусство, требует творчества, творчество же без любви*

* Обращаясь к Вульфу студенты в знак уважения использовали русское имя Юрий вместо обычно европеизированного Георгий.

** Большинство студентов этого набора были русские семинаристы, приехавшие из разных уголков России.

невозможно. Поэтому недостаточно познать истину умом, надо почувствовать теплоту, проливаемую ею в сердце. Истина, согретая любовью, превращается в великое орудие прогресса; она пробивает себе путь через невзгоды жизни и становится достоянием всего человечества. Перед нею исчезают национальные счеты и высоко воздвигается в своей благородной природе человеческое существо, для которого нет ни эллина, ни иудея. Итак, вот вам мое завещание, господа – любите истину и будьте прежде всего людьми в благородном смысле этого слова, и если постигнут вас в жизни невзгоды, то не они возьмут над вами силу, а вы над ними, и сердца ваши не ожесточатся" [166].

Это было прощальное напутствие ученикам.

Своим преемником на кафедре Вульф считал своего лучшего ученика С.А. Вейберга, о некоторых работах которого мы упоминали выше. Но Вейберг не успел еще защитить магистерскую диссертацию и его назначение оказалось под вопросом. Поэтому Вульф всячески торопит Вейберга с защитой и даже обращается с просьбой к Вернадскому помочь своему ученику сразу получить докторскую степень. Однако Вейберг написал неудачную диссертацию, несмотря на то, что в своей содержательной части она была вполне добротной [161, с. 58–59].

Переделав диссертацию, Вейберг защитил ее в Московском университете в 1910 г. В 1912 г. он защитил и докторскую диссертацию в Петербургском университете и возглавил кафедру минералогии в Львовском университете, а с 1922 г. организовал вторую после кафедры Федорова (в Петербургском горном институте) кафедру кристаллографии в том же Львовском университете, которой руководил до конца дней своих (скончался в 1944 г.) [217].

В Московском университете

1

В течение 1905–1907 гг. Московский университет лихорадило – постоянно проходили студенческие волнения и стачки. Студенчество находилось под сильным влиянием социал-демократов и чутко откликалось на любые политические события тех лет. В связи с волнениями университет неоднократно закрывался.

Но к началу 1907 г. беспорядки постепенно прекратились. Молодежь начала понимать, что жить "в революционном вихре" вечно нельзя. Благоразумие и тяга к знаниям одержали верх и студенты приступили к занятиям. Этому немало способствовал опрос студентов, проведенный с 1 по 3 февраля 1907 г. Большинство высказалось против "законодательной роли" стачек в университетской жизни и за восстановление выборной студенческой организации как центрального университетского органа.

Профессора тоже имели свой орган управления. 27 августа 1905 г. императорским указом университетам была дана частичная автономия. Отныне ректор и деканы должны были выбираться Советами университета и факультетов.

Этот указ планировался в качестве нового университетского устава, который собирались вводить вместо устава 1884 года. Однако власти сделали все, чтобы не только не разработать новый устав, но и ограничить действия указа об автономии. К нему вводились различные разъяснения и уточнения, направленные на ограничение и так лишь частичной автономии университетов.

В 1907 г., когда Вульф пришел в Московский университет, эйфория, вызванная императорским указом, еще окончательно не развеялась. Поэтому ему казалось, что Московский университет это то место, где в согласии со своими общественными взглядами он сможет в полной мере реализовать свой педагогический и научный потенциал.

13 июля 1907 г. Г.В. Вульфа утвердили приват-доцентом на кафедре минералогии естественного отделения физико-математического факультета Московского университета [159].

Возглавлял кафедру В.И. Вернадский. Он принял кафедру после смерти ее руководителя проф. М.А. Толстопятова в ужасном состоянии. Минералогические коллекции находились в беспорядочном состоянии, не было каталогов, минералы просто свалены в кучи. При кафедре не было своей библиотеки. На устаревшем оборудовании проводить практические занятия было невозможно.

Вернадский со свойственной ему энергией быстро сумел превратить кафедру в образцовую. Прежде всего он выписал первоклассную аппаратуру. Как это ему удалось, рассказывает ученик Вульфа

Е.Е. Флинт [167]: «Несколько лет тому назад Владимир Иванович обратился к ректору с просьбой передать кафедре минералогии все те суммы, которые остались в данный год по всем кафедрам физико-математического факультета. По правилам того времени, все средства, не израсходованные кафедрами до 20 декабря, поступали "в доход казны". Таких сумм оказалось около 60000 руб., в то время как годовой бюджет кафедры был около 6–8 тысяч руб. Владимир Иванович брался израсходовать все эти деньги до 20 декабря. Разрешение от ректора было получено и Владимир Иванович засадил весь наличный состав кафедры за выписку оборудования и материалов, которые могли понадобиться кафедре. Ассистенты просиживали дни и ночи за каталогами крупнейших иностранных фирм. В результате этой работы были посланы телеграфные заказы фирмам Цейсс, Фюсс, Сарториус, Шмидт и Хенч, Кранц, Шотт, Кальбаум, Мерк и др. Также были получены предварительные счета от отечественных фирм Швабе, Бр. Брындины, Громов и от столярных мастерских.

Кафедра минералогии получила необычное богатство. Перечислить здесь все совершенно невозможно. Вот что мне удалось запомнить: два гониометра Гольдшмидта, три гониометра Чапского, спектрографы, спектрометр, микроскопы, три рефрактометра, аксenvинкельаппараты, счетный микроскоп, 7,5 кг платиновой посуды, несколько аналитических весов, большой проекционный аппарат для демонстраций в поляризованном свете. Кроме того, витрины для музея, шкафы обыкновенные и вытяжные, лабораторные столы, кристаллографические модели стеклянные, картонные и деревянные».

Кроме великолепных условий для научной и педагогической работы на кафедре, для Вульфа важным было то обстоятельство, что в лице Вернадского он приобрел единомышленника в политических и общественных вопросах. Мы уже говорили о борьбе Вернадского за академические свободы, за автономию университетов, за права профессоров и студентов. Но в эти же годы Вернадский вел и активную политическую деятельность – он был членом Центрального комитета конституционно-демократической партии ("кадеты"), выступавшей за конституционные гарантии прав гражданина и человека, за обеспечение свободы слова, собраний, союзов, совести, за неприкосновенность личности, жилища, судебную защиту всех этих свобод. В 1906 г. В.И. Вернадского избрали членом Государственной Думы от Академии наук и университетов, а вскоре и членом Государственного Совета. В этих представительных органах Вернадский отстаивал (увы, безуспешно!) демократические права интеллигенции. И, хотя Вульф не принимал участия в политике, он всецело был на стороне Вернадского.

С 1908 г. Вульф читает в Московском университете курс кристаллографии [168]. Одновременно такой же курс он начал читать в Московском Городском Народном университете им. А.Л. Шанявского, куда был приглашен для организации кристаллографической лаборатории [320]. Университет открылся в 1908 г. на частные пожертвования.

В 1909 и 1910 г. Вульф читал в Московском университете кристаллографию и кристаллооптику и впервые на практике использовал свою кристаллографическую сетку. С этой сетки началось знакомство с Вульфом студента А.В. Шубникова, который вскоре стал одним из лучших его учеников, а впоследствии академиком. Вот как описывает эту встречу Шубников: «Когда я постигал стереографическую проекцию по Малляру, в комнату вошел Ю.В. Вульф, возвратившийся в то время из Варшавы и начавший работать на кафедре Вернадского, где он читал, в частности, курсы кристаллооптики и геометрической кристаллографии. Увидев, чем я занимаюсь и как черчу проекцию, Вульф сказал, что можно сделать это гораздо проще, если воспользоваться придуманной им стереографической сеткой. Применив эту сетку, я сразу легко усвоил суть стереографической науки.

После разговора с Вульфом мне захотелось изучать кристаллографию под его руководством во всем ее объеме и разнообразии. В это время Ю.В. Вульф был в полном расцвете своих творческих сил. Его лекции по геометрической кристаллографии и кристаллооптике, построенные на описании его собственных работ, были очень оригинальны и интересны. Прослушав эти курсы, я окончательно и бесповоротно стал поклонником Вульфа. Меня очень поразило, что в единственной, принадлежащей ему в университете комнате стоял токарный станок, на котором он сам и работал. С помощью этого станка Вульф изготовил кристаллизатор, вращавшийся по горизонтальной оси (обычно кристаллизаторы вращались в то время только вокруг вертикальной оси).

Я осмелился предложить Вульфу свои услуги в качестве помощника на все руки. Вульф принял мое предложение и немедленно поручил мне вырастить кристаллы бихромата калия, пустив в ход придуманный им вращающийся кристаллизатор. С большим интересом взялся я за эту работу и после исследования получившихся кристаллов пришел к выводу, что вопреки данным Грота, помещенным в его справочнике, кристаллы бихромата калия по своей морфологии центра симметрии не имеют. Первая моя научная работа "О симметрии кристаллов бихромата калия" была опубликована в 1911 г.» [321, с. 19].

На кафедре Вернадского выделялись две личности – ближайший его ученик и помощник А.Е. Ферсман, впоследствии академик, и Вульф. «Вульф и Ферсман во многом отличались друг от друга, – пишет в воспоминаниях Шубников. – В то время как Ферсман обладал общительностью и живостью характера, широтой мысли, быстротой и смелостью в действиях, для Вульфа характерна была замкнутость, медлительность, ненаходчивость и осторожность в утверждениях. Слабые стороны обоих были иногда предметом иронических замечаний, которые делались ими по адресу друг друга. Однако, эти замечания имели всегда легкий полушутливый тон. Ферсман преувеличивал значение минералогии и кристаллографии; Вульф, наоборот, преуменьшал, считая кристаллографию просто частью физики, а минералогию – частью химии, даже прикладной химии. На этом основании Александр Евгеньевич говорил иногда по нашему адресу: "Ах, уж эти физики! Мы им еще покажем!"» [321, с. 19–20].

На кафедре Вульф организовал свою лабораторию. Вот как описывает свои впечатления о ее посещении ученик П.Н. Лебедева П.П. Лазарев (впоследствии академик) в письме к учителю: "Недавно заходил к Вульфу в его лабораторию, которую он устроил в университете. Вся лаборатория оборудована исключительно на его средства, при лаборатории имеется приличная мастерская, где можно очень удобно работать; работает пока в мастерской только сам Вульф. Между прочим, он показывал мне свои новые и очень любопытные опыты над ростом кристаллов в условиях одинаковой концентрации раствора на разных гранях. Обычно оказывается, как показал Вульф, этого не бывает и требуются особые условия, чтобы концентрация была одинакова; тогда кристалл получает совершенно оригинальную форму, которую можно вывести теоретически из скорости роста граней или же из соображений энергетических, как это было предположено Кюри. Вообще лаборатория, несмотря на скудость оборудования, производит очень хорошее впечатление" [322, с. 309].

В Москве Вульф быстро включился в научно-общественную и культурную жизнь. Он установил тесную связь с П.Н. Лебедевым и его физической лабораторией и активно участвовал в работе ее коллоквиума. "Коллоквиумы у нас продолжают и посещаемость не падает, – пишет Лазарев Лебедеву. – На прошлом коллоквиуме очень интересный доклад сделал Вульф. Он показывал свою лабораторию, где у нас и состоялся коллоквиум, и после ряда весьма интересных демонстраций по кристаллооптике сделал сообщение о росте кристаллов. Между прочим, кроме теоретических соображений, он приводил ряд опытных данных, которые должны были показать, что кристалл растет так, что его объем все время стремится при данном количестве вещества оставаться наименьшим" [322, с. 326].

Активно участвовал Вульф и в работе Московского общества испытателей природы.

В 1911 г. на базе лебедевского коллоквиума было образовано Московское физическое общество, председателем которого был избран Лебедев, а членом совета – Вульф. С этого момента Вульф – один из деятельнейших членов общества, он не только участвовал в организации его работы, но и сам часто выступал с докладами. В 1921 г. Георгий Викторовича избрали председателем общества и он добросовестно исполнял свои обязанности до конца жизни.

2

Научная работа Вульфа в этот период развивалась в двух направлениях. Первое направление касалось геометрической кристаллографии. Это были последние работы в этой области и они как бы подводили итог его деятельности в этом направлении. Второе направление – исследование жидких кристаллов – явилось до некоторой степени новым в творчестве Вульфа. До этого жидким кристаллам была посвящена лишь его пробная лекция [31].

Первой работой этого периода была его статья "О внешнем виде кристаллов и некоторых свойствах пространственных решеток". Сообщение о ней состоялось 21 января 1908 г. на заседании Московского общества естествоиспытателей, а статья опубликована в трудах [85] и в журнале "Zeitschrift für Kristallographie" [81]. Эта работа имела много общего с его докторской диссертацией и в какой-то степени являлась ее продолжением, хотя исходная идея была чисто геометрической.

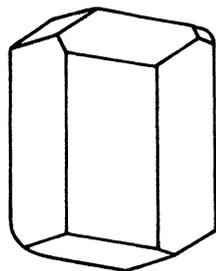


Рис. 16

Профессор математики, коллега Вульфа по Варшавскому университету, Г.Ф. Вороной поставил и решил следующую задачу: вокруг точки заданной пространственной решетки построить многогранник, внутри которого все точки пространства были бы расположены ближе к выбранной точке решетки, чем к остальным точкам той же решетки. Вороной решил эту задачу в общем виде для пространства любых измерений и множество точек пространства, обладающих указанными свойствами, теперь носит название **области Вороного** [323].

Вульф построил многогранник Вороного для трехмерной решетки. Это оказался четырнадцатигранник с гранями двоякого рода: шесть из них – параллелограммы, остальные восемь – шестиугольники с тремя парами равных и параллельных сторон. Этот многогранник является **параллелоэдром**, так как путем параллельных переносов он заполняет все пространство без промежутков. Поэтому Вульф называл его **многогранник П** (рис. 16).

Геометрическому многограннику П Вульф дает физическое толкование. Если точки решеток представляют собой материальные частицы, то многогранник П, описанный вокруг некоторой материальной частицы, находящейся в центре симметрии К, представляет собой сферу молекулярного действия этой частицы. "Многограннику П, – пишет Вульф, – можно дать толкование, гораздо более важное для кристаллографии и более плодотворное... Многогранник П изображает собой форму кристалла, если каждой его грани мы дадим такое расстояние от расположенной внутри кристалла точки К, которое равно половине площади образующего параллелограмма этой грани, деленное на среднее расстояние точек решетки; иначе, если мы примем во внимание не абсолютные величины, а их относительные, это расстояние обратно пропорционально ретикулярной плотности грани" [81, с. 196]*.

Таким образом, если кристалл начал расти из точки К и растет так, что все его грани удаляются от точки К на отрезки, обратно пропорциональные ретикулярным плотностям, то тогда кристалл примет форму, геометрически подобную многограннику П. "При таком под-

* Цитируется по: Вульф Г.В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952.

ходе, – пишет далее Вульф, – многогранник Π представляет собой уже нечто реальное: он определяет габитус кристалла в том случае, если его грани обладают указанными выше скоростями роста. Таким образом получается возможность установить теорию внешней формы кристалла, которая должна стоять в тесной связи с наблюдениями над скоростями роста кристаллических граней" [81, с. 196]. Эта связь была установлена и описана в диссертации Вульфа – грани кристалла растут со скоростями, обратно пропорциональными их ретикулярной плотности.

Таким образом, если из точки K , являющейся точкой роста кристалла, провести нормали к граням и отложить на них отрезки обратно пропорциональные их ретикулярным плотностям, а через концы этих отрезков провести плоскости им перпендикулярные, то мы получим теоретический габитус кристалла в виде многогранника Π .

Далее Вульф рассматривает детально построение многогранника Π вначале для плоской решетки с двумя неравными трансляциями и острыми углами. Полученный шестиугольник Π описывается следующими параметрами:

$$A = a \operatorname{ctg} \alpha, \quad B = -b \operatorname{ctg} \beta, \quad D = -d \operatorname{ctg} \delta,$$

где A, B, D – длины сторон, перпендикулярные к a, b и d соответственно.

Если $a \perp b$, то $\delta = 90^\circ$ и $D = 0$, следовательно, шестиугольник превращается в прямоугольник. Таким образом, для плоской решетки возможны только две формы многоугольника Π – шестиугольник и прямоугольник.

Затем Вульф обобщает это построение для случая трех измерений и подробно описывает все геометрические свойства многоугольника Π с использованием своей стереографической сетки.

Он еще раз подчеркивает, что "если бы скорости роста граней кристалла были обратно пропорциональны их ретикулярным плотностям, то внешняя форма кристалла была бы тождественна с многогранником Π " [81, с. 214]. Но, замечает Вульф, этому мешает изменение "энергии роста грани" взаимным влиянием кристалла и маточного раствора и концентрационные потоки. Поэтому "кристалл теряет простую форму многогранника Π , грани последнего приобретают такие размеры и формы, которые отклоняются от теории; некоторые грани могут полностью выйти за пределы Π , другие же, которые были расположены вне многогранника Π , могут, наоборот войти в качестве ограничивающих его граней. Простота и чистота теоретических соотношений могут при этом полностью пропасть. Однако нечто из этих соотношений должно и сохраниться: очевидно, что чем меньше должен быть изменен носитель некоторой грани, чтобы переместить грань во вне или внутрь области Π , тем легче и чаще будет иметь место подобное перемещение во время кристаллизации... Таким образом, теоретически мы имеем возможность рассматривать многогранник Π как нормальную форму кристалла. При этом простейшей формой

кристалла был бы параллеледр, и внешний вид кристалла задавался бы не только относительным направлением его элементов (граней и ребер), как это выражено законом постоянства углов, но также отношением его линейных размеров" [81, с. 215].

Рассматривая реальные и возможные грани многогранника П, Вульф приходит к выводу о необходимости различать три вида кристаллических граней:

1. **Положительные грани**, ограничивающие многогранник П. Это так называемые конституционные грани, которые определяют габитус и строение кристалла.

2. **Нулевые грани**, касающиеся прямоугольных ребер П. Эти грани возникают в комбинации с положительными гранями при малейших благоприятствующих изменениях условий кристаллизации.

3. **Отрицательные грани**, расположенные теоретически вне многогранника П. Их вероятное возникновение зависит от благоприятной комбинации их параметров и величины близлежащего угла.

Вариантность ограничения реального кристалла по сравнению с теоретическим Вульф демонстрирует на материале опытов Вейберга [324] и Ватича (подробнее см. ниже) с кристаллами алюмокалиевых квасцов.

Поскольку многогранник П есть параллеледр, то "всякую пространственную решетку можно рассматривать как систему централизованных параллелепипедов" [81, с. 217]. Поэтому вид многогранника П будет зависеть от симметрии пространственной решетки.

Вульф нашел все возможные многогранники П для решеток кристаллографической симметрии. Для триклинной решетки это уже известный нам четырнадцатигранник. Для моноклинной решетки многогранник П обладает тремя формами: шестигранной прямой призмы, додекаэдра и четырнадцатигранника. Ромбическая решетка имеет четыре формы многогранника П: прямоугольного параллелепипеда, прямой шестигранной призмы, четырнадцатигранника и додекаэдра. В ромбоэдрической решетке многогранник П имеет две формы: додекаэдра и четырнадцатигранника. Гексагональная решетка обладает единственной формой многогранника П – гексагональной призмы. Тетрагональная решетка более богата и обладает тремя формами тетрагональной призмы, додекаэдра и четырнадцатигранника. И наконец, кубическая решетка имеет три формы многогранника П куба, ромбического додекаэдра и кубоктаэдра.

Следуя логике Вульфа, именно такие формы должны иметь кристаллы соответствующей симметрии при их выращивании в строго равновесных условиях.

Полученные результаты Вульф сопоставляет с аналогичными попытками определить равновесные формы кристаллов, предпринятые Браве [264]. Последний считал, что растущий кристалл ограничится теми формами, грани которых имеют наибольшую ретикулярную плотность. Вульф считает, что при таком подходе, который учитывает лишь взаимный наклон плоскостей решетки, рассматриваемых как

границ кристалла, невозможно прийти к многограннику П, при построении которого учитываются и трансляции. Однако в результате многие предсказания теории Браве вполне согласуются с полученными Вульфом. Например, для ромбической системы Браве указывает как наиболее часто проявляющиеся грани (010) и (001), а совершенная спайность должна наблюдаться по граням (100), (010) и (001). Для этой же системы многогранник П Вульфа содержит грани (100), (010) и (001) в качестве положительных, т.е. предпочтительных при росте, а грани (011), (101) и (111) – в качестве нулевых, которые тоже могут с большой вероятностью образовываться.

Сопоставляет Вульф свои результаты и с параллелоэдрами Федорова. Напомним, что Федоров нашел пять правильных многогранников, размножая которые можно заполнить пространство без промежутков. Эти параллелоэдры имеют 6, 8, 12 и 14 граней. Сопоставляя их с многогранниками П, Вульф показал, что "относительное положение граней П и найденных параллелоэдров (Федорова. – *Прим. А.С.*) полярно: грани П перпендикулярны рядам точек пространственной решетки, грани параллелоэдров Е.С. Федорова параллельны сетчатым плоскостям" [81, с. 225].

Эта большая работа, по известным уже нам причинам, не оказала влияния на изучение габитуса растущих кристаллов, но в геометрическом аспекте она до сих пор представляет большой интерес для геометров, изучающих многогранники.

3

Эта статья вызвала резкую критику Федорова [325]. Он считал, что параллелоэдр П, введенный Вульфом, не имеет физического значения. "При современном состоянии молекулярной физики, – писал Федоров, – мы не в состоянии с этим понятием связать какие-либо определенные молекулярные свойства; пока это только условное и вспомогательное средство для облегчения мысленных операций с пространственными решетками" [325, с. 251].

Но и для последней цели параллелоэдр П, по мнению Федорова, тоже мало пригоден, так как при его деформации число его плоскостей может меняться, причем некоторые из них могут становиться иррациональными.

Вульф ответил резко полемической статьей [91]. В первой ее части он опровергает утверждение Федорова об отсутствии физического смысла параллелоэдра П. Последовательно из принципа Кюри и гипотез Браве и Зонке он показывает, что параллелоэдр П есть идеальная форма кристалла при заданных капиллярных постоянных.

Во второй части статьи Вульф показывает, что его параллелоэдр П гораздо удобнее для суждения о структуре кристалла, чем параллелоэдры, введенные Федоровым. Вульф считает, что связь между параллелоэдрами Федорова и пространственными решетками не такая уж прямая, как думает автор. Недаром для уточнения этой связи Федоров ввел гипотезу о "кристаллографическом пределе", с помощью

которой вывел формулу, дающую вероятность той или иной структуры. Эта формула имеет следующий вид:

$$W = \frac{R}{J} \cdot \frac{\arctg Z}{90^\circ} \sin \alpha \sin \beta \cos^2(A - \gamma). \quad (22)$$

Здесь R – сумма квадратов ретикулярных плотностей всех наблюдаемых в кристалле граней, J – сумма числа плоскостей, как реальных, так и теоретически возможных, Z – число зон кристалла, α – угол между осями, перпендикулярными главной оси установки, β – угол наклона оси [001] к плоскости (001), γ – угол призмы кристалла и A – граничный угол этой призмы, который может быть или 90° , или 60° .

Вульф резко критикует эту совершенно искусственную формулу и в качестве примера вычисляет по ней вероятность октаэдрической, додекаэдрической и гексаэдрической структуры для кристаллов бихромата калия. При этом он использует данные, приведенные учеником Федорова Д.Н. Артемьевым. Вычисления по формуле (22) дали одинаковую величину вероятности всех этих трех структур. "Я полагаю, – заключает Вульф, – что вышесказанного достаточно, чтобы доказать недостаточность критериев для правильного определения кристаллических структур, предложенных Федоровым" [91, с. 619].

Эта же тема была развита Вульфом в его докладе, сделанном 29 декабря 1909 г. на заседании секции минералогии и геологии XII съезда русских естествоиспытателей и врачей, состоявшемся в Москве. Доклад назывался "Строение, внешний вид и правильная установка кристаллов" [90] и был гораздо шире по содержанию вопроса о значении параллелоэдров в структуре кристаллов.

"Избранная мною тема, – начал свой доклад Вульф, – вмещает, собственно говоря, всю кристаллографию – физическую и геометрическую, – развитие и успехи которой, разумеется, совершенно невозможно изложить в рамках одного доклада. Мне, поэтому, нет возможности поднять вас на надлежащую высоту и a vol d'oiseau* показать вам все обширное поле нашей науки, прилежно возделанное исследователями, и еще более обширные, необозримые дебри неизведанных ее областей. Я имею в виду провести вас лишь по некоторым из главных проложенных уже путей и довести вас до границ этих путей, до границ еще неизведанных областей. Для того, чтобы быть хорошим путеводителем, я должен выбрать пути, наиболее мне известные, по которым я сам неоднократно ходил, восхищаясь их красотой и удивляясь гению проложивших их работников науки, – пути, которые и меня, в конце концов, привели к неизведанным еще областям. Тут уже потребовались и мои личные усилия для того, чтобы хоть на несколько шагов продолжить приведшие меня пути. Такой характер моего доклада составит мне возможность не только представить вам краткий обзор современного состояния намеченного вопроса, но и предложить суду вашей критики те выводы, которые, по моему мнению, должны вытекать из этого обзора" [90, с. 197].

* С птичьего полета – (франц.).

После этого введения Вульф последовательно изложил в историческом разрезе становление и развитие основных идей кристаллографии – понятие о кристалле, как об однородной, анизотропной симметричной среде (Гаюи), о пространственной решетке, ретикулярной плотности и ее связи с реальными гранями кристалла (Браве), об определяющей роли поверхностной энергии в формировании габитуса кристалла (Кюри), о связи поверхностной энергии с ретикулярной плотностью (Зонке). Здесь Вульф упомянул, не называя своей фамилии, и о своем принципе как о частном случае закона Кюри.

Затем он перешел к изложению представлений о строении кристаллов, где главное внимание уделил работам Федорова. Вульф высоко оценил выведенные им 230 возможных случаев расположения точек в пространстве, отвечающих 32 кристаллографическим классам, но весьма скептически отозвался об использовании параллелоэдров для суждения о структуре кристаллов.

Последняя часть доклада была посвящена изложению его теории параллелоэдра П, статье Федорова [325] и ответу на его критику. Здесь, как и в работе [91], Вульф, в качестве примера, разбирает случай кристаллов бихромата калия. Артемьев, исходя из подсчета вероятности реализации той или иной структуры, с помощью формулы Федорова (22), утверждает, что этому кристаллу необходимо приписать гексаэдрическую (кубическую) структуру. С помощью же параллелоэдра П, как показывает Вульф, относя его к разным граням этого кристалла, ему можно приписать как гексаэдрическую, так и додекаэдрическую и октаэдрическую структуры. "Итак, – заключает Вульф, – многогранник П обнаруживает возможность с одинаковой вероятностью отнести кристаллы к различным структурам, что, разумеется, с точки зрения теории структуры, основанной на параллелоэдрах, не мыслимо. Это утверждение имеет, по крайней мере, полное значение, если пользоваться параллелоэдрами чисто геометрически, не обращая внимания на физические свойства кристалла" [90, с. 211]. Учет же физических свойств – наличие граней с наибольшими ретикулярными плотностями, плоскости спайности и, принимая во внимание оптические свойства, позволили Вульфу отнести эти кристаллы к кубическим. "Из всего этого ясно, – заканчивает свой доклад Вульф, – какое значение параллелоэдр П должен иметь в изучении внешнего вида кристаллов и что применение учения о параллелоэдрах к истолкованию особенностей внешнего вида кристаллов должно оказаться весьма плодотворным, так как оно может быть непосредственно связано с изучением физических свойств кристалла, доступных экспериментальному изучению, между прочим с изучением скоростей роста кристаллических граней" [90, с. 212].

Здесь необходимо добавить, что этот пленарный доклад должен был делать Федоров. Как один из организаторов съезда Вульф обратился к нему с таким предложением. В своем письме Вульф, ссылаясь на неподготовленность аудитории, просил Федорова выбрать тему не по новой геометрии, которую тот успешно пропагандировал. Однако Федоров отказался делать доклад. "Быть может он обиделся – ведь у

него наука так тесно связана с его личным самолюбием!... Кстати, у меня с Евграфом Степановичем по этому поводу полемика и он может напасть на меня и устно, если будет вообще на съезде" – писал Вульф Вернадскому [161, л. 58–59].

На Вульфа никто не нападал, но сам он весьма активно дискутировал с учеником Федорова Артемьевым по поводу его доклада [326]. В этом докладе Артемьев на основании "общих кристаллографических законов, установленных Федоровым", утверждал:

1. На кристаллах развиваются грани с наибольшей ретикулярной плотностью.

2. Все кристаллы или псевдотетрагональны, или псевдогексагональны. Отсюда Федоров установил критерии правильной установки кристаллов, что позволило найти новые способы вычисления ретикулярной плотности граней.

На это Вульф заметил, что "законы и методы, лежащие в основании пересмотра правильной установки кристаллов, предпринятые Е.С. Федоровым, представляют отражение идей Браве, а критерии правильной установки, предложенные Федоровым не точны и не гарантируют достоверность" [326]. Вульф высказал и сомнения в достоверности метода подсчета ретикулярной плотности, однако на другой день публично признал, что способ этот правилен, но его можно представить в более простом виде. Остальные же возражения он оставил в силе.

Несколько особняком к этим работам по геометрической кристаллографии стоит небольшая заметка Вульфа о кристаллизации иодистого калия на слюде [80]. Она была инициирована работами известного немецкого кристаллографа М. Франкенгейма [327, 328]. Он показал, что поверхность слюды влияет на кристаллизацию иодистого калия, но, по мнению Вульфа, неправильно это влияние объяснил. Франкенгейм считал, что силы притяжения между подложкой и растущим кристаллом (иодистым калием) способны влиять на форму кристалла. Так на стекле иодистый калий кристаллизуется в форме куба, а на слюде – в форме октаэдра. Эти наблюдения подтверждаются и другими авторами.

Вульф сам проделал аналогичные эксперименты и показал, что на слюдяной пластинке, долгое время пролежавшей на воздухе, иодистый калий кристаллизуется в виде мелких кубических кристалликов, а на свежееотщепленных листочках слюды – тоже в виде кубических кристалликов, но ориентированных вдоль осей третьего порядка (по пространственным диагоналям). В последнем случае их проекции на плоскость слюды кажутся треугольниками, что и позволяет спутать их с октаэдрами.

Для окончательного решения этой проблемы Вульф измерил углы между гранями кристалликов иодистого калия, выросших на слюде, и убедился, что они отвечают именно кубической форме. Таким образом, эти опыты устанавливают ориентирующее влияние поверхности слюды, но не влияние на форму растущих на ней кристаллов.

На XII съезде русских естествоиспытателей и врачей в секции физики Вульф сделал еще один доклад о жидких кристаллах. Эти необычные вещества давно интересовали его. Не случайно, именно жидкие кристаллы он выбрал темой своей пробной лекции в Варшавском университете в 1892 г., но тогда ограничился лишь обзором работ Лемана и некоторыми соображениями о симметрии капель жидких кристаллов. Теперь же Вульф решил выяснить природу этих необычных жидкостей.

Здесь надо сказать, что с момента открытия жидких кристаллов Ф. Рейнитцером и О. Леманом до начала XIX в. среди физиков и химиков не прекращался спор об их природе (см. подробнее [252]). Многие авторитетные ученые, такие как Г. Квинке, Г. Тамман считали жидкие кристаллы нечистыми жидкостями, загрязненными твердыми кристаллами; последние и ответственны за их оптическую анизотропию. В то же время не менее авторитетный физик О. Леман и химик Р. Шенк полагали, что жидкие кристаллы являются промежуточной формой вещества между обычными жидкостями и твердыми кристаллами. Их оптическую анизотропию они объясняли анизометрической формой молекул жидких кристаллов.

В период с 1908 г. по 1911 г. Вульф опубликовал пять работ, в которых на основе своих экспериментов он пытался доказать, что жидкие кристаллы относятся к неким гетерогенным образованиям.

Уже в первой работе [79], наблюдая с помощью поляризационного микроскопа остывание расплавов п-азоксианизола, п-азоксифенетола, холестерилбензоата и этилового эфира п-азоксикоричной кислоты, Вульф пришел к выводу, что здесь "мы имеем дело с веществами, которые дают так называемую жидкокристаллическую (мутную) фазу, которые не являются гомогенными в химическом смысле, а, вероятно, представляют собой смесь двух изомерных или, вообще говоря, изодимерных веществ, одно из которых имеет точку плавления ниже точки превращения во вторую твердую фазу, а второе – выше" [79, с. 213].

Наиболее подробно свою точку зрения на жидкие кристаллы Вульф изложил в докладах, которые он представил 30 декабря 1908 г. на общем собрании Русского физико-химического общества [85] и 5 января 1910 г. на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей [329]. В обоих случаях доклады сопровождалась демонстрациями препаратов жидких кристаллов, плавление и охлаждение которых на столике поляризационного микроскопа проецировалось на большой экран.

Текст доклада на съезде не был опубликован, однако есть основание считать, что он был близок к докладу [85].

Доклад начинался фразой, четко определяющей позицию автора: "Будучи противником взглядов Лемана и его сторонников, я покажу вам явления в жидких кристаллах, как описанные самим Леманом, так и наблюдаемые лично мною, и постараюсь доказать, что мы имеем

дело с действительно сложными веществами, распадающимися при нагревании на составные части" [85, с. 193].

Вульф наблюдал в поляризационный микроскоп и демонстрировал аудитории образование жидкого кристалла при остывании расплава п-азоксифенетола. При сдвиге покровного стекла в анизотропной фазе оптическая картина раздваивалась. Этот эффект наблюдал еще в 1890 г. Леман и объяснил сильным сцеплением поверхностных слоев со стеклами. Вульф же на основании эксперимента сделал следующий вывод: "Явление происходит так, как будто бы оба прилипшие слоя были отделены слоем **изотропной** жидкости. Явление происходит так, как будто бы при плавлении кристалликов параазоксифенетола из них выделялась и отлагалась на поверхности сверху и снизу пленка, обладающая двойным лучепреломлением" [85, с. 195]. Эту пленку Вульф пытался царапать препаративной иглой. "Это показывает, – продолжает докладчик, – что пленка – твердое тело, а не жидкость и ни в коем случае не слой или несколько слоев молекул, прилипших к стеклу, как это полагает Леман. На поверхности капли плавают ясно заметная неправильных очертаний корочка, перемещающаяся по капле от пронизывающих каплю струй" [85, с. 200].

Отсюда следуют выводы: "Таким образом, ясно, что капля неоднородна, что она состоит из изотропной жидкости и из имеющего коллоидный характер вещества пленки и корочки" [85, с. 201]. Далее: "Из этих наблюдений ясно, что двупреломляющая часть капли представляет с самого начала своего появления мешок, капсулу из коллоидной оболочки, заключающую внутри себя изотропную жидкость и хлопья коллоидального вещества" [85, с. 205]. И, наконец, главный вывод: "**Лемановские жидкие кристаллы представляют из себя пузыри изотропной жидкости с коллоидной оболочкой**, т.е. вся кристаллическая жидкость построена наподобие пены" [85, с. 210]. Вывод в статье [79] менее пространен, но тоже вполне определен: "Мутная фаза не может быть не чем иным, как смесью раствора и выделяющихся из него кристаллов растворенного твердого вещества" [79, с. 210].

Такие же выводы сделал Вульф из своих наблюдений плавления холестерилбензоата. Исследовал он и этиловые эфиры п-азокси-коричной и п-азоксибензойной кислот. В этих случаях он предположил образование твердых кристалликов, окруженных тонкой жидкой оболочкой, т.е. принял точку зрения Квинке.

Свою концепцию строения жидких кристаллов п-азоксифенетола Вульф использовал для объяснения так называемых ядер – оптических деталей, представляющих собой черные точки в центре или на полюсах капель. По этому вопросу он выступил с докладом на заседании Московского общества испытателей природы [97] и на страницах журнала "Annalen der Physik" [95].

Вульф считал, что ядро служит источником натяжений в коллоидной оболочке капли. Линии натяжения направлены по радиусам капли к центру ядра. "Источником этих натяжений, – пишет Вульф, – служит, очевидно, маленький, сильно преломляющий свет сверток,

находящийся в середине первичного ядра" [97, с. 8]. Другой тип ядер, так называемые конвергентные ядра, возникающие при слиянии двух капель, по Вульфу, также является натяжением коллоидной пленки. Эти модели объясняли оптическое поведение ядер в поляризованном свете, но физически оказались совершенно неверными.

Подробно обычные и конвергентные ядра исследовала сотрудница Вульфа Елена Дейша [330]. В ее работе, выполненной под руководством Вульфа, впервые в практике отечественной физики применена киносъемка. Как указано в этой статье, кино- и фотосъемку с помощью поляризационного микроскопа провел сам Вульф. В результате исследований Дейша пришла к выводу, что жидкие кристаллы следует рассматривать как коллоидный раствор, суспензия которого способна из-за капиллярной природы собираться в коагуляционные области.

Сейчас ясно, что выводы, которые сделал Вульф на основании экспериментов о природе жидких кристаллов, ошибочны. Но ошибки выдающихся исследователей также поучительны, как и их достижения. Поэтому важно понять, почему Вульф отказал жидким кристаллам в праве на существование. По-видимому, все дело в том, что Вульф, будучи прежде всего кристаллографом, связывал в своем представлении (и это было общепринятое мнение) оптическую анизотропию с кристаллической пространственной решеткой. Только кристаллы, частицы которых правильным, закономерным образом расположены в пространстве, могут обладать оптической анизотропией. Когда же появляется некая жидкость, обладающая двупреломлением, да еще называемая жидким кристаллом, то кристаллограф не может связать ее строение с существованием пространственной решетки. Текучесть и пространственная решетка несовместимы! Недаром Леман, поставленный перед этой дилеммой, вынужден был постулировать, что пространственная решетка не является обязательным свойством кристалла вообще.

Вульф эту точку зрения принять не мог. Для него это было бы крушением основ, что совершенно невозможно. Поэтому он пошел по наиболее естественному пути – пытался доказать, что двупреломление жидких кристаллов обусловлено примесями твердых кристаллов. Вульф не увидел второй, и как оказалось правильный, путь, двигаясь по которому его современники Д. Форлендер и Ж. Фридель объяснили оптическую анизотропию жидких кристаллов ориентационным упорядочением анизометрических молекул (подробнее см. [252]).

5

Все эти годы в Московском университете не прекращаются студенческие забастовки, вызванные иногда совершенно случайными причинами и, как правило, протекающие довольно вяло. Администрация университета энергично боролась с беспорядками и казалось, что они не способны привести к тяжелым последствиям.

Но забастовка, начавшаяся в январе 1911 г., нарушила всю сложившуюся за последние годы относительную стабильность. Без ведома

ректора и Совета университета на территорию была введена полиция, якобы для прекращения стачки. На самом же деле это оказалось заранее подготовленной акцией, направленной на лишение университета его автономии. Полиция стала интересоваться политическими взглядами преподавателей, предъявляя при этом агентурную информацию. А 11 января 1911 г. Совет Министров принял постановление "О недопущении в стенах высших учебных заведений студенческих собраний и вменении в обязанность полицейским чинам принимать быстрые и решительные меры против них". Это уже было прямое попрание Устава, отменяющее автономию университета, ибо в соответствии с этим указом на территории университета главенствующую роль теперь исполняла полиция.

В ответ на эту акцию еще больше усилились студенческие волнения. Полиция безжалостно арестовывала бастующих и высылала их в отдаленные города [331]. Ректорат вынужден был предпринять решительные шаги. 28 января 1911 г. состоялось экстренное заседание Совета университета, на котором ректор проф. А.А. Мануйлов представил отчет о положении в университете. Он заявил, что не видит для себя возможности оставаться на своем посту.

В заявлении на имя попечителя Московского учебного округа Мануйлов так объяснял мотивы своей просьбы об отставке: "В университете создано совершенно необычное положение. В силу недавнего постановления Совета министров поддержание правильного хода учебной жизни в университете, возложенное на обязанность и ответственность Совета и выбранных им должностных лиц, ныне входит в компетенцию двух властей: университетской и общей администрации. Те и другие одинаково ответственны за порядок в университете и уполномочены каждая принимать свои меры. Отличие нового порядка от прежнего... состоит в том, что полиции дано теперь право и даже вменено в обязанность вмешиваться в управление университетом независимо от того, обращается ли к ней университетская администрация или нет. Полиция стала ответственным перед высшим начальством – каковым является для нее Министерство внутренних дел – органом университетского управления; и, как таковой, она, исполняя свою новую обязанность, неизбежно должна вмешиваться во внутреннюю жизнь университета" [332].

Выражая солидарность с ректором в отставку подали его помощник проф. М.А. Мензбир и проректор проф. П.А. Минаков. Отставка всех троих была тут же принята, причем о ней министр народного просвещения и попечитель не сочли необходимым поставить в известность Совет университета, который узнал об этом решении из газет.

Отставка вызвала взрыв возмущения среди профессоров и студентов. 2 февраля 1911 г. Совет университета на экстренном заседании принял обращение к управляющему Министерству народного просвещения с выражением протеста против разрушения университета. Но Министерство никак не прореагировало. 4 февраля 1911 г. последовало новое обращение Совета в Министерство с ходатайством о возвращении ректора и его помощников в университет. Основанием послу-

жило то обстоятельство, что хотя все трое просили отставку от административных обязанностей, их освободили и от занимаемых ими профессорских должностей. В то же время Совет подтвердил, что считает всю деятельность этих профессоров правильной.

Уже на другой день профессора университета (21 чел.) в знак протеста подали прошение об отставке. Среди них были такие выдающиеся ученые как В.И. Вернадский, Н.А. Умов, П.Н. Лебедев, А.А. Эйхенвальд, Н.Д. Зелинский, К.А. Тимирязев, С.А. Чаплыгин, Б.К. Млодзеевский. Их примеру последовали более 128 приват-доцентов и преподавателей, в том числе и Г.В. Вульф.

Как писал по этому поводу Вернадский, "старый Московский университет перестал существовать" [333, с. 194].

Кафедра минералогии опустела. Кроме В.И. Вернадского и Г.В. Вульфа ушли А.Е. Ферсман, В.В. Карандеев, Я.В. Самойлов, Г.И. Касперович. На кафедре остался один приват-доцент П.К. Алексат. Поэтому в течение двух семестров курсы минералогии и кристаллографии вообще никто не читал. Только в конце 1911 г. на кафедру пришел новый заведующий проф. С.Ф. Глинка. Он был переведен из Петербургского университета и привел с собой новых преподавателей. Занятия возобновились [167].

Вернадский, избранный еще в 1908 г. экстраординарным академиком по отделению минералогии, переехал в Петербург, вместе с ним уехали Ферсман и Касперович.

Вульф остался в Москве. Его привлекала возможность научной работы, которую предоставлял своим профессорам и преподавателям Городской Народный университет им. А.Л. Шанявского. Дело в том, что еще в 1908 г. Вульф организовал в этом университете кристаллографическую лабораторию и читал там по совместительству лекции. Поэтому база для отступления из Московского университета уже была готова.

В университете им. А.Л. Шанявского

1

Идея открыть в Москве негосударственный университет родилась в 1905 г. в семье Шанявских [334].

Альфонс Леонович Шанявский, высокообразованный генерал русского генерального штаба, после выхода в отставку по болезни уехал в Восточную Сибирь. Там в городе Кяхта, на границе с Китаем, он вошел в Зейскую золотопромышленную компанию. Благодаря его знаниям и предприимчивости добыча золота была поставлена на научную основу и приносила большие прибыли. Шанявский стал очень богатым человеком. В Сибири он женился на Лидии Алексеевне Родственной – образованной, прогрессивной женщине, разделявшей его взгляды на проблемы России.

Поражение в войне с Японией потрясло Шанявских. Одну из главных причин этого поражения они видели в недостаточной образованности российского общества, поэтому возникло решение направить свою энергию и средства на цели возможно более широкого образования всех слоев русской молодежи.

15 сентября 1905 г. А.Л. Шанявский направил в Московскую городскую думу заявление с просьбой принять от него деньги и дом с земельным участком для организации негосударственного университета. Дума приняла этот дар с благодарностью, а 7 ноября Альфонс Леонович, подписав завещание, скоропостижно скончался.

Три года ходатайствовал Попечительский совет (председатель – Л.А. Шанявская) еще не открытого университета о получении разрешения Государственной Думы. Лишь в июне 1908 г. император Николай II и Государственный Совет утвердили прошение [334].

Торжественное открытие Московского Городского Народного университета имени А.Л. Шанявского состоялось 1 октября 1908 г. В университет принимались лица с 16-летнего возраста любого сословия и вероисповедания без предъявления документов об образовании. Однако обучение было платное – годовая оплата за курсы лекций составляла 30–50 руб. в зависимости от цикла обучения. Практические занятия также оплачивали – примерно 10 коп. в месяц. Но особо нуждающиеся слушатели от платы освобождались [335].

Вначале полный курс обучения был рассчитан на 2 года, но желающие получить специальные знания, подготовиться к конкретной практической деятельности или к научной работе могли обучаться еще год по специальным программам. Однако, когда в 1912 г. университет получил свое здание, полный курс расширился до 3 лет с добавлением еще одного года на специализацию.



**Городской Народный университет им. А.Л. Шанявского.
Естественно-исторический факультет**

Университет открыл два факультета: научно-популярный, дающий общее среднее образование, и академический, дающий высшее образование по естественным наукам, истории, общественным наукам, праву, финансам, философии, языкам. На академическом факультете занятия проходили по двум циклам – естественно-историческому и общественно-экономическому.

На естественно-историческом цикле студенты слушали лекции по геологии, кристаллографии, зоологии, ботанике, химии органической и аналитической, физике, математике, минералогии, механике, физиологии животных и растений. По многим предметам проводились и практические занятия.

Университет не имел своего помещения и занятия проводились в разных концах Москвы. Но в 1910 г. меценат, пожелавший остаться неизвестным, пожертвовал 225 тыс. руб. на строительство специального здания университета. Следом поступило пожертвование 52 тыс. руб. от В.А. Морозовой на строительство химической лаборатории. В 1912 г. 3-х этажное каменное здание университета было построено. Фасадом оно выходило на 3-ю Миусскую улицу. Левая часть здания была отдана естественно-историческому циклу. Там размещались лаборатории и кабинеты кристаллографии и минералогии. К левому крылу здания соорудили пристройку для химической лаборатории.

Теперь университет резко увеличил число слушателей. В 1911/12 учебном году их было 2675, в том числе на академическом факультете 2205 человек. 54% слушателей составляли женщины. Это, прежде всего, учителя и служащие, а также лица творческих профессий.

Такое количество женщин среди слушателей университета легко объяснимо. В те годы он был одним из немногих высших учебных заведений, куда женщинам "дозволялось поступать".

Таким образом университет им. А.Л. Шанявского становится одним из главных образовательных и научных центров Москвы. «Быть преподавателем университета Шанявского считают теперь за честь выдающиеся ученые силы. Наряду с чтением лекций в университете идет интенсивная работа в лабораториях и семинарах. В изданиях Императорской Академии наук и в других ученых изданиях имеются уже работы с пометкой: "из лабораторий университета Шанявского"» – писала газета "Русские ведомости" [336].

После демонстративного ухода из Московского университета ведущие профессора и преподаватели получили предложение Попечительского совета перейти в новый университет. Многие, в том числе и такие известные ученые как М.А. Мензбир, К.А. Тимирязев, П.Н. Лебедев, приняли это предложение. Для Вульфа проблемы выбора не было – он целиком сосредоточился на работе в своей кристаллографической лаборатории этого университета.

После скандала в Московском университете общественное значение университета Шанявского серьезно возросло. Пресса наперебой писала о том, какие блестящие условия создают меценаты для научной элиты России. На самом деле это оказалось далеко не так, о чем с горечью писал Вульф в газете "Столичная молва" [99]. Да, отдельные лаборатории, например, лабораторию Лебедева в Мертвом переулке, удалось, стараниями частных лиц, оснастить на европейском уровне [337]. Но главные лаборатории – учебная физическая, минералогическая, геологическая, кристаллографическая, палеонтологическая, зоологическая и ботаническая – "тесны и убоги". С переездом на Миусскую площадь они получили не больше места, чем имели в других помещениях. Бюджет на содержание лабораторий очень мал и поэтому приходится отказываться от самых необходимых материалов и приборов. "Одна из лабораторий, – писал Вульф, явно имея в виду свою кристаллографическую, – содержится на небольшой гонорар, получаемый заведующим за лекции, и из этого же гонорара оплачивается помощник". Библиотека по естественным наукам "крайне бедна" и нет возможности выписывать текущую зарубежную литературу и научные журналы. Но самое главное, – пишет Вульф, – "научная работа производится сплошь и рядом при помощи самодельных приборов и приспособлений; от некоторых исследований, требующих более дорогого оборудования, приходится отказываться и упускать пальму первенства другим учреждениям, находящимся в более благоприятных материальных условиях".

Концовка статьи не звучит оптимистично: "Когда наступят эти благоприятные условия для университета Шанявского и наступят ли они – всецело зависит от людей, которым дорого процветание наук в России, чуткое сердце которых должно сжиматься, видя, в какие неблагоприятные условия ставится в последнее время развитие наук в нашем отечестве" [99].

Что представляла собой кристаллографическая лаборатория трудно понять из отчетов университета, которые мы процитируем.

В отчете за 1911/12 учебный год читаем: "Кристаллографическая лаборатория университета Шаньявского, находящаяся в ведении Ю.В. Вульфа, начала свое существование три года тому назад и состояла из комнаты, часть которой отделена перегородкой и обращена в темное помещение для оптических и фотографических работ. В этой комнате велись практические занятия со слушателями и производились научные работы заведующим и специалистами. Оптическая комнатка обслуживала практикантов не только своей лаборатории, но и соседней физической" [338, с. 27].

Из отчетов за 1912–1914 учебные годы [339, 340] видно, что с помещениями в лаборатории все также неважно: "Лаборатория эта, не считая комнаты профессора, состоит из одной комнаты в 12 кв. сажень*, от которой 4 кв. сажени отделены перегородками и отведены под маленькую мастерскую и оптическую темную комнатку. Помещение предназначается для научных работ и более опытных слушателей, так что для ведения практических занятий по курсу в помещении не хватает места, и эти занятия ведутся частью в аудитории, частью в прилегающем к лаборатории коридоре. В лаборатории нет места и шкафам с инструментами и коллекциями моделей и кристаллов, и шкафы эти пришлось поместить в коридоре" [339, с. 34].

В эти годы с Вульфом работали четыре сотрудника: Е. Дейша, Л.И. Лисицын, А.Б. Млодзеевский и А.В. Шубников. Последний был еще студентом Московского университета и работал безвозмездно. Только в 1913 г., после окончания университета, Шубникова зачислили в штат [321].

Учебная деятельность лаборатории сводилась к чтению курса лекций по геометрической кристаллографии – 2 часа в неделю и ведению практических занятий – 1 час в неделю. В первом семестре слушатели обучались работе с сеткой Вульфа, на моделях знакомились с симметрией кристаллов, осваивали однокружный и двухкружный гониометры, во втором семестре – работе с поляризационным микроскопом и некоторым физико-химическим методикам.

Занятия по кристаллографии пользовались среди слушателей популярностью – на них записывалось обычно больше желающих, чем сразу могла вместить лаборатория. Так в 1912/13 учебном году кристаллографией занимались 27 слушателей [339]. Их пришлось разбить на две группы и проводить занятия поочередно, так как в лаборатории не хватало гониометров и поляризационных микроскопов.

"Что касается до инвентаря, – читаем в отчете за 1912/13 учебный год, – то всего имущества в настоящее время в кристаллографической лаборатории состоит на сумму 1200 р. Значительная часть этой суммы падает на мебель. Это объясняется весьма просто тем, что большая

* Примерно 66 кв. м.

часть бюджета в 750 р. в год идет на нужды минералогии. Недостаточность инвентаря кристаллографической лаборатории пополняется приборами и пособиями, лично принадлежащими проф. Вульффу. Этими приборами и пособиями обслуживаются как работы практикантов, так и лекционные опыты и демонстрации.

В настоящее время в распоряжение лаборатории поступили также приборы, приобретенные Обществом Леденцова и предоставленные проф. Вульффу для его работы в области явлений, связанных с прохождением рентгеновских лучей через кристаллы. Стоимость приборов 750 р." [339, с. 37].

Следует подчеркнуть, что большая часть приборов и пособий, обслуживающих как работы практикантов, так и лекционные опыты и демонстрации, были приобретены лично Вульффом на его собственные средства. Таких приборов числилось на сумму свыше 8000 руб. [341].

В течение пяти лет сложилось основное направление курса и практических занятий. В его основе лежал написанный Вульффом и изданный в 1913 г. литографическим способом курс "Кристаллы, их основные свойства и образование" [101].

Задачи своего курса Вульфф подробно разъясняет в [335]. Он пишет: "Кристаллография считается до сих пор частью минералогии. Действительно, минералы в большинстве случаев являются в кристаллах и для того, чтобы различать минералы одни от других, необходимо разбираться в их внешней форме, а для этого надо знать кристаллографию. Однако же это взгляд устарелый по своей односторонности, но, к сожалению, наука, а тем более преподавание науки не легко отделяется от устаревших норм. Надо принять во внимание, что минералы потому являются в кристаллах, что они твердые тела, а всякое твердое тело, где бы оно ни образовалось – в природе ли в виде минерала, на химической ли фабрике или в лаборатории, на металлургическом заводе, в организме ли животных – стремится принять форму кристалла. Теперь пришли к заключению, что кристалл есть нормальная форма твердого тела. Таким образом, кристаллография в настоящее время обратилась в науку о твердом состоянии; в этом виде она далеко вышла за пределы минералогии и представляет интерес не только для минералога, но и для физика и для химика... Химик, как теоретик, так и практик, имея дело с твердым веществом, необходимо должен считаться с кристаллографическими свойствами этого вещества. Не менее важно знать кристаллографию и для физика. Целая глава физики посвящена свойствам твердого вещества, но, кроме того, почти все явления, изучаемые физикой, могут происходить в твердом веществе. Физик старается обойти необходимость непосредственно считаться с кристаллами – он берет для своих опытов стекло или металл. Стекло – не кристаллическое тело; в металле мелкие кристаллики так перепутаны, что, в общем, составляют тоже бесформенную массу. Однако, такой обход возможен лишь до известного предела, и в конце концов и физику приходится считаться с тем, что твердое тело кристаллично. Кристалличность твердого тела сказывается в том, что тело имеет неодинаковые свойства по раз-

личным направлениям, и это обстоятельство обнаруживается на явлениях, наблюдаемых в кристалле. Явление видоизменяется в кристалле в зависимости от симметрии кристалла, составляющей существенное качество кристалла, такое существенное, что современное учение о симметрии построено на основании изучения кристаллов и излагается в курсах кристаллографии. Таким образом, нельзя усвоить физику твердого тела, не познакомившись с основами кристаллографии. Наконец, учение о симметрии, лежащее в основании кристаллографии, выходит за пределы интереса наук о мертвом веществе: известно, какое значение имеет симметрия в мире животных и в мире растений.

Все изложенное дает право утверждать, что наука о кристаллах не должна считаться специальным предметом, интересным лишь для минералогов, а должна занять место в ряду общих основ знания природы. Ввиду этого кристаллография и помещена в числе предметов, преподающихся в университете Шанявского в первом полугодии первого года" [335, с. 191–193].

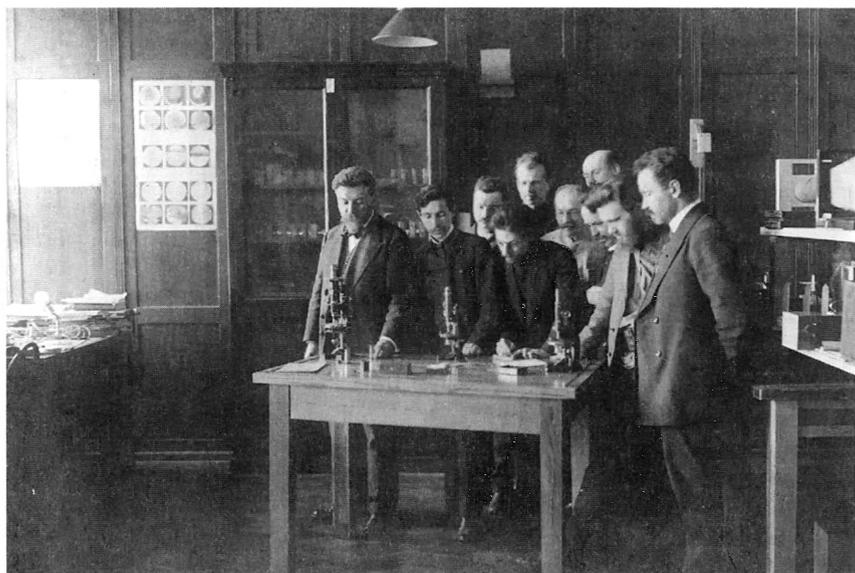
Лекции Вульфа пользовались большой популярностью среди слушателей университета. Вот что вспоминает по этому поводу его ученик Е.Е. Флинт: "Когда ему (Вульфу. – Прим. А.С.) нужно было читать кристаллографию в Народном университете им. Шанявского, где посещение лекций было совершенно свободным, ему пришлось задуматься над тем, каким образом заинтересовать аудиторию этим предметом, считавшимся одной из наиболее сухих дисциплин. Задача эта была разрешена им блестяще – он ввел на своих лекциях большое количество интересных опытов и демонстраций. Значительная часть демонстраций проектировалась на экран при помощи поляризационного микроскопа, в котором можно было вести нагревание объекта, помещенного на предметное стекло. Лекции, сопровождаемые такими демонстрациями, получались живыми и интересными, даже в том случае, когда лектор не обладал ораторским талантом. Приведу несколько примеров. На предметное стекло помещалась небольшая кучка кристаллов, под него подводилась небольшая газовая горелка, имеющаяся под столиком микроскопа. Кристаллы сплавлялись на глазах у слушателей в прозрачную каплю. Горелка выводилась, капля начинала охлаждаться и могла перейти либо в кристаллическое, либо в аморфное состояние, в зависимости от того, какое вещество было взято для опыта. Ю.В. Вульф пользовался салолом, чтобы показать кристаллизацию из расплава, и сахаром, для демонстрации перехода в аморфное состояние. Чтобы показать кристаллизацию из пара, он брал небольшой кристаллик йода, покрывал его маленьким часовым стеклом, подводил горелку, и пары йода конденсировались на внутренней поверхности часового стеклышка в виде маленьких кристаллов, которые были прекрасно видны на экране после небольшого поднятия тубуса микроскопа. На препаратах салицина Ю.В. Вульф показывал явление полиморфизма. Чтобы показать закон постоянства углов, применялся насыщенный раствор гипосульфита. На каплю раствора накладывалось покровное стекло, вводилась горелка, и на экране было видно, как при росте кристаллов грани перемещаются параллельно самим себе.



Г.В. Вульф читает лекцию в университете им. А.Л. Шанявского. Фото З. Виноградова и руководимой им и проф. Ю.В. Вульфом фотографической группы университета Шанявского. Москва, 1912 г. Открытка

Для иллюстрации законов целых чисел Юрий Викторович придумал очень интересную демонстрацию. Он выбирал кристалл с гранью, имеющей несколько (5–6) непараллельных ребер. Вульф обычно пользовался для этой демонстрации двойной сернокислой солью аммония и магния. На предметное стекло он помещал кристалл так, чтобы выбранная грань была сверху и лежала параллельно предметному стеклу. Вместо обычного экрана на классной доске укреплялся лист белой бумаги. На ней углем намечалась точка.

Пользуясь крестообразным предметным столиком, Юрий Викторович перемещал кристалл так, чтобы все ребра, по очереди, проходили через намеченную точку. Каждый раз, когда ребро приходило в нужное положение, Вульф прочерчивал углем направление ребра по линейке, прикладываемой к бумаге. Получался пучок прямых, проходящих через намеченную точку. После этого Юрий Викторович брал два ребра за оси координат, на третьем намечал точку, соответствующую единичному ребру, и проводил через эту точку прямые, параллельные осям координат. Получался элементарный параллелограмм сетки взятой грани. Проведя еще две серии прямых, параллельных координатным осям и отстоящих друг от друга на расстояния, равные сторонам элементарного параллелограмма, он вычерчивал плоскую сетку и показывал, что ребра кристалла, не участвовавшие в построении, все проходят через узлы сетки. От плоского чертежа нетрудно было перейти к пространственной решетке и изложить сущность закона целых чисел.



Г.В. Вульф проводит практические занятия со слушателями университета им. А.Л. Шанявского. Фото З. Виноградова и руководимой им и проф. Ю.В. Вульфом фотографической группы университета. Москва, 1912 г. Открытка

Очень остроумная и красивая демонстрация была придумана Ю.В. Вульфом для объяснения расположения пятен на лауэграмме. Несколько предметных стекол склеивались ребрами так, что получался пучок параллельных граней, представлявших собой как бы серию граней одного пояса. Стеклянная модель могла вращаться вокруг оси этого пояса, расположенной наклонно к подставке. На модель направлялся узкий, но довольно яркий пучок лучей. Последние отражались от стекол, изображающих грани, и давали на поставленном сзади экране несколько ярких световых пятен. Сам пучок давал центральное пятно. При вращении модели вокруг оси пояса все пятна двигались на экране, описывая эллипсы, и по очереди проходили через центральное пятно" [205, с. 9–12].

С 1912/13 учебного года Вульф заведует и минералогической лабораторией [339]; до него лабораторией заведывал А.Е. Ферсман, который приезжал из Петербурга несколько раз в течение учебного года для чтения лекций.

Вульф стал читать общий курс минералогии на первом и втором году обучения по 2 часа в неделю. Кроме того, он, вместе с ассистентами Лисицыным, Шубниковым и Лебедевой вел практические занятия, на которых слушателей обучали работе с поляризационным микроскопом и методам изучения горных пород на шлифах. Но Ферсман продолжал читать специальные курсы, он же проводил геологические экскурсии со студентами для сбора минералов.

Интересно, как формулировал задачи и содержание своего курса минералогии сам Вульф. В обзоре преподавания предметов в университете Шанявского [335], он писал следующее: «Минералогия описательная, рассматривающая минерал, как "вид органического мира", на подобие того, как в систематике растений и животных рассматриваются виды растительного и животного царства, сошла уже с научной сцены...

Каково же настоящее положение минералогии в ряду наук о природе? Минералогия изучает химически различные вещества, из которых складывается земная кора и земной шар вообще, и химические процессы, происходящие между этими веществами и изменяющие эти вещества. Из этого определения ясно, что минералогия есть химия земного шара и представляет приложение химии к изучению веществ, входящих в состав земного шара» [335, с. 196].

Далее Вульф убеждает слушателей в необходимости самого широкого использования в минералогической практике поляризационного микроскопа и, следовательно, глубокого знакомства с оптическими свойствами кристаллов. Необходимо также, пишет далее Вульф, хорошо знакомство с физической химией, особенно с разделами, изучающими кристаллизацию сплавов и сложных растворов.

Из сказанного совершенно ясно, что цели и задачи курса минералогии Вульф формулирует применительно к своим научным интересам – оптике кристаллов и закономерности роста кристаллов. Однако это не означало, что никакие другие направления работы не поощрялись – под руководством Ферсмана велись поиски, исследования и сравнительные описания минералов различных месторождений и регионов.

Вульф и Ферсману удалось собрать хорошую коллекцию минералов. Она составлялась, в основном, из частных собраний, пожертвованных лабораторией. Свою собственную коллекцию передал Ферсман, хорошие образцы золота в породах и в песке пожертвовала Шанявская, уральские минералы – Богословский, консерватор Читинского геологического музея Толмачев прислал ценную коллекцию бериллов и топазов.

К 1914 г. эта коллекция уже насчитывала более тысячи образцов и при финансовой поддержке Л.А. Шанявской была приведена в надлежащий вид: классифицирована и разложена по специально изготовленным витринам.

Первая мировая война внесла существенные коррективы в работу университета. По решению Попечительского совета и администрации 2-й этаж аудиторного корпуса (правое крыло) был передан под лазарет на 100 коек. На средства университета в нем лечились раненые и больные. Под канцелярию лазарета была отведена и часть первого этажа [341, 342].

Эти годы были тяжелыми для кристаллографической лаборатории. Ушли на фронт ассистенты Лисицын, Шубников, практикант Васильев и лабораторный служитель Рятс. Вскоре Лисицын тяжело заболел, его привезли в Москву, где он скончался. Лаборато-

рия лишилась в его лице опытного преподавателя. Другой ассистент – Шубников был тяжело ранен, лечился и после выздоровления был направлен химиком на завод взрывчатых веществ. Он вернулся к науке лишь в 1919 г. [321].

Для нужд военного времени использовалось не только помещение, но и оборудование. В отчете университета [342] сказано: "Так с самого начала войны заведующим лабораторией проф. Вульфом, с разрешения Общества имени Х.С. Леденцова, была использована на нужды военного времени рентгеновская установка из приборов, принадлежащих Обществу и предоставленных проф. Вульфу для его научных занятий. Эта установка была перенесена в госпиталь при Мещанских училищах, учрежденный Биржевым комитетом и Купеческим обществом, и там проф. Вульф, совместно с преподавателями университета Шанявского – А.К. Тимирязевым, А.Б. Млодзевским и Г.Б. Портом, был устроен рентгеновский кабинет и организована работа, в которой принимал также участие ряд слушателей университета Шанявского. Эта установка работала и в отчетном году, но из прежнего состава работников в работе принимали участие, кроме заведующего проф. Вульфа, ассистент физической лаборатории имени П.П. Лебедева при университете Шанявского Г.Б. Порт, слушатель университета Шанявского Н.В. Антонов и слушательница того же университета М.В. Мефодьева. Этот рентгеновский кабинет служил также для целей курсов по рентгенологии, устроенных Московским Обществом распространения и изучения физических наук для среднего медицинского персонала госпиталей и лазаретов. В лекциях, входивших в программу курса, принимали, между прочим, участие проф. Г.В. Вульф и упомянутый слушатель университета Шанявского Н.В. Антонов, ведущий также вместе с М.В. Мефодьевой и практические занятия со слушателями курсов" [342, с. 52].

В 1915 г. Вульф принимает активное участие в организованном под председательством Д.Д. Плетнева Московском обществе рентгенологов и радиологов. Он читает лекции на созданных старейшим московским рентгенологом доктором Д.Т. Будиновым курсах для подготовки среднего медицинского персонала к работе в рентгеновских кабинетах при госпиталях для раненых.

Позднее, при участии М.Г. Богословского и К.В. Васильева, Г.В. Вульф организовал в своей лаборатории ремонт и откачку рентгеновских трубок [194].

Кроме того, летом 1915 г. Вульф по приглашению Ставропольского губернского земства посетил соляные озера этой губернии для "определения их природы с целью использования их с лечебными и техническими целями" [342, с. 53]. Результаты этих исследований позже были опубликованы [122, 129].

Минералогическая лаборатория пострадала меньше, хотя количество студентов заметно сократилось. Сотрудники лаборатории тоже внесли свой вклад в "оборонную тематику". «Потребности военного времени, – читаем в отчете [342], – вызвали деятельность лаборатории, направленную на удовлетворение нужд, связанных с войною. Одною из

таких нужд явилось отсутствие на русском рынке экранов для усиления действия рентгеновских лучей на фотографические пластинки. Ввиду этого слушателями университета Шанявского г.г. Богословским и Мамуровским были предприняты опыты фабрикации таких экранов. Ими была добыта из русских месторождений флуоресцирующая соль и достигнуто искусство наносить ровный слой этой соли на бумагу. Полученные ими в минералогической лаборатории экраны поступили на рынок через Всероссийский Союз Городов, предварительно проверенные и испытанные в Физической лаборатории Коммерческого института под наблюдением Н.Е. Успенского. За весенние месяцы было выпущено до пятисот экранов, снабженных штемпелем "Всероссийский Союз Городов, Минералогическая лаборатория университета Шанявского"» [342, с. 53–54].

Эти же экраны лаборатория Вульфа производила и в первые годы революции, изготавливая их в рентгеновском кабинете бывшего Коммерческого института, где он проводил рентгенографические работы вместе с Н.Е. Успенским [130].

Интересно отметить, что антинемецкие настроения российского общества, вызванные первой мировой войной, не обошли и Вульфа. Вот как прокомментирован в отчете университета Шанявского за 1913/14 учебный год список статей Вульфа в немецких журналах: "Тут будет пожалуй уместно заметить, что предпочтение немецкому языку в научных публикациях отдается поневоле, из желания не отстать от течения мировой научной мысли. Статья в видном и распространенном научном органе, написанная на одном из распространеннейших языков, каким, несомненно, теперь является язык немецкий, сразу станет достоянием научной критики" [340, с. 26]. А в отчете за 1915/16 учебный год читаем: «Проф. Вульф занимался в первую половину прошедшего лета составлением статьи об оптических свойствах кристаллов, которую он готовил для "Encyklopaedie der mathematischen Wissenschaften", по приглашению проф. Зоммерфельда в Мюнхене. Вспыхнувшая война прервала эту работу, и проф. Вульф послал в редакцию упомянутого сборника свой отказ в сотрудничестве, которое он считал до войны весьма почетным» [342, с. 28].

3

В университете Шанявского Вульф старался сохранить направления своих научных исследований, которые сформулировал в специальной программной статье [110], опубликованной в "Научном бюллетене" университета.

Таких направлений он видел три. Главнейшее из них – изучение внутреннего строения кристаллов. Вульф пишет, что ранее существовало мнение, что «при кристаллизации молекулы "полимеризуются", соединяясь в кристаллические частицы, и что уже эти частицы правильно располагаются, образуя кристаллы» [110, с. 142]. Теперь, благодаря открытию диффракции рентгеновских лучей в кристаллах, стало возможным экспериментальное решение этого вопроса. "Ока-

залось, – пишет далее Вульф, – что действительно, кристаллы строятся из атомов, а не из молекул и их комплексов" [110, с. 143].

Поэтому первое главнейшее направление работы кристаллографической лаборатории это использование диффракции рентгеновских лучей в кристаллах для изучения их внутреннего строения.

Второе направление – выяснение природы жидких кристаллов. Вульф специально подчеркивает, что лучше называть их анизотропными жидкостями, для того, чтобы не путать с истинными кристаллами. Он пишет, что "наблюдения над жидкими кристаллами некоторых веществ, сделанные в нашей лаборатории, показали, что вещества эти или непрочны (олеиновоаммонийная соль), или склонны давать особые сгустки (п-азоксибенетол), так что жидкость является неоднородной с физической точки зрения, по строению приближающейся к типу коллоидных растворов" [110, с. 144].

В связи с исследованием жидких кристаллов Вульф отмечает важность применения микрофотографии "ввиду того что в лаборатории обращено большое внимание на развитие этого метода исследования, применение которого далеко выходит за пределы данного вопроса" [110, с. 144].

И, наконец, третье направление – изучение процесса роста и образования кристаллов. Здесь Вульф пишет о влиянии силы тяжести в форме концентрационных потоков на форму кристаллов. "Для того, чтобы исключить влияние силы тяжести на форму получающихся кристаллов, в лаборатории были построены особые вращающиеся кристаллизаторы. Получающиеся в этих приборах кристаллы имеют уже собственную симметрию, которая обыкновенно оказывается выше той, какая получается в обыкновенных условиях, но иногда и наоборот, как это обнаружилось при исследовании двухромовокалиевой соли: истинная симметрия кристалла этого вещества оказалась ниже той, какая ему приписывалась ранее"* [110, с. 145] – заканчивает статью Вульф.

Проследим как реализовались эти три направления.

О значении вращающихся кристаллизаторов Вульфа подробно рассказывалось ранее. Уже будучи в Московском университете он опубликовал в "Zeitschrift fur Krystallographie" специальную заметку с описанием вращающегося кристаллизатора [94] и впоследствии в своих книгах обязательно подробно говорил о нем. Отсюда следует, что он считал этот тип кристаллизатора своим большим достижением. Однако по целому ряду причин упомянутый кристаллизатор не получил широкого распространения.

В то же время Вульфу удалось выполнить интересную теоретическую работу, непосредственно относящуюся к проблеме образования кристаллов. Речь идет о капиллярной теории формы кристаллов [118].

Поводом для исследования послужила статья П.С. Эренфеста [344], в которой он пытался найти ответ на поставленный им же вопрос:

* Речь идет о результатах работы А.В. Шубникова [343].

"Зависит ли капиллярная постоянная грани кристалла непрерывно или же разрывно от ориентировки?" [344, с. 592].

Поскольку, по мнению Вульфа и Зонке, капиллярная постоянная обратно пропорциональна ретикулярной плотности грани, а последняя изменяется в кристалле прерывно, то и капиллярная постоянная от грани к грани тоже должна меняться прерывно. Эренфест же предлагает схему, в которой капиллярная постоянная меняется в кристалле непрерывно. Он рассмотрел двухмерную решетку, построенную из квадратных молекул. Для такой решетки поверхностная энергия $\Delta\sigma$ каждой ступеньки реальной грани пропорциональна ее длине. Если площадь участков кажущейся грани обозначить через Δs , то легко найти

$$\Delta\sigma = (\cos \varphi + \sin \varphi) \Delta s. \quad (23)$$

В соотношении (23) роль капиллярной постоянной k отведена величине, равной

$$k = \cos \varphi + \sin \varphi. \quad (24)$$

Следовательно, капиллярная постоянная является непрерывной функцией. Для одного элемента решетки она состоит из четырех дуг окружности. Равновесной же формой, отвечающей такому распределению капиллярной постоянной, является квадрат.

Предложенная Эренфестом геометрическая модель капиллярной постоянной снимает вопрос о природе так называемых вицинальных граней – плоских участков небольшой величины, образующихся на гранях кристалла, наклон которых отличается на небольшую величину от углов наклона основных граней. Такие вицинальные грани имеют большие индексы и в соответствии со взглядами Зонке и Вульфа должны иметь исключительно большую поверхностную энергию. Но они в кристаллах лежат рядом с естественными гранями, обладающими небольшой поверхностной энергией. Как это объяснить, если считать, что капиллярная постоянная меняется от грани к грани непрерывно, не ясно.

Геометрическая схема, естественно, устраняет это противоречие, ибо непрерывная зависимость капиллярной постоянной ведет лишь к незначительному отличию k вицинальной грани от основной.

Вульф в статье [118] обобщил выводы Эренфеста вначале на случай плоской сетки, состоящей из параллелограмматических молекул (рис. 17). За оси координат он выбирает нормали к кажущимся граням кристалла. Угол между этими нормалью обозначает через ω , а через ε – угол между нормалью к одной кажущейся грани и перпендикуляром к другой. В этой системе координат

$$k = k_1 \cos \varepsilon + \frac{k_2 - k_1 \cos \omega}{\sin \omega} \sin \varepsilon, \quad (25)$$

где k_1 и k_2 – капиллярные постоянные граней AB и BC соответственно.

Уравнение (25) представляет собой окружность, проходящую через начало координат (точку B) и отсекающую на нормали к AB отрезок k_1 , а на нормали к BC – отрезок k_2 .

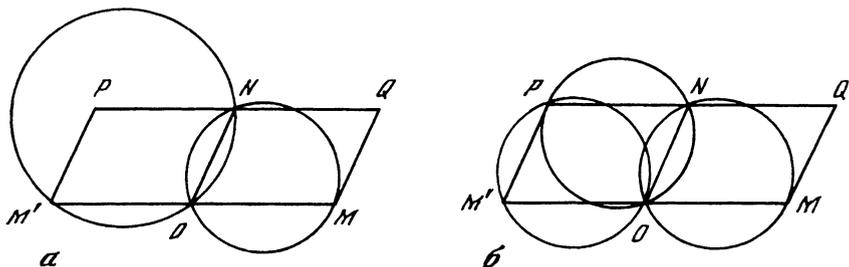


Рис. 17

Если $\omega \neq \pi/2$, то возникает вопрос о числе минимальных значений k . Минимумы должны совпадать с нормальными к главным рядам решетки, и с направлением короткой диагонали основного параллелограмма. Такое построение приведено на рис. 17 при учете в качестве минимальных векторов OM , ON , OM' (случай *а*) и OM , ON , OP и OM' (случай *б*). При этом случай *б* кажется Вульф лучше согласованным с "принципом Кюри–Гиббса, согласно которому поверхностная энергия должна быть наименьшей при данном объеме кристалла" [118, с. 124]*.

Полученные выводы Вульф распространил на трехмерную решетку, составленную из молекул параллелепипедной формы. Для этого он применил следующий прием. Из вершины тетраэдра, представляющего кажущуюся грань кристалла, восстановлены перпендикуляры к трем его реальным граням по величине пропорциональные площади этих граней. На перпендикулярах построен параллелепипед, пространственная диагональ которого по направлению совпадает с нормалью к четвертой грани, а по величине пропорциональна площади этой грани. Выразив длины ребер этого параллелепипеда через косинусы углов между ними и осями прямоугольной системы координат, Вульф получил уравнение для k , описывающее сферу. Учет всех минимумов, аналогичный проделанному в плоском случае, привел его к выводу, что их будет всего 14, попарно равных и противоположно расположенных.

Как показал Вульф в работе [35], скорости роста граней кристалла пропорциональны их капиллярным постоянным. Тогда те поверхности k , которые были построены выше в трехмерном случае, должны описывать скорости роста соответствующих граней, причем эти скорости роста должны быть пропорциональны величинам k , отложенным в виде векторов на нормалях к граням, следовательно, в направлениях скоростей роста граней.

Вульф рассматривает направления трех смежных в пространстве минимумов капиллярных постоянных граней кристалла, образующих

* Цитируется по: Вульф Г.В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.: Л.: Гостехтеоретиздат, 1952.

трехгранный угол. Используя полученное им уравнение для k , он находит, что скорость роста вершины трехгранного угла равна диаметру сферы. А поскольку через эту же точку проходят все плоскости, перпендикулярные к любому k , то все грани при росте проходят через одну и ту же точку – вершину трехгранного угла.

В двумерном случае скорость роста этих граней описывается диаметром круга, построенного на векторах k_1 и k_2 . Нетрудно заметить, что все грани, пересекающиеся с двумя гранями по параллельным ребрам (составляющие один пояс), при своем росте проходят через ребро этих двух граней.

Последняя часть статьи посвящена вицинальным граням. Вульф принимает точку зрения Эренфеста, но не соглашается с тем, "что не существует никакой зависимости между величиной капиллярных постоянных (скоростей роста) кристаллических граней и плотностью молекул в гранях" [118, с. 130]. Во-первых, отмечает Вульф, минимуму капиллярной постоянной и, следовательно и минимуму скоростей роста, отвечают грани с наиболее плотным расположением молекул. Во-вторых, при небольших колебаниях концентрации на кристалле появляются последовательно новые грани в порядке уменьшающейся плотности расположения молекул. В-третьих, Вульф приводит свои экспериментальные данные [35] по скоростям роста граней – скорости возрастают с ростом ретикулярной плотности граней.

В заключение он приводит приближенную формулу, в соответствии с которой

$$k = \frac{m + n + p}{\sqrt{m^2 + n^2 + p^2}}, \quad (25)$$

где m , n , p – индексы граней.

Вульф рассчитал по формуле (26) значения k для граней (201), (110), (001) и (011) кристаллов моровской соли и получил следующие значения: $\sqrt{1}$, $\sqrt{3}$, $\frac{3}{5}\sqrt{5}$, $\frac{2}{5}\sqrt{6}$ соответственно. Значения оказались весьма близкими к площади параллелограммов соответствующих плоскостей и к относительным скоростям роста этих граней. Такое согласие всех параметров Вульф рассматривает как подтверждение своей точки зрения.

Здесь нужно заметить, что вопрос о поверхностной энергии кристаллов до сих пор до конца не решен, несмотря на многочисленные исследования (см. подробнее [345]). Говоря так, мы имеем в виду как законченную молекулярную теорию, так и методы измерения поверхностной энергии кристаллов. Однако обнадеживает и внушает определенный оптимизм быстро развивающаяся область физической химии, изучающая поверхностные явления (см. подробнее [346, 347]). Приведенные там теоретические и экспериментальные методы позволяют получать исчерпывающие данные о поверхностной энергии кристаллов, ее связи со структурой и со скоростью роста отдельных граней.

Что касается второго направления – изучения строения жидких кристаллов, то сам Вульф экспериментами уже не занимался. Однако в 1915 г. он опубликовал большой обзор в журнале "Физика" [115, 116], изданный Московским обществом изучения и распространения физических наук. В обзоре Вульф привел все основные экспериментальные данные, полученные к тому времени различными исследователями. Это фактический материал по жидким кристаллам, в основном: п-азоксифенетолу, олеату аммония, этиловому эфиру п-азоксикоричной кислоты, холестерилбензоату, этиловому эфиру азоксибензойной кислоты, с которыми работал сам Вульф или его сотрудники. Поэтому вольно или невольно он сделал акцент только на те детали, которые хорошо укладывались в его интерпретацию. Однако время работало на жидкие кристаллы и в 1915 г. уже трудно было категорически отрицать их существование как особого состояния вещества. Поэтому выводы в обзоре Вульфа звучат более осторожно: "Одним словом, при ближайшем рассмотрении оказывается, что анизотропные жидкости не кристаллы и не особое агрегатное состояние однородного вещества. Что же оно такое? От окончательного ответа на этот вопрос мы еще далеки. Все изложенное выше делает весьма вероятным допущение, что это двухфазные системы, в которых одна составная часть жидка или тверда и находится в мелкодробленном состоянии... Такое допущение, однако, ставит нас в конфликт с утверждением химиков, что вещества, дающие анизотропные жидкости, вполне химически однородны" [116, с. 27–28].

Итак, в результате исследований новых экспериментальных данных о жидких кристаллах не появилось. Все, что он наблюдал, много раз видели десятки других исследователей. Но выводы, которые были сделаны, не следовали с жесткой необходимостью из этого экспериментального материала. Как мы уже говорили выше, они были продиктованы органическим неприятием тех "новых" представлений о кристаллическом веществе, которые развивал Леман.

Хотя сам Г.В. Вульф жидкими кристаллами больше не занимался, в его кристаллографической лаборатории и под его непосредственным руководством эти исследования проводил А.Б. Млодзевский. Тем не менее, он упорно продолжал доказывать, что жидкие кристаллы всего лишь неоднородные системы.

Объектом исследований Млодзевского был олеат аммония. Если его растворить в смеси воды и спирта, как это делал и Леман, то, по мере испарения, образуются анизотропные капли причудливой формы. Леман считал их "кристаллическими индивидуумами" и пытался приписать им кристаллографическую симметрию. Млодзевский пошел по тому же пути и нашел капли, обладающие осями 10 и 14-го порядка. Поскольку кристаллы такими осями обладать не могут, он сделал вывод, что олеат аммония не является жидким кристаллом.

Такую точку зрения разделял и Вульф, что очевидно из его писем к Млодзевскому. Так, 14 июля 1912 г. Вульф писал из Тарусы: «Вече-

ром в четверг я получил Вашу статью* от Петра Петровича (Лазарева. – *Прим. А.С.*). Я успел до сих пор ее лишь пробежать. Теперь в деревне прочту ее внимательно. Мне думается, что наблюдения, сделанные Вами и изложенные в Вашей статье, обладают значительной долей убедительности и должны говорить несомненно в пользу проводимых Вами взглядов на характер "текучих" кристаллов олеиновоаммониевой соли. Мне, в виде подробности, очень интересно от Вас узнать, случайно ли оказались между прочими капля с венчиком из десяти маленьких капель или Вам удалось снять именно ее, после того, как Вы ее заметили в препарате? Ведь эта капля как раз противоречит утверждению Лемана о том, что "куколки"*** принадлежат к тетрагональной системе. Тут уж ни о какой (кристаллографической. – *Прим. А.С.*) системе не может быть и речи» [169, л. 1–2].

Вульф счел результаты, полученные Млодзеевским, настолько важными, что настоятельно рекомендовал перевести статью на немецкий язык и послать ее в Мюнхен к Гроту для опубликования в "Zeitschrift fur Krystallographie". В письме от 18 июля 1912 г. он сообщает Млодзеевскому, что готов отредактировать текст и советует послать в Мюнхен негативы, где более четко просматриваются все детали [169, л. 3].

Статья была послана и Вульф, будучи на Рождество в Мюнхене, сам следит за корректурой немецкой версии статьи и изготовлением клише графиков [169, л. 4].

3 июля 1914 г. Вульф пишет Млодзеевскому: "Очень большое удовольствие и удовлетворение доставило Ваше письмо. Кривая совершенно убедительна и в ней у Вас оружие не только для оборонительной, но и для наступательной борьбы с противником из Карлсруэ*** и иже с ними. Разумеется, пишите заметку неукоснительно. Из Вашего письма я вынес впечатление, что у Вас открываются перспективы и дальнейшего исследования в области жидких кристаллов. Во всяком случае теперь Вы заручились совершенно определенными экспериментальными основаниями для такой перспективы" [169, л. 4].

В этом письме, по-видимому, речь идет о статье Млодзеевского [349], написанной им в ответ на возражения Лемана [350]. Однако никаких графиков в статье нет. Возможно Млодзеевский не счел необходимым их опубликовать.

Вульф постоянно поддерживал Млодзеевского в убеждении о невозможности существования жидких кристаллов. Так, 12 июля 1914 г. он пишет ему, что только что прочитал статью де Бройля, в которой тот сообщал, что самые жесткие деформации твердых кристаллов не уничтожают кристаллическую решетку. Следовательно, если даже рассматривать жидкие кристаллы как кристаллы настолько мягкие, что они не выдерживают своего веса, то у них должна

* Речь идет о статье А.Б. Млодзеевского "Наблюдения над текущими кристаллами олеиновокислого аммония" [348].

** "Куколками" Леман называл причудливые капли олеата аммония.

*** В Карлсруэ в Высшей технической школе работал Леман.

проявляться кристаллическая решетка. Но как показали опыты Лауэ, жидкие кристаллы не дают характерных диффрактограмм. "Это, по моему, весьма чувствительный удар по лемановской теории жидких кристаллов", – пишет Вульф [169, л. 9].

Но исследования жидких кристаллов развивались и уже к 1920 г. не осталось сомнений в их реальном существовании. Это признавали и Млодзеевский и Вульф. Последний во втором издании своей книги "Жизнь кристаллов" [134], вышедшей в 1922 г., посвятил жидким кристаллам специальную главу. В ней он уже не подвергает сомнению существование жидких кристаллов, признает их химическую однородность, правильно объясняет оптическую анизотропию ориентационным упорядочением длинных молекул, но с той же решительностью протестует против причисления их к кристаллам. Вульф считает, что наиболее правильно называть эти вещества анизотропными жидкостями.

5

Здоровье жены требовало ее длительного пребывания на свежем воздухе вне пыльного города. Поэтому Вера Васильевна Вульф с детьми часто жила у своей сестры Натальи Васильевны Поленовой в Алексинском уезде Тульской губернии. Здесь, вблизи г. Таруса, на берегу Оки, знаменитый художник В.Д. Поленов построил усадьбу, известную сейчас как мемориальный комплекс Поленово.

Поленово в те годы было центром художественной жизни этого края [351]. В усадьбе часто гостили и подолгу жили столичные и московские художники, артисты и музыканты. В самом городе Таруса летом снимали дачи многие деятели искусства. Привлеченные прекрасными пейзажами здесь работали художники В.А. Ватагин, В.Д. Шитиков, В.В. Журавлев, Н.П. Умяков, В.Э. Борисов-Мусатов, Е.М. Татевосян. Летом здесь жили и работали композитор А.И. Александров, виолончелист В.Л. Кубацкий с женой камерной певицей, певица М.А. Оленина и другие. Эту художественную колонию дополняли поэты и писатели К.Д. Бальмонт, Ю. Балтрушайтис, В.И. Иванов, В.Э. Мориц.

Для Веры Васильевны и ее мужа, приехавшего на летние каникулы, это был круг близких друзей и хороших знакомых. Они активно участвовали в культурной жизни поленовского кружка.

Часто организовывались концерты, в которых выступали приезжие музыканты и певцы. Принимала участие в них и В.В. Вульф, которая еще совсем недавно была концертирующей пианисткой. Она же аккомпанировала мужу, когда он пел романсы русских композиторов.

Для детей ставились спектакли – веселые сказки. Декорации и костюмы выполнялись художниками под руководством самого Поленова. Вход на спектакли был свободным для всех окрестных жителей.

Летом 1913 г. Вульф арендовал у местных властей на срок до 1930 года дом, который принадлежал ранее И.В. Цветаеву, основателю Музея изящных искусств (ныне Музей изобразительных искусств

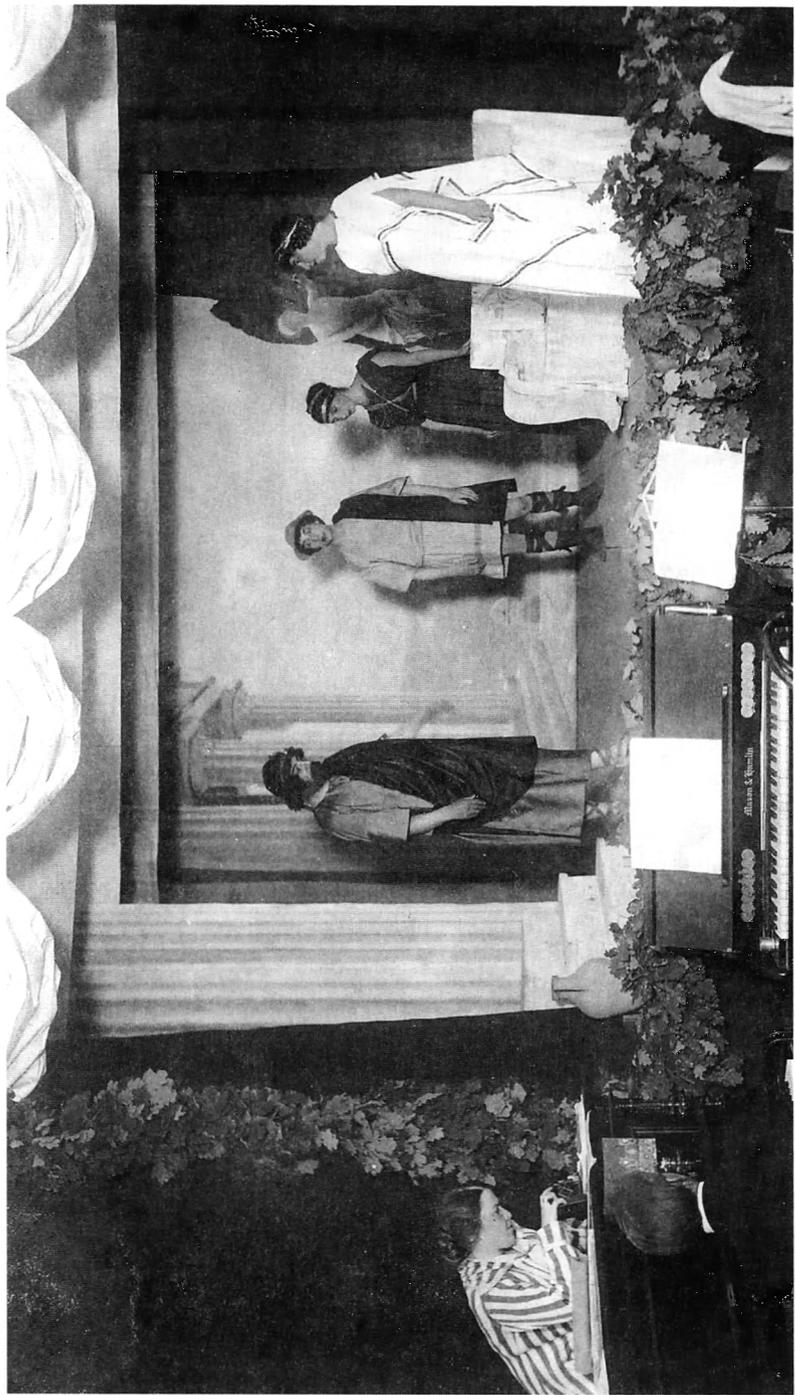
им. А.С. Пушкина), а затем художнику В.Э. Борисову-Мусатову. Дом с мезонином стоял на высоком берегу Оки недалеко от Тарусы на опушке леса. При доме находилось две десятины земли. Все это можно было назвать небольшой усадьбой. По-видимому, из-за окрестной местности – песчаных берегов Оки – эта усадьба называлась "Песчаное". Здесь в летние месяцы собиралась вся семья Вульфа.

«С момента появления в Тарусе они тотчас же включились в общественно-просветительскую работу, – пишет в своих воспоминаниях известный педагог О.В. Берви. – Высокообразованные, одаренные, общительные и энергичные, они широко открывали двери своего дома для всех, стремясь делиться своими знаниями со всеми слоями населения Тарусы, со всеми, кто тянулся к светлему. Надо помнить, что Таруса была тогда маленьким захолустным купечески-мещанским городком, с небольшими деревянными домиками, старыми яблоневыми садами, заросшими бурьяном, крапивой, лопухами; не было радио, обновляющего своими волнами мысль и жизнь, не было в Тарусе библиотеки, а газеты приходили на четвертые–пятые сутки. Дом в "Песочном" источал лучи светлой мысли, облагораживающих звуков и красоту богатого внутреннего мира его обитателей» [170, с. 3].

Ольга Владимировна Берви, отстраненная от преподавания в школе за свои прогрессивные взгляды, устроила в Тарусе Отделение "Московского Общества грамотности" и основала библиотеку-читальню. Она стала секретарем Отделения. Председателем вначале была жена Поленова Наталья Васильевна, но потом ее сменил Георгий Викторович Вульф.

В июле 1915 г., когда уже шла мировая война, Вульф выступил с инициативой учреждения Народных домов. Ходатайство об этом он направил в Тарусскую городскую думу: "Наша Родина переживает тяжелую годину. Мы боремся с сильным врагом, которого должны победить, иначе он положит на нас свое тяжелое иго. Но победить этого врага не достаточно лишь военным, материальным оружием – он силен своей наукой, дающей ему и материальное, и духовное оружие. Поэтому мы всячески должны заботиться о просвещении нашего народа и об устранении всего, что препятствует просвещению. Мы уже побороли одно такое великое препятствие, великий источник слабости и тела, и духа – пьянство.

Город Таруса в борьбе с пьянством был в первых рядах – он неоднократно ходатайствовал о запрещении продажи спиртных напитков навсегда. Большой прилив силы почувствовал русский народ, порвав с пьянством, но надо постараться закрепить и использовать победу над водкой, а для этого необходимо дать народу возможность употребить свой досуг на полезные и разумные развлечения и на поучительные занятия. Необходимо идти навстречу этой назревшей потребности, учреждая **Народные дома**, где бы народ мог проводить свой досуг за чтением газет, журналов и книг, смотреть театральные пьесы, кинематографические картины, слушать музыку, чтение, лекции и учиться. Желая прийти на помощь этой потребности, я и жена моя Вера Васильевна – мы решили сделать городу Тарусе посильное



Опера В.Д. Поленова "Призраки Эллады" на сцене Народного Дома в Тарусе. Крайний слева – Г.В. Вульф в роли Агесандра. 1915 г.

пожертвование в 3000 рублей (2000 р. от моего имени и 1000 р. от имени Веры Васильевны) с тем, чтобы эта сумма легла в основание устройства* Тарусского Городского Народного Дома. Мы позволяем при этом выразить наше пожелание, чтобы в Дом этот входили между прочим следующие учреждения:

1. **Народный театр** с зрительным залом и сценой. В этом зале может быть устроен кинематограф.

2. **Библиотека-читальня**. Для этого, по нашему мнению, целесообразно войти в соглашение с Тарусским Отделом Общества Грамотности и использовать его прекрасную библиотеку для нужд Народного Дома, предоставив в нем помещение для этой библиотеки.

3. **Музей**. В нем должны быть собираемы и выставляемы на показ образчики местной погоды, местного земледелия, садоводства и огородничества, а также произведения изящных искусств. При музее желательно устроить небольшую лабораторию для исследования почв, воды и жизненных продуктов.

4. Помещения Народного Дома должны быть в широкой мере использованы для различных просветительных учреждений учебного характера и, прежде всего, для **воскресной школы**.

5. При Народном Доме должна быть **чайная** с закусками, но отнюдь без спиртных напитков и карт (игральных)" [171, л. 1–2].

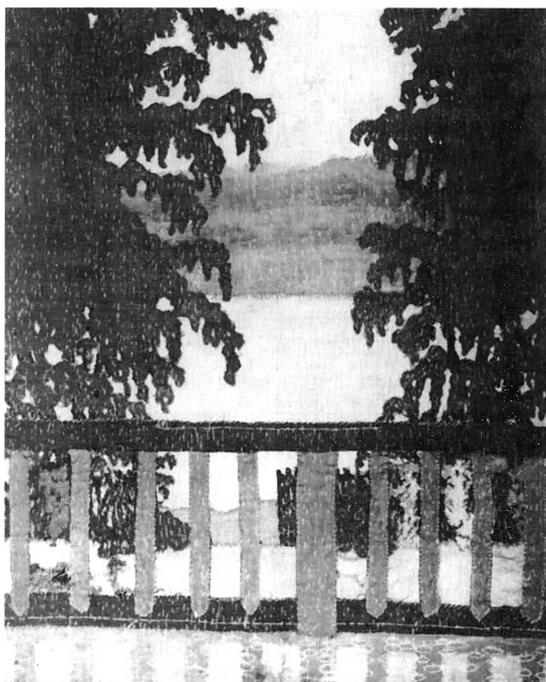
Это предложение было принято и основано "Общество Тарусского Городского Народного Дома", председателем которого был избран Вульф. Городские власти отвели под Народный Дом старое полуразрушенное здание бывшего Соляного амбара. На пожертвованные деньги амбар был расширен и отремонтирован. В дачный сезон в пользу библиотеки и Народного Дома устраивались концерты и спектакли местных художников, музыкантов и литераторов.

Одним из первых спектаклей, поставленных на сцене Народного Дома, была опера Поленова "Призраки Эллады". Декорации писал сам Поленов, ему помогал Татевосян. Партии пели: Агесандр – Вульф, Ивик – Мориц, Эйрене – Кубацкая, Даная – Александрова. Александров, Кубацкий и В.В. Вульф аккомпанировали певцам на рояле, виолончели и фисгармонии. Опера прошла с большим успехом.

В этот тарусовский период неожиданно раскрылась еще одна грань таланта Веры Васильевны. Ее сестра художница Мария Васильевна под влиянием своей подруги Елены Дмитриевны Поленовой увлеклась художественной вышивкой и готовила к Парижской выставке 1901 года ряд красочных панно. Вера Васильевна тогда взялась ей помогать и постепенно увлеклась техникой аппликации на ткани. Она стала делать картины и портреты этой техникой вначале по чужим рисункам, не доверяя своему вкусу, но со временем все больше и больше превращая это в настоящее творчество.

«Я делаюсь художницей, – пишет она в своих воспоминаниях. – Из шуток, опытов я перехожу на серьезные мотивы. Художники, увидев

* Значительная сумма была пожертвована и В.Д. Поленовым.



Картина В.В. Вульф. Дождь. Аппликация на ткани. 1915 г.

мои картины из тканей, зовут на выставки. И вот я выставляю каждый год в "Союзе" и в "Мире искусств". Зимой я за роялем, летом за художественной работой. Люблю и то и другое со страстью, оно часть меня, но, очевидно, я больше художник, нежели музыкант; вернее потому и музыкант, что художник» [255, с. 68].

Картины из тканей Веры Васильевны ежегодно экспонировались на выставках "Союза русских художников" с 1909 по 1916 г. В 1916 г. она показывала свои работы на выставке "Мир искусств". Кроме того, она выставлялась в 1909 г. в Швейцарии (вместе с сестрой Марией Васильевной), а в 1914 г. на выставках "Художники – товарищам-воинам" и "Художники Москвы – жертвам войны".

Картины Веры Васильевны были очень популярны. Вот что писал известный критик О. Базанкур в газете "Петербуржец" о выставке "Союза": «Совершенно особое и своеобразное место на выставке занимает В.В. Вульф с ее оригинальными картинами из тканей. И это, действительно, картины – эти "Лето" и "Силуэт" и "Французский парк", вполне равные по силам и масляному письму. Во всем сказывается незаурядный вкус, красота и чувство художественной меры... Она не особенно продуктивна, так как работает только летом, посвящая зиму музыке. Почти все выставленное ею нынче продано» [352].

За короткий период творчества с 1909 по 1923 г. В.В. Вульф создала около 100 картин и портретов, большую часть которых она

дарила друзьям и знакомым. Небольшая часть из них экспонировалась в Третьяковской галерее, а сейчас хранится в семье Вульф-Шмидтов.

«Вере Васильевне Вульф по праву принадлежит свое, собственное место в истории русского искусства, – писал И.В. Евдокимов в книге, посвященной ее творчеству. – Страницы, ею доселе не занятые, надо восстановить, устранив незаслуженную, исторически неоправданную по отношению к ней, несправедливость... Ее "просмотрели" и не сумели оценить, как художницу, не сумели заинтересоваться ее редким даром из ниток и тряпок создавать художественные произведения, равные маслу, акварели, карандашу... Вера Васильевна легко преодолела чисто служебную, прикладную природу ткани, ниток, шелков и раздвинула рамки прикладного искусства до искусства вообще, до искусства без ограничений, тоже традиционно и без достаточных оснований именуемого прикладным, дополнительным, второразрядным...

Прикладница по наименованию, Вера Васильевна была художницей, разнящейся от других подлинных художников только материалом для творчества и орудиями для использования этого материала. Цветные тряпки, нитки, игла в руках Веры Васильевны соответствовали краскам, карандашу и кисти» [172, с. 2–3].

Георгий Викторович восхищался и гордился талантами жены и все делал для того, чтобы помочь ей в ее творчестве.

Работы по рентгеновской кристаллографии

1

В апреле 1912 г. произошло эпохальное событие в исследовании кристаллов – В. Фридрих и П. Книппинг, проверяя предположение М. Лауэ, обнаружили дифракцию рентгеновских лучей, вызванную пространственной решеткой кристалла [353]. И, хотя эти опыты были поставлены с целью доказать волновую природу рентгеновских лучей, ими сразу заинтересовались кристаллографы.

Информацию об этом открытии привез непосредственно из Мюнхенского университета молодой физик Н.Е. Успенский, сотрудник Московского коммерческого института. В ноябре он доложил об этих опытах на заседаниях Московского физического общества и Общества изучения и распространения физических наук [354].

Вульф сразу оценил возможности, которые сулило это открытие для изучения структуры кристаллов. Он писал Гроту из Москвы 21 ноября 1912 г.: *"Они (опыты Фридриха и Книппинга. – Прим. А.С.) производят очень большое впечатление, хотя бы потому, что они для меня как кристаллографа очень важны... Из этих работ не столько следует волновая природа рентгеновских лучей, сколько сетчатая структура кристаллов"* [355].

Для Вульфа, как кристаллографа, сразу же встал вопрос, как связаны пятна на опубликованных в [353] рентгенограммах с направлениями в кристаллах. Только ответив на него, можно было бы указать способ использования рентгеновской дифракции для определения структуры кристаллов.

Уже 24 ноября 1912 г. он доложил об этом на заседании Московского физического общества, а через несколько дней послал статью в "Zeitschrift für Kristallographie" [109]. Вульф понимал важность этой проблемы и боялся, что его могут опередить. В сопроводительном письме Гроту он писал, что рассчитывает на скорую публикацию своей статьи "так как люди теперь работают страшно быстро" [355].

В статье Вульф рассматривает случай интерференции рентгеновских лучей в кубическом кристалле сфалерита ZnS , с которым работал Фридрих и Книппинг. Из теории Лауэ (уравнения (27)) следует связь между косинусами дифрагированных рентгеновских лучей и целыми числами, определяющими порядок интерференции. Вульф выбирает кристаллографическую систему координат и определяет эти же направления через индексы направлений в кристалле, а затем, используя рентгенограмму ZnS , приписывает каждому пятну кристаллографические координаты. Отсюда он определяет, что в пространственной решетке расстояния между частицами соответствуют последовательности чисел: 5, 9, 7, 9, 15. Таким образом, в первом приближении про-

блема идентификации рентгеновских пятен была решена. При этом Вульф замечает, что хотя максимумы отражения соответствуют плоскостям (021) и (221), пересечением этих плоскостей [112] и [021] не соответствует ни один максимум. Он объясняет этот факт тем, что эти направления определяются иррациональными величинами направляющих косинусов.

На зимние каникулы 1912/13 учебного года Вульф совершил путешествие в Рим. По дороге он заехал в Мюнхен, где встретился с А. Зоммерфельдом, на кафедре которого проводились опыты Фридриха и Книппинга. Здесь ему показали полученные рентгенограммы и соответствующую аппаратуру.

Добравшись до Рима, Вульф пишет Зоммерфельду 16 января 1913 г.:

"Хочу сообщить Вам мои мысли о теории интерференции рентгеновских лучей. Если уравнение Лауэ (см. уравнение (29). – Прим. А.С.) умножить на целые числа m , n , p , а затем сложить, то Вы придете к закону: Проекция параметра пространственной решетки (диагональ построенного на ребрах ma_1 , na_2 , pa_3 параллелепипеда) на направление дифрагированного луча, уменьшенная путем проектирования того же параметра на направление первичного пучка, равна целому числу длин волн. Отсюда следует, что не только три главных направления a_1 , a_2 , a_3 существенны для рассматриваемого явления, но и каждое кристаллографически возможное направление (само собой разумеется каждое из важнейших). Таким направлением является любая последовательность точек пространственной решетки. Поэтому я отнес точки на рис. 5 (из статьи [353]. – Прим. А.С.) к различным направлениям и пришел к одному очень интересному результату. Если мы, например, точки отнесем к направлению [112], то мы приходим к разности косинусов*, образующих следующий ряд (все точки лежат в одном квадранте):

$$\begin{aligned} 0,156 \text{ деленное на } 4 \text{ дает число } 0,039 \\ 0,200 \text{ деленное на } 5 \text{ дает число } 0,040". \end{aligned}$$

(Далее Вульф приводит еще 10 значений косинусов, которые будучи поделенными на соответствующие порядки дифракции, все дают величину в пределах от 0,040 до 0,037.)

"Порядки максимумов, – пишет далее Вульф, – указываются очень точно, а что касается числа 0,039, то оно получается также и для других направлений. Отсюда я делаю заключение, что это число представляет собой наиболее вероятное значение λ/a . Это же число получил и М. Лауэ. Для некоторых направлений я получил для разности хода имеющихся на фотограмме максимумов величину 0. Если мы все это примем во внимание, то можем идти дальше. Пусть OS_0 есть направле-

* Речь идет о разности косинусов углов между диагональю параллелепипеда и направлением первичного луча и угла между этой диагональю и направлением максимальной яркости (уравнение (30)).

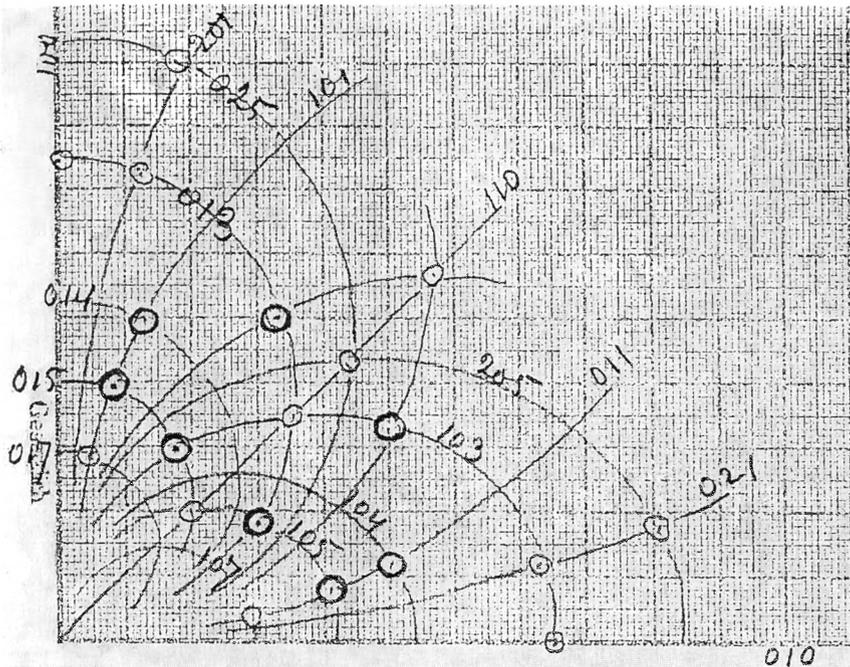


Рис. 19. Схема из письма Г.В. Вульфа к А. Зоммерфельду

Брэгга?* Я не могу это утверждать с уверенностью, так как не мог изучить вопрос более детально вследствие моих поездок. Если молекулы кристалла излучают по всем направлениям колебания, которые им сообщают рентгеновские лучи, то это отражение есть то же самое явление, что и интерференция прошедших лучей" [356].

Через два дня Вульф вновь пишет Зоммерфельду. Он посылает ему нанесенные на рентгенограммы Фридриха и Книппинга нулевые эллипсы, соответствующие кристаллографическим направлениям: «Я посылаю Вам лист толстой бумаги, на котором точки рис. 5 работы Лауэ, Фридриха и Книппинга нанесены в предположении, что расстояние до кристаллической пластинки равно 100 мм (рис. 19). Точками обозначены "нулевые" эллипсы, соответствующие кристаллографическим направлениям (рядам точек пространственной решетки). Их символы (отношения координат, отнесенные к ребрам куба) тоже указаны. Мне кажется очень важным тот факт, что максимумы расположены на точках пересечения этих эллипсов. Этот факт показывает, что точки фотограммы являются остатками нулевых эллипсов, которые не затронуты интерференцией. Очевидно, что эти точки явля-

* Речь идет о статье У. Брэгга [357], в которой он наблюдал интерференцию рентгеновских лучей, отраженных от плоскости спайности слюды.

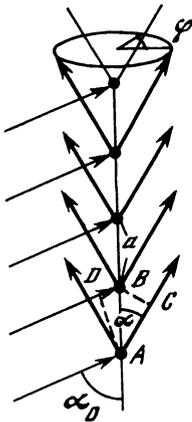


Рис. 20

ются самыми светлыми точками всей интерференционной картины» [356].

Здесь необходимо дать пояснение, напоминающее общий подход к анализу явлений дифракции. Для получения условий дифракции рентгеновских лучей на периодической структуре кристалла следует учесть интерференцию вторичных волн, исходящих из всех точек объекта, с учетом фазовых сдвигов между ними. Простейшим образом периодической структуры является одномерная решетка с периодом a , в узлах которой расположены рассеивающие центры (атомы или молекулы) (рис. 20). Если пучок рентгеновских лучей падает на решетку под углом α_0 , то, взаимодействуя с рассеивающими центрами, исходная волна возбуждает их и каждый центр становится источником сферической волны. Вторичные волны максимально усилят друг друга при рассеянии под такими углами α , для которых разность хода $AC - DB$ составляет целое число длин волн λ :

$$a(\cos \alpha - \cos \alpha_0) = h\lambda.$$

При этом дифракция не зависит от угла ϕ , описывающего поворот рассеянного луча вокруг оси одномерной решетки: рассеянные пучки образуют конусы, осью которых является направление одномерного ряда. В случае полихроматического пучка, т.е. пучка, для которого характерен непрерывный спектр излучения, угловой раствор конусов меняется в пределах, задаваемых спектром источника.

В случае дифракции на трехмерной периодической решетке правильная система узлов будет описываться вектором решетки $r = ma_1 + na_2 + pa_3$. Тогда условием дифракции от пространственной решетки является система из трех уравнений

$$\begin{aligned} a_1(\cos \alpha - \cos \alpha_0) &= h_1\lambda, \\ a_2(\cos \beta - \cos \beta_0) &= h_2\lambda, \\ a_3(\cos \gamma - \cos \gamma_0) &= h_3\lambda. \end{aligned} \quad (27)$$

Эти соотношения получили название уравнений Лауэ. Заметим, что для каждого из рядов возможны направления рассеянных пучков по конусам (см. рис. 20). Но в трехмерной решетке условия Лауэ должны выполняться одновременно по трем направлениям. Это значит, что возможны только отражения, отвечающие одновременному пересечению трех конусов, имеющих своими осями направления трансляций a_1 , a_2 и a_3 . Подобный подход является общим и весьма строгим, однако не позволяет легко интерпретировать рентгенограммы кристаллов.

Вернемся к работам Вульфа. Теперь станут более понятными его пояснения к статьям, опубликованным в январе [102] и в июле [103] 1913 года.

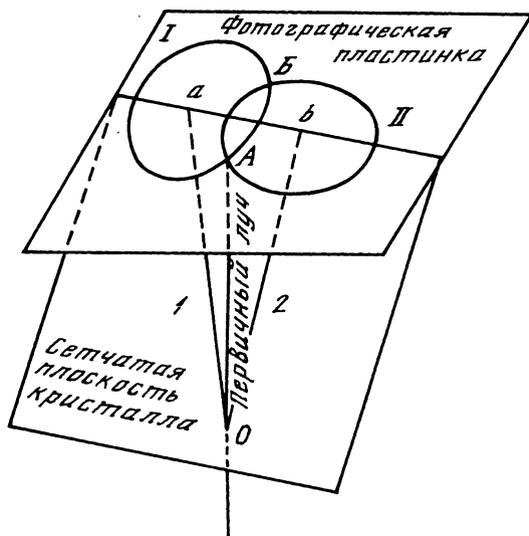


Рис. 21

Если на кристалл падает пучок рентгеновских лучей, то он испытывает рассеяние, образуя как бы ряд светящихся воронок – конусов разной ширины, вложенных одна в другую и как бы нанизанных вместе на ряд частиц. На фотографической пластинке, поставленной перпендикулярно лучу, следы конусов будут представлены эллипсами. Если взять для простоты два ряда частиц (1 и 2 на рис. 21) (Вульф назвал их молекулами), то на фотопластинке они дадут два эллипса I и II, из которых каждый должен пройти через точку А – точку встречи первичного луча с пластинкой. Но оба эллипса пройдут и через точку В. Через нее пройдут и все другие эллипсы, образованные всеми другими рядами нашей сетчатой плоскости, выходящими из точки О. Так как таких рядов очень много, то только В будет обладать достаточной яркостью для того, чтобы запечатлеться на фотопластинке. При этом точка В есть отражение точки А в плоскости, содержащей ряды I и II нашего кристалла. Отсюда Вульф делает вывод, что каждое пятно на рентгенограмме есть след луча, отразившегося от какой-либо сетчатой плоскости кристалла. Тогда, зная расположение пятен, мы можем точно определить расположение этих плоскостей.

Для подтверждения выводов Вульф привел схему, часть которой он посылал Зоммерфельду (см. рис. 19), где через пятна рентгенограмм Фридриха и Книппинга, полученных на кристаллах цинковой обманки, он привел различные конические сечения, главным образом эллипсы (рис. 22). Это позволило приписать кристаллографические индексы всех плоскостей.

21 января 1913 г. Вульф вновь пишет Зоммерфельду: "Вы являетесь центром исследования нового явления – влияния кристаллов на рентгеновские лучи. Поэтому я охотно сообщаю Вам результаты моих

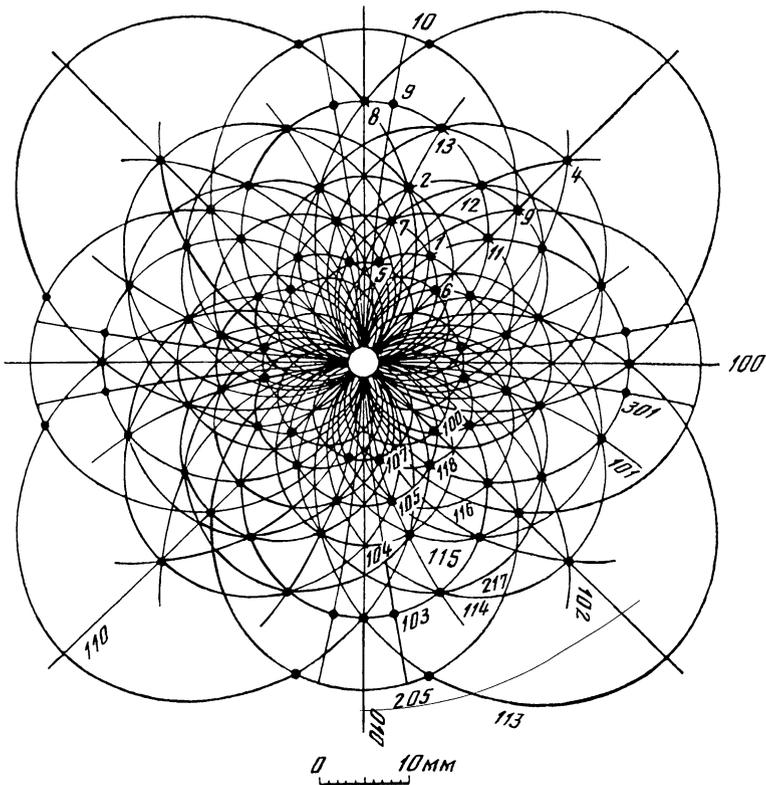


Рис. 22

исследований... Если мы уравнение Лауэ (см. уравнение (27). – Прим. А.С.) умножим на целые числа m , n и p (которые являются взаимно простыми) и сложим их, получим условие для влияния отдельных рядов точек решетки. Для нулевого конуса получим условие

$$h_1 m + h_2 n + h_3 p = 0.$$

Это означает, что оси нулевого конуса лежат в зоне, символом которой служат числа Лауэ h_1 , h_2 и h_3 . Поскольку при таком подходе мы не зависим от выбора осей координат, поскольку оси нулевого конуса являются рядом точек пространственной решетки и, наконец, поскольку максимумы позволяют определить зоны пространственной решетки, то мы приходим к выводу: **если свести интерференционную картину к нулевым эллипсам, то можно найти расположение рядов точек решетки, т.е. определить кристалл и его структуру**" [356].

Цитированные письма очень важны для понимания того, каким путем Вульф пришел к выяснению связи интерференционной картины рентгеновских лучей со структурой кристалла. За время непродолжительных каникул он сделал главные выводы, которые легли потом в

основу рентгеноструктурного анализа. Это, во-первых, утверждение, что при распространении по любому кристаллографическому направлению рентгеновские лучи могут давать интерференционные максимумы*.

Во-вторых, для выбранного кристаллографического направления разность косинусов углов определяющих эллипсов, поделенная на порядок интерференции, равна длине волны, поделенной на параметр элементарной ячейки. Наконец, в-третьих, Вульф указал на структурную важность нулевых рентгеновских максимумов.

По приезду в Москву Вульф пишет Вернадскому: *"Я действительно совершенно увлекся удивительными открытиями мюнхенских физиков и мне уже удалось разработать теорию этих явлений настолько, что теперь совершенно ясна связь всего явления с решеткой кристалла, т.е. по рентгенограммам какого угодно бесформенного обломка кристалла можно установить его решетку. На это исследование ушло у меня почти три месяца. Результаты его печатаются в кратком виде в Physikalische Zeitschrift"* [162, л. 3].

2

Статья в "Physikalische Zeitschrift" – это и есть знаменитая работа "О рентгенограммах кристаллов" [106]**, в которой Вульф изложил и развил идеи, высказанные им в письмах к Зоммерфельду. В этой же статье Вульф, независимо от Брэгга, вывел основную формулу рентгеноструктурного анализа. Эта статья поступила в редакцию 3 февраля 1913 г.

Работа начинается с сопоставления точек зрения М. Лауэ и И. Штарка на "рентгенограммы кристаллов". Кстати, сам этот термин, сейчас общепринятый в структурном анализе, введен Вульфом в этой статье.

Штарк считал, что черные точки на рентгенограммах соответствуют "кристаллическим каналам" – промежуткам между рядами атомов. По Лауэ же эти точки соответствуют направлениям наибольшей интенсивности интерференции рентгеновских лучей, рассеянных атомами кристалла.

Вульф, конечно, поддерживал именно эту точку зрения. Далее он рассматривает теорию дифракции рентгеновских лучей, предложенную Лауэ. Пусть имеется кубический кристалл с параметром a , на который

* Это утверждение справедливо только для полихроматического пучка. Отметим, что в своем первом опыте Фридрих и Книппинг направили на неподвижный монокристалл пучок рентгеновских лучей, выходящий из трубки Крукса (в этой трубке, содержащей газ при низком давлении, рентгеновское излучение возникает вследствие разряда между двумя холодными электродами). Не отдавая себе в том отчет, поскольку в то время не было надежных способов измерения длин волн рентгеновских лучей, авторы применили полихроматический пучок, т.е. использовали метод, впоследствии получивший имя Лауэ.

** Цитируется по: Вульф Г.В. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952.

падает рентгеновский луч вдоль оси Z , совпадающей с ребром кристалла. Если α, β, γ – направляющие косинусы пучка, то условия максимума интерференции будут определяться уравнениями (27).

Используя параметры конкретной рентгенограммы кристалла сульфида цинка, Лауэ нашел, что h_1, h_2, h_3 – простые целые числа. Для кубического кристалла в общем случае между координатами интерференционных максимумов x, y, z и числами h_1, h_2, h_3 существует следующая связь:

$$x : y : z = 2h_1h_2 : 2h_2h_3 : (h_1^2 + h_2^2 - h_3^2). \quad (28)$$

Вульф рассматривает некубический кристалл, отнесенный к прямоугольной системе координат. Пусть a_1, a_2, a_3 – параметры элементарной ячейки кристалла, а $a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}, i = x, y, z$, – проекции их на оси координат. Если теперь $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ – направляющие косинусы первичного рентгеновского луча, а α, β, γ те же величины для вторичного луча максимальной интенсивности, которые будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} a_{1x}\alpha + a_{1y}\beta + a_{1z}\gamma &= h_1\lambda + a_{1x}\alpha_0 + a_{1y}\beta_0 + a_{1z}\gamma_0, \\ a_{2x}\alpha + a_{2y}\beta + a_{2z}\gamma &= h_2\lambda + a_{2x}\alpha_0 + a_{2y}\beta_0 + a_{2z}\gamma_0, \\ a_{3x}\alpha + a_{3y}\beta + a_{3z}\gamma &= h_3\lambda + a_{3x}\alpha_0 + a_{3y}\beta_0 + a_{3z}\gamma_0, \end{aligned} \quad (29)$$

где h_1, h_2, h_3 – произвольные целые числа, а λ – длина волны первичного рентгеновского луча.

Вульф умножил эти уравнения на простые целые числа ξ, η, ζ и сложил их. В полученном уравнении общий множитель

$$\xi a_{1i} + \eta a_{2i} + \zeta a_{3i}$$

есть сумма проекций трех ребер элементарной ячейки на соответствующие оси координат. Параллелепипед, построенный на ребрах $\xi a_1, \eta a_2, \zeta a_3$, имеет диагональю ряд точек пространственной решетки с кристаллографическим индексом (ξ, η, ζ) . Обозначив длину этой диагонали P , косинус угла этого направления с первичным лучом ω_0 и косинус угла с максимальной интенсивностью ω , Вульф записал условие максимальной интенсивности в виде

$$P(\omega - \omega_0) = \lambda(\xi h_1 + \eta h_2 + \zeta h_3). \quad (30)$$

Смысл уравнения (30) Вульф поясняет следующим образом: "каждый ряд точек пространственной решетки (каждое кристаллографически возможное ребро кристалла) является осью максимумов яркости, образующих семейство конусов. Каждому конусу соответствует разность хода в целое число длин волн, равная разности проекций параметра ряда точек на образующую конуса и на первичный пучок" [106, с. 135].

Конусы с максимальной яркостью, которые соответствуют нулевой разности хода, легко определяются, полагая правую часть уравнения (30) равной нулю. Тогда "оси нулевых конусов представляют собой ряд точек пространственной решетки, лежащие в сетчатой плос-

кости (возможной грани кристалла). Эта плоскость обладает кристаллографическим символом $(h_1 h_2 h_3)$, где числа h_1, h_2, h_3 должны быть освобождены от общего делителя. Все конусы, помимо первичного луча, имеют общую образующую, которая создает главный нулевой максимум. Этот главный максимум в то же время максимум яркости, обусловленный сетчатой плоскостью $(h_1 h_2 h_3)$ и имеет нулевой порядок" [106, с. 135].

Из сказанного выше вытекает, что точки на рентгенограммах, представляющие собой нулевые максимумы, должны быть расположены на эллипсах, которые проходят через центр интерференционной картины. Вульф удалось провести такие эллипсы через все точки полученной в [353] рентгенограммы, доказав тем самым, что это действительно нулевые максимумы.

Затем Вульф находит связь между координатами u, v, w нормали к плоскости и координатами x, y, z максимума интенсивности, соответствующего этой плоскости. Из простых геометрических соображений он находит

$$\frac{2\omega\sqrt{u^2+v^2}}{u^2+v^2-\omega^2} = \frac{\sqrt{x^2+y^2}}{z}. \quad (31)$$

Это уравнение справедливо, если

$$x : y : z = 2uw : 2w(u^2 + v^2 - w^2). \quad (32)$$

Но оно тождественно с уравнением Лауэ (28). Отсюда

$$u : v : w = h_1 : h_2 : h_3, \quad (33)$$

т.е. условие максимумов интерференции определяется координатами (кристаллографическими индексами) нормалей к плоскости кристалла. Он объясняет интерференцию отраженного рентгеновского излучения от плоскости спайности кристалла слюды, найденную Брэггом [357]. Вульф пишет, что "мы имеем здесь явление, формально тождественное с отражением", причем "можно рассматривать все явления как отражение первичного луча от сетчатых плоскости пространственной решетки, независимо от того, образуют ли эти плоскости внешнее ограничение кристалла или проходят внутри последнего" [106, с. 137].

Это утверждение весьма интересно. Оно наводит на мысль об использовании оптической формулы, описывающей интерференцию света для нахождения максимумов интенсивности отраженных от атомных плоскостей рентгеновских лучей. Но Вульф этого не сделал, это сделал Брэгг.

Вульф же использовал следующий путь. Он рассмотрел, как и Лауэ, кубическую решетку с параметром a , в которой первичный луч параллелен ребру куба. Пусть дан нулевой максимум интенсивности $(h_1 h_2 h_3)$ и ряд точек $(\xi\eta\zeta)$, не лежащих в этой плоскости. Тогда

$$P = a\sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}$$

и

$$\omega_0 = \frac{\xi}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}}.$$

Приняв теперь во внимание соотношение (32), находим для ω :

$$\omega = \frac{2h_1h_2\xi + 2h_2h_3\eta + (h_1^2 + h_2^2 - h_3^2)\zeta}{(h_1^2 + h_2^2 + h_3^2)\sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}}.$$

Подставив выражения для P , ω и ω_0 в соотношение (30), имеем

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{2h_3}{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2}. \quad (34)$$

Эта формула уже была получена Лауэ. Выражение (34) показывает, что нулевой максимум какой-либо плоскости в кристалле образован волнами, длина которых зависит от координат этой плоскости.

Вульф раскрывает формулу (34) следующим образом. Прежде всего он освобождает числа h_1 , h_2 , h_3 от общего делителя m , так как они не обязательно должны быть взаимно простыми:

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{2h'_3}{m(h_1'^2 + h_2'^2 + h_3'^2)}.$$

Полученное равенство он записал в следующем виде:

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{1}{m} \cdot \frac{a^3}{a^2\sqrt{h_1'^2 + h_2'^2 + h_3'^2}} \cdot \frac{h'_3}{\sqrt{h_1'^2 + h_2'^2 + h_3'^2}}. \quad (35)$$

Величина $a^2\sqrt{h_1'^2 + h_2'^2 + h_3'^2}$ – есть площадь элементарного параллелограмма плоскости $(h_1h_2h_3)$, а весь этот член есть расстояние между соседними плоскостями, его Вульф обозначил через Δ . Третий же сомножитель формулы (35) ничто иное как косинус угла между нормалью к плоскости и первичным лучом, который он обозначил через ϵ . В результате получилось равенство

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{\Delta\epsilon}{m} \quad (36)$$

или в современных обозначениях

$$2d \cos \theta = n\lambda, \quad (37)$$

где d – параметр решетки; θ – угол между нормалью к плоскости и направлением первичного луча.

"Таким образом, – пишет Вульф, – волны, если можно так выразиться, фильтруются через пространственную решетку... Мы приходим, таким образом, к тому результату, что явление существенным образом зависит от положения кристалла по отношению к падающему

первичному лучу и что поэтому каждому положению кристалла может соответствовать особая фигура интерференции и особая рентгенограмма" [106, с. 139].

Этот вывод Вульфа хорошо подтверждается экспериментами Фридриха и Книппинга [353], которые, повернув пластинку кристалла на 3° , получили совершенно другую рентгенограмму, отличную от наблюдаемой до поворота.

Через месяц после этой статьи, 14 марта 1913 г., Вульф послал в журнал "Centralblatt für Mineralogie" небольшую заметку "Основы рентгенограмметрии кристаллов" [105]. Она открывается утверждением, что в предыдущей статье [106] автор показал, что "прохождение рентгеновских лучей через кристалл можно объяснить отражением их на внутренних плоскостях сеток кристалла" [105, с. 260]. Теперь, пишет далее Вульф, "можно легко превратить рентгенограмму кристалла в проекцию плоскостей сетки, отражающей те же лучи, которые дают черные точки на фотографии" [105, с. 260].

Если K – кристалл, SO – первичный пучок, O – центральная точка рентгенограммы Ph , m – черная точка рентгенограммы, Km – образовавший этот рефлекс отраженный луч, E – кристаллическая плоскость (рис. 23), то из простых геометрических соображений $\angle OKp = \angle pKm = \varphi$ и

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{Om}{OK} \quad \text{или} \quad Om = OK \operatorname{tg} 2\varphi,$$

где OK – расстояние от кристалла до фотопленки. Если на рентгенограмме провести перпендикуляр к Om в точке p , то эта прямая будет представлять собой линейную проекцию плоскости сетки E , таким образом легко превратить рентгенограмму в линейную проекцию кристалла.

Вульф продемонстрировал этот прием на практике, превратив рентгенограмму сфалерита, приведенную в [353], в линейную проекцию (рис. 24). Прямые на проекции представляют собой следы пересечения сетчатых плоскостей с фотографической пластинкой.

Следом за статьей 15 марта 1913 г. Вульф сообщает Зоммерфельду основные выводы, сделанные в своих работах: "Таким образом доказано, – пишет Вульф, – что 1) все точки фотограммы являются нулевыми максимумами, 2) все явление сводится к зеркальному отражению на сетчатых плоскостях и 3) яркость максимумов зависит от наклона отражающих сетчатых плоскостей... Я уже писал Лауэ, что его формула

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{2h_3}{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2}$$

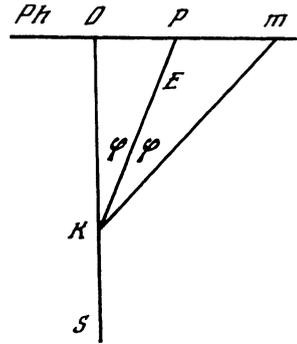


Рис. 23

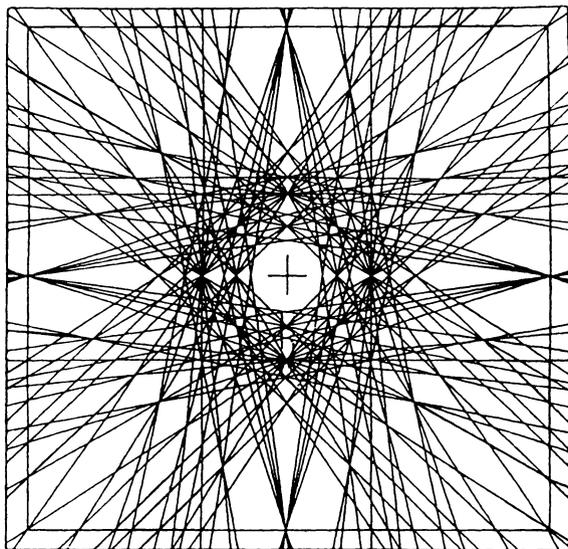


Рис. 24

может быть преобразована к гораздо более простой формуле, а именно,

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{D \cos \epsilon}{m},$$

где D – расстояние между двумя соседними параллельными сетчатыми плоскостями, ϵ – угол падения, m – целое число" [356].

3

Работа Брэгга, в которой приведена формула (37), сдана в печать 11 ноября 1912 г. и опубликована в первом номере журнала "Proceeding of Cambridge Phylosophical Society" за 1913 г. [358]. Вот, что он писал: «Атомы, составляющие кристалл, могут быть расположены в большинстве случаев в системе параллельных плоскостей, простейшей из которых является плоскость спайности кристалла. Я предлагаю рассматривать каждый максимум интерференции как обусловленный отражением от одной из этих плоскостей импульса падающего пучка. Рассмотрим кристалл как состоящий из набора таких параллельных плоскостей. Небольшая часть энергии импульса, проходя кристалл, будет последовательно отражаться от каждой плоскости и породить соответствующие максимумы в отраженных импульсах. Импульсы следуют один за другим с интервалом $2d \cos \theta$, где θ – угол падения первичного пучка на плоскость кристалла, d – кратчайшее расстояние между последовательными одинаковыми плоскостями в кристалле. Рассмотренный таким образом кристалл действительно "производит"

свет определенной длины волны, точно так же, как согласно Шустеру*, действует дифракционная решетка. Разница в этом случае лишь в экстремально короткой длине волны. Каждый падающий импульс порождает ряд импульсов и этот ряд распадается на серию длин волн λ , $\lambda/2$, $\lambda/3$, $\lambda/4$ и т.д., где $\lambda = 2d \cos \theta$ [358, с. 46].

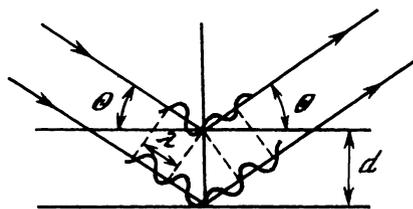


Рис. 25

Таким образом, дифракция на кристаллах рассматривается как отражение рентгеновских лучей плоскостями кристаллической решетки (рис. 25). "Отражение" происходит лишь тогда, когда рассеянные волны оказываются в фазе, т.е. когда разность хода равна целому числу длин волн (см. уравнение (37)). Это выражение связывает направления, под которыми возникают дифрагированные пучки, с межплоскостным расстоянием d в кристаллической решетке, где n означает порядок отражения. Поскольку межплоскостное расстояние d , длина волны λ и угол θ взаимосвязаны (причем d фиксированно), то для наблюдения дифракции необходимо либо фиксировать θ , но варьировать λ , либо фиксировать λ , но варьировать θ . Если мы направим на кристалл монохроматический пучок рентгеновских лучей, то, чтобы получить дифракционный пучок в направлении, задаваемом h_1 , h_2 , h_3 , нужно определенным образом ориентировать кристалл (метод вращающегося кристалла). Наоборот, если направить на неподвижный кристалл полихроматический пучок, как это было сделано Лауэ и его сотрудниками в первых экспериментах, удастся одновременно наблюдать большое количество дифракционных пучков, отвечающих различным плоскостям решетки. Это объясняется тем, что для различных семейств плоскостей решетки, характеризующихся межплоскостными расстояниями d и образующих различные углы с падающим пучком, в спектре источника найдется излучение с длиной волны λ , отвечающей условию дифракции (27). Этот метод рентгеноструктурного анализа широко используется и сейчас называется методом Лауэ. Использование метода Лауэ позволяет установить элементы симметрии кристалла, определяя тем самым кристаллическую систему, а также выявить систематические погасания, что ведет к определению пространственной группы симметрии.

Можно совершенно определенно утверждать, что Вульф прочел статью не раньше февраля, вероятно, по присланному ему Брэггом отписку (см. ниже). Сам же вывод формулы (36) Вульф провел в январе 1913 г., как это следует из его письма к Зоммерфельду. Подчеркнем еще раз, что он получил основную формулу рентгеноструктурного анализа, используя другие, чем Брэгг, соображения.

* Речь идет о широко распространенной в те годы книге А.Шустера "Теоретическая оптика".

Поскольку Вульф часто бывал за границей и был хорошо знаком с ведущими европейскими физиками, ему не стоило труда информировать их о своих работах до начала публикаций.

Полученные результаты Вульф послал в конце 1912 г. и Лауэ, о чем имеется специальное примечание в книге У.Г. Брэгга и У.Л. Брэгга "Рентгеновские лучи и строение кристаллов" [359], переводчиком которой на русский язык был Вульф. И хотя Лауэ в письме Кованько [360] отрицает факт переписки с Вульфом, это не означает, что письма от Вульфа не было. Переписывался Вульф и с У.Л. Брэггом [360]. В первом письме от 19 мая 1913 г. Вульф благодарит за полученные работы и письмо. "Весьма примечательно, – пишет он, – насколько совпадают наши работы и наши взгляды. Чтобы показать Вам это конкретней, я посылаю Вам пять фотографий, представляющих мою обработку фигур 5-й, 7-й и 8-й из статьи Лауэ, Фридриха и Книппинга" (цитируется по [360, с. 728]).

Вульф сообщает, что намерен в июле побывать в Лондоне и Кембридже и встретиться с Брэггом. Однако эта поездка не состоялась, и 23 августа 1913 г. Вульф пишет Брэггу: «Теперь я сожалею об этом еще больше, так как после возвращения в Москву получил от Вас два письма с дружеским предложением посетить Вас и Вашего отца. Выражаю Вам и Вашему отцу самую сердечную благодарность за письма, приглашение и крайне интересные оттиски. Я видел присланные мне Вами работы в Мюнхене у Зоммерфельда, с которым также поддерживаю переписку по поводу явления Лауэ*. Мне кажется, что я убедил Зоммерфельда, что анализ Лауэ не так ясен и прост, как тот, который был предложен Вами и мною. Взгляд, что максимумы Лауэ – нулевые максимумы и что их можно свести по этой причине к отражению, дает такой простой ключ для расшифровки фотограмм Лауэ, что можно уяснить себе из них сразу вид пространственной решетки, как Вы это показали на деле. Ведь кристаллография является одной из глав физики, а не минералогии, и если ее считают минералогией, то это – достойное сожаления недоразумение; чтобы понять свойства кристаллов, не нужно изучать минералогию. Вычислить плотность плоскости сетки кристаллической решетки – задача математическая, а решена она с помощью общепризнанных формул или нет – это не главное!

Что касается структуры кристаллов, то я убежден в том, что здесь дело будет обстоять значительно проще, чем представляют теперь. Однако мое мнение, что нам в этом направлении предстоит сделать еще много важного и что рентгеновские лучи будут доставлять нам для этого главные средства.

Вы указали пути в этом направлении: расположение атомов по кубу с центрированными гранями в цинковой обманке, по-видимому,

* Работа Брэгга [358] вышла в свет в конце января 1913 г., когда Вульф уже уехал из Мюнхена и поэтому не мог ее видеть у Зоммерфельда, если тот получил журнал вовремя. Поэтому направляется мысль, что Вульф побывал в Мюнхене еще раз, по-видимому на летних каникулах и тогда мог видеть присланные Брэггом оттиски.

доказано. Но что касается NaCl, KCl и KBr, то я такого мнения, что вопрос о структуре этих веществ следует считать еще открытым: оба вещества – KCl и KBr – химически и физически так близки друг другу, что они должны с большой вероятностью обладать сходной структурой.

В "Physik. Zeitschrift" будут вскоре опубликованы две статьи, в которых описаны результаты исследований длины волны x -лучей, выполненные мною с одним молодым физиком Успенским. Мы нашли, что интерференционные максимумы состоят из колебаний только одного периода (что они, так сказать, "монохроматичны"). Эта работа была выполнена в физической лаборатории Высшего коммерческого училища в Москве, так как я до сих пор не имею рентгеновской установки в своей лаборатории по кристаллографии в Московском городском университете Шанявского. Так как я до сего времени не получил оттисков этих статей, то я хочу послать Вам корректуру той статьи, которую рассматриваю как более интересную. Я прилагаю эту корректуру к письму» (цитируется по [360, с. 728–729]).

Статьи, о которых идет речь, опубликованы в одном номере "Physikalische Zeitschrift" за 1913 г. В первой статье [107] решен вопрос о тонкой структуре рентгеновских пятен, полученных при отражении от пластинок каменной соли. По своей структуре пятна были похожи на интерференционную картину, из параметров которой можно было определить длину волны рентгеновских лучей. Но она оказалась гораздо меньше той, что определил Лауэ из данных по геометрии отражения.

Вульф и Успенский подробно исследовали интерференционные максимумы от кристаллов хлористого натрия. Оказалось, что структура интерференционной картины зависит от конкретного места на пластинке, куда падает рентгеновский луч. Далее, поскольку пластинка была вырезана перпендикулярно оси четвертого порядка, то интерференционная картина должна быть инвариантна при повороте ее на 90° . Структура же пятен этому правилу противоречила. Все это говорило о том, что интерференционная структура пятен обусловлена мозаичностью (блочным строением) кристалла, т.е. фактической его неоднородностью.

Для доказательства этого Вульф и Успенский получили оптическую интерференционную картину от двух участков плоскопараллельной стеклянной пластины. Они оказались весьма близки к интерференционным рентгеновским картинам, полученным на кристаллах хлористого натрия.

Вторая статья [108] посвящена исследованию интерференции рентгеновских лучей при их последовательном прохождении двух кристаллов хлористого натрия. В статье была приведена и схема эксперимента (рис. 26). Рентгеновский луч OP падал на кристалл K под таким углом, что отраженные от кубической и додекаэдрической плоскостей лучи имели максимальную интенсивность. Эти отраженные лучи SW проходили через два отверстия в свинцовой пластинке Bl , за которыми крепились те же кристаллы хлористого натрия K' , повернутые на двой-

Наряду с публикацией собственных исследований Вульф активно пропагандировал новый метод изучения структуры кристаллов. Он опубликовал ряд статей, рассчитанных на подготовленных непрофессионалов.

Мы уже говорили выше о двух его статьях в журнале "Природа". Первая [102] посвящена описанию экспериментов Лауэ, Фридриха и Книппинга. "Открытие действия кристалла на рентгеновские лучи, – пишет Вульф, – принадлежит к одним из самых блестящих открытий последнего времени и замечательных по простоте идеи, лежащей в его основе" [102, с. 36].

Во второй статье [103] Вульф пересказывает и разъясняет результаты статьи [106], в которой показана связь между предсказаниями теории Лауэ и теорией, основанной на отражении рентгеновских лучей от плоских сеток кристалла. И делает это просто и изящно.

Интересна заключительная часть, в ней Вульф пишет, что когда статья [106] была уже закончена, он получил от Брэгга отпечаток его работы, содержащий те же выводы. К аналогичным выводам пришел и японский физик Терада, который с помощью флуоресцентного экрана продемонстрировал, как при вращении кристалла изменятся светлые пятна отражения рентгеновских лучей.

"Так, наряду с углублением и расширением наших знаний, идет и упрощение нашего взгляда на вещи. Теория сложна и трудна, пока она создается, но раз она сложилась и результаты ее проверены на опыте, мы сплошь и рядом замечаем, на какое значительное упрощение она способна. Так точно и в жизни мы часто приходим к очень простым мыслям лишь после долгого размышления. Больше того – мы считаем простые мысли, нас сразу озарившие, лишь догадками, пока они не будут всесторонне обдуманы и подтверждены вытекающими из них следствиями" [103, с. 680], – так заканчивает автор статью.

Интерференции рентгеновских лучей в кристаллах посвящена статья [100], она опубликована вместе со статьей Успенского [354], о которой мы уже говорили выше и в которой описаны опыты Фридриха и Книппинга. Эта статья Вульфа дополняет первую в части, касающейся связи максимумов интерференции рентгеновских лучей с параметрами кристаллов.

Путем простых вычислений с помощью формулы Лауэ (29) Вульф показал, что "направление отклоненного луча совпадает с рядом решетки, отличающимся тем особенным свойством, что его параметр соизмерим с осевым параметром решетки. Иначе, расстояния между молекулами кристалла на пути отклоненного луча должны быть соизмеримы с расстоянием молекул на ребрах куба" [100, с. 13].

4

Экспериментальные работы, о которых мы говорили выше, были выполнены Вульфом вместе с Успенским в лаборатории Коммерческого института. Но уже в феврале 1913 г. Вульф получил рентгеновскую установку для своей лаборатории. "Эта установка уже нала-

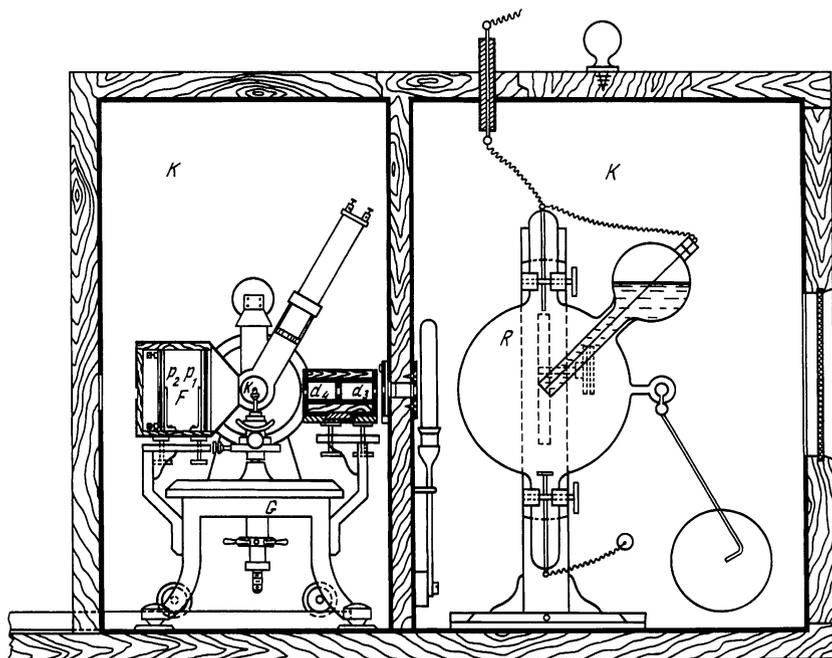


Рис. 27

живается и обойдется до тысячи рублей, – писал он Вернадскому 25 февраля 1913 г. – Установка требует сильной индукционной спирали, питаемой током до 20-ти ампер и дающей во вторичной цепи около 10 миллиампер. Она требует также тщательной установки рентгеновской трубки и диафрагмы, выделяющих тонкий пучок лучей, подающихся на кристалл. Поэтому нельзя сказать, чтобы получение хорошей рентгенограммы было довольно легким" [162, л. 4].

Рентгеновская установка, специально предназначенная для структурного анализа кристаллов, была сконструирована и изготовлена фирмой Р. Фюсса при участии самого Вульфа. Он описал ее в статье [111] в "Zeitschrift fur Krystallographie".

В этой установке (рис. 27) были устранены недостатки, присущие той, на которой работали Фридрих и Книппинг. Это прежде всего касается приспособления для точной юстировки кристалла. Для этой цели Вульф использовал двухкружный гониометр Чапского (G на рис. 27), который помещался в отдельной камере К. Для того чтобы точно установить место попадания луча после включения рентгеновской трубки R, Вульф использовал галогеновую лампу, установленную точно против щелевых диафрагм d_1-d_4 . За кристаллом была установлена фотографическая кассета F, заряженная двумя фотопластинками p_1 и p_2 , находящимися на расстоянии 5 см друг от друга. Отра-

женный от кристалла луч проходил через две пластинки, фиксируя на них два пятна. Измерив расстояние между ними и зная расстояние между пластинками, легко определить угол отклонения рентгеновского луча.

Таким образом, установка в своих основных узлах вполне превосходит современные установки для рентгеноструктурного анализа в немонохроматическом рентгеновском излучении.

На этой установке Вульф вместе с Васильевым выполнил в последующие годы несколько рентгеноструктурных исследований. Хотя считать их таковыми в современном понимании, естественно, нельзя. Это скорее моделирование кристаллических структур на основе данных первичного рентгеновского эксперимента.

Первая такая работа посвящена структуре хлората натрия [137]. Этот кубический кристалл интересен тем, что может существовать в двух энантиоморфных оптически активных модификациях и обладает полиморфизмом.

Из рентгеновских данных Вульф нашел параметр кубической решетки $a = 6,56\text{Å}$ и рассчитал число структурных единиц, приходящихся на элементарную ячейку. Оно оказалось равным 4.

Эти две величины и факт оптической активности (отсутствие центра симметрии) позволили Вульфу построить модель структуры, в которой атомы натрия занимают узлы и центры граней кубической решетки. Группы ClO_3^- располагаются на осях 3-го порядка, причем атомы Cl^- лежат в центрах тетраэдров атомов Na^+ на расстоянии $1/4$ диагонали от углов куба. Группы ClO_3^- , по мнению Вульфа, плоские и эти плоскости перпендикулярны диагоналям куба.

В статье приведено стереоскопическое изображение этой структуры. Напомним, что Вульф увлекался фотографией и широко использовал ее в своих научных исследованиях концентрационных потоков, фигур травления, текстур и т.п. Увлекался он и стереоскопической фотографией.

Для уточнения структуры Вульф использует идею плотной упаковки этой структуры. Считается, что идея плотной упаковки атомов и ионов была предложена Брэггом [361] в 1920 г. Однако Вульф приводит здесь цитату из своей книги "Кристаллы, их образование, вид и строение" [120], вышедшей в 1917 г., где эта идея была независимо высказана им и, более того, использована для вычисления размера атома ртути. Вот это место: "Сделаем гипотезу, на первый взгляд смелую, что частицы вещества в кристалле прилегают друг к другу плотную или, во всяком случае, расположены очень близко относительно друг друга. Возьмем ртуть, кристаллизующуюся при -39° , и предположим, что кристалл ртути сложен из атомов ртути, как сложена плотная куча шаров... Наиболее плотное расположение состоит из шаров, расположенных по вершинам куба и в середине его граней. Шары касаются в точках, лежащих на диагоналях граней куба. Внутри куба заключаются четыре атома: у каждого шара, находящегося на вершине куба, внутри куба помещается восьмая доля, что для восьми вершин

куба составляет полный шар, а для шара, помещенного в середине грани куба, внутри куба приходится половина, что для шести граней куба составит три шара – всего четыре шара" [101, с. 65]. Рассчитав объем элементарной ячейки из атомного веса и плотности, Вульф нашел, что радиус атома ртути равен 3,18А, что хорошо согласуется с радиусом 3,2А, найденным из кинетической теории газов.

Вульф записывает уравнения для координат атомов хлора при условии их плотной упаковки и используя табличные значения атомных радиусов находит их координаты. Затем, применяя выражения для структурных коэффициентов, он нашел теоретические соотношения интенсивностей рентгеновских отражений от тех или иных атомных плоскостей. Они хорошо согласуются с экспериментально найденными. При этом правая и левая модификации хлората натрия отличаются поворотом ионов ClO_3^- .

Структуру полиморфной ромбоэдрической модификации хлората натрия Вульф выводит из кубической деформацией последней. Получается структура типа кальцита.

Располагая скудным набором экспериментальных рентгеновских данных, Вульф, тем не менее, сумел построить в общем правильную модель структуры хлората натрия. Хотя многие детали ему угадать не удалось.

Моделирование структуры хлората натрия позволило Вульфу сформулировать некий "общий принцип построения кристаллических структур", который существенно ограничивает произвол в выборе моделей структур:

а) Атомы объединяются в группы (ионы),

б) Излучающие центры соответствуют определенным областям пространства, которые приблизительно можно принимать за шарообразные,

в) Структура состоит из возможно более плотного расположения пространственных областей,

д) Расщепление происходит между областями, которые обладают минимальным взаимным химическим сродством" [101, с. 199].

Общий принцип, сформулированный Вульфом, весьма интересен. Он отражает, по сути дела, ключевые положения, лежащие в основе строения ионных кристаллов. Действительно, в ионных кристаллах основной структурной единицей является ион. В двухатомных соединениях ионы не объединяются в группы, но в многоатомных, как правило, присутствует комплексный анион или катион, являющиеся самостоятельными, четко выделенными в структуре единицами. Второе важнейшее положение – принцип плотнейшей упаковки, с помощью которого можно, в первом приближении, построить модель изучаемого кристалла. В последнем может помочь и положение плоскости спайности по отношению к элементам симметрии, ибо в этом месте химическое взаимодействие минимально, что часто связано с увеличением межатомных расстояний.

Этот "общий принцип" играл важную роль на первых этапах рентгеновского изучения строения кристаллов. И даже сейчас – в век

удивительного развития техники и методики прямых структурных исследований он не потерял своего значения и является вспомогательным в особо сложных случаях.

Еще две, относящиеся сюда небольшие работы, содержащие некоторые экспериментальные рентгеновские данные, были выполнены Вульфом в 1919 г., но опубликованы лишь после его кончины.

В первой [147] содержится структурное объяснение факта кристаллизации иодида калия на слюде гранями октаэдра, изученного Вульфом еще в 1906 г. [80]. Слюда – мусковит, $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_3$, является слоистым моноклинным (псевдогексагональным) кристаллом. Васильев на описанной выше рентгеновской установке определил расстояние между слоями, а из плотности и объема элементарной ячейки – число атомов, приходящихся на элемент объема. Это позволило Вульфу смоделировать структуру мусковита, показав, что плоскость спайности есть плоскость, занятая атомами калия. В структуре иодида калия атомные плоскости, последовательно занятые атомами калия и иода, расположены нормально к граням октаэдра. Поэтому кристаллизуясь на плоскости спайности слюды иодид калия как бы продолжает свою собственную структуру – на атомы калия мусковита садится слой атомов иода, затем калия и т.д. Таким образом строятся кристаллы октаэдрическими гранями.

Вторая работа [148] посвящена структуре кристаллов $\text{Cr}_2(\text{OH})_2\text{SO}_3$. Здесь определен параметр псевдокубической ячейки и плотность, откуда найдено число структурных единиц, приходящихся на элементарную ячейку.

Рассмотрение этих экспериментальных работ показывает, что они не являются в полной мере рентгеноструктурными. Используя минимальный экспериментальный материал, Вульф моделирует структуры с учетом их особенности для объяснения тех или иных физических свойств. Поэтому они не оказали серьезного влияния на развитие рентгеноструктурного анализа.

Наряду с экспериментальными исследованиями Вульф интенсивно занимался и теоретическими изысканиями в области рентгеновской кристаллографии. Весьма интересную и важную работу он посвятил рассмотрению вопроса об упрощении вычисления структурных множителей в кубических кристаллах.

Структурный множитель (фактор), квадрат которого пропорционален интенсивности рентгеновских отражений, определяет величину амплитуды колебаний лучей, прошедших атомные плоскости. Их вычисление довольно громоздко, что усложняет обратную задачу – по интенсивности рентгеновских отражений найти расположение атомов в решетке.

Вульф предположил существенное упрощение – в кубической решетке необходимо выбрать новую элементарную ячейку, приняв ее углы за центры граней. Объем такой ячейки вчетверо меньше объема кубической решетки и, следовательно, в ней помещается вчетверо меньше атомов. Это и упрощает вычисление структурных множителей.

Вульф приводит подробные вычисления для структуры хлористого натрия, цинковой обманки, алмаза, полевого шпата и пирита.

Еще одна небольшая статья [138] посвящена найденным Вульфом закономерностям в радиусах атомов в простых ионных соединениях.

Из общей электростатической теории химической связи вытекает, что если вычислять атомные радиусы из межатомных расстояний двухатомных кристаллов MN , то с ростом атомного веса M радиус атома N будет уменьшаться, однако тем меньше, чем больше атомный вес M . Вульф проанализировал эту закономерность на примере кристаллов щелочногалогенидных соединений и нашел, что она хорошо подтверждается.

Говоря о рентгеновских работах Вульфа, необходимо иметь в виду, что они были выполнены в особенно тяжелый период его научной деятельности. Работы, так хорошо начатые в 1913 г., прервала мировая война. Начавшаяся затем революция и послевоенная разруха долгое время делали совершенно невозможной нормальную научную работу. Отсюда и ощущение незавершенности последних рентгеновских работ, их качественный характер на фоне стремительного развития на западе прямых методов структурного анализа и точного определения строения многих простых кристаллов.

Однако вклад Вульфа в формирование основ рентгеноструктурного анализа несомненен. Это не только вывод основной формулы (36), это и установление ясной связи картины рентгеновского рассеяния со структурой кристалла в общем виде, позволяющее приписать каждому рентгеновскому максимуму четкий количественный кристаллографический смысл.

Учебные пособия, научно-популярные книги и статьи

1

Вся творческая жизнь Вульфа была связана с преподавательской деятельностью. Как мы уже знаем, он начал преподавать в Варшавском университете после защиты магистерской диссертации в 1892 г. на кафедре минералогии. С 1894 г. он читает курс кристаллографии. За десять лет преподавания этого предмета у Вульфа выработался собственный взгляд на отбор материала и методы его подачи. В 1904 г. он обобщил свой опыт в "Руководстве по кристаллографии [63], которое было рекомендовано в качестве пособия студентам Московского университета и университета Шанявского.

Руководство было отпечатано в большом формате тиражом в 750 экземпляров по представлению физико-математического факультета Варшавского университета. Факультет и Совет университета предоставили на издание определенную сумму "покрывшую часть расходов на издание книги" [63, с. VI]. Эта фраза из предисловия к книге позволяет предположить, что основную часть расходов на издание взял на себя автор. В результате стоимость книги оказалась довольно низкой – 1 руб. 50 коп.

Руководство открывается обширной цитатой из книги основоположника кристаллофизики В. Фойгта "Lehrbuch der Krystallophysik": "Своеобразный интерес кристаллофизики покоится, главным образом, на большом разнообразии явлений, наблюдаемых в кристаллах, по сравнению с аморфными твердыми телами... Рядом с внушительным богатством явлений бросается в глаза еще и теоретическая сторона дела, придающая кристаллофизике особенную прелесть: кристаллизованное вещество является нормальным состоянием твердой материи, аморфное же – нарушенным ее состоянием. Поэтому в кристаллическом состоянии оно обнаруживает свои физические свойства в самом чистом и самом совершенном виде, в аморфном же – в мутном и затуманенном" [63, с. I].

В соответствии с этим эпиграфом Вульф дает свое определение кристаллографии: "Кристаллография представляет из себя главу физики и содержит в себе учение о твердом теле, как о некоторой **среде**" [63, с. I]. Свойства этой среды следующие: анизотропия (Вульф говорит о важности лишь **направлений** в кристаллах), однородность и симметрия. Такая **среда кристаллизуясь** принимает многогранную форму и зовется **кристаллом**.

Кристалл, по мнению Вульфа, естественное состояние твердого тела, в то время как аморфное состояние "необычно для твердого

вещества" [63, с. III]. Именно поэтому кристаллографию нужно рассматривать как **физику твердого тела**.

Такое отнесение кристаллографии к физике не являлось в те годы традиционным. Кристаллографию считали некоей самостоятельной наукой, примыкающей к минералогии в силу исторических традиций. Она призвана изучать кристаллы как, например, ботаника – растения.

Эта точка зрения отстаивалась кристаллографами минералогического "происхождения". Например, С.Ф. Глинка в "Общем курсе кристаллографии" приводит такое определение: "Кристаллографией называется учение о геометрических, физических и химических свойствах **кристаллизованных тел**" [362, с. 1].

У Е.С. Федорова более детализованное определение: "Наука, изучающая кристаллические тела, называется **кристаллологией**. Она существенным образом состоит из двух частей: одна изучает геометрические свойства кристаллов, их фигуру, а другая – их физические свойства. Первую чаще всего называют просто **кристаллографией или геометрической кристаллографией**; вторую – **кристаллофизикой или физической кристаллографией**" [363, с. VII]. Геометрическая кристаллография в своей теоретической части (основанной на симметрии пространственных решеток) достигла уровня дедуктивных наук и "становится в один ряд с самыми точными из существующих наук, таковы: геометрия и теоретическая механика" [363, с. 42]. Что же касается физической кристаллографии, то она "далеко не достигла той степени совершенства и гармонии, как это имеет место по отношению к свойствам геометрическим, и изложение самого предмета не может носить того строго дедуктивного характера" [363, с. 265].

Итак, кристаллология – особая наука о кристаллах. Также кристаллографию понимает и известный в те годы киевский профессор А.В. Нечаев: "В начале кристаллография являлась ничем иным, как частью минералогии, исследующей формы ограничения окристаллизованных минералов. Но по мере своего развития она все более выходила из этих рамок и скоро превратилась в учение о кристаллах вообще" [364, с. 1].

Таким образом, мы видим, что взгляды Вульфа на кристаллографию как на часть физики не являлись традиционными, но они не были и оригинальными. Вульф явно находился под влиянием своего учителя П. Грота, о важной роли которого в формировании его взглядов мы говорили ранее. Кстати, это влияние испытал не только Вульф. Его современник и коллега Вернадский точно также определяет статус кристаллографии: "Кристаллография занимается изучением законов твердого состояния материи. Наряду с учением о газах и жидкостях она составляет один из отделов физики частичных сил" [365, с. 15].

Аналогичное определение дает и его ученик Я.В. Самойлов: "В настоящее время кристаллография должна рассматриваться как один из отделов, и наиболее совершенных отделов физики, имеющий предметом своего исследования весьма характерный и своеобразный объект – кристаллическое вещество, кристалл, вещество резко отличное по своим свойствам от других тел" [366, с. XIX].

Декларируя отнесение кристаллографии к физике, Вульф поясняет их тесную связь: "Все физические явления протекают в тесной зависимости от симметрии среды. Поэтому физику крайне важно знать, какие случаи симметрии возможны для твердой среды, и на этот капитальный вопрос ему дает ответ кристаллография" [63, с. 1]. Однако, – пишет Вульф, – физики плохо знают кристаллографию, так как она не входит в университетский курс физики. Кристаллографию же изучают студенты-естественники, но они в силу недостаточной математической подготовки, не в состоянии надлежащим образом ее постичь. "За такими словами автора, однако, может последовать вопрос – как же дело обстоит с самим автором книги? – пишет Вульф. – Может ли он дать читателю какие-либо гарантии в том, что он сам успешно справился со всеми трудностями дела? На этот вопрос автор может дать только один ответ, что он решился выступить со своей книгой общего содержания только после ряда специальных работ в различных областях кристаллографии. Насколько же удачно он выполнил свою задачу, на этот вопрос должна дать свой беспристрастный ответ критика" [63, с. III].

"Беспристрастный ответ критика" был явно положительным. Руководство написано на самом высоком уровне.

Вульф разделил материал на три части в соответствии с тремя основными законами кристаллографии. Каждая часть содержит не только раскрытие соответствующего закона, но и изложение всех вытекающих из него следствий как теоретического, так и методического характера.

Руководство написано так, как пишут учебники по современным разделам физики – предельно строго и математично. В основу изложения положена сферическая тригонометрия в связи со стереографической проекцией. Основание к такому подходу Вульф видит в первом законе кристаллографии – законе постоянства углов кристалла. Из этого закона вытекают все измерительные и вычислительные методы кристаллографии. По той же причине Вульф главное внимание уделяет теодолитному методу измерения углов кристаллов. Он пишет: "Многолетняя педагогическая деятельность автора привела его к твердому убеждению, что теодолитному методу должно бесспорно отдать предпочтение, потому что только при его применении учащиеся весьма легко преодолевают трудности определения геометрических постоянных кристаллов благодаря простым, стройным и однообразным приемам наблюдения и вычисления кристаллов при помощи этого метода" [63, с. III]. Поэтому сферическому треугольнику и основным его свойствам посвящена целая глава первой части руководства. В главе рассматриваются и стереографическая сетка Вульфа, и методы работы с ней. Сетка на плотной бумаге приложена к книге вместе с несколькими кальками, на которых, в качестве примеров, нанесены результаты измерения углов некоторых кристаллов.

Далее, как и во всяком физическом руководстве, пользующимся измерительными методами, большое внимание уделено погрешностям измерения. Поэтому в руководстве помещена большая глава об ана-

лизе погрешностей измерения углов кристаллов и применению для этой цели метода наименьших квадратов. В этой главе автор широко использует материал другой статьи [61].

Учение о симметрии изложено с оригинальной точки зрения, согласно которой в основу определения симметрии положена плоскость симметрии. В соответствии с этим в руководстве используются и символы Вульфа для обозначения кристаллографических классов. Большое внимание уделено простым формам, а при определении кристаллографической симметрии граней Вульф описывает свои исследования фигур травления и пирозлектрического эффекта.

В книге почти не затронута учение о структуре кристаллов. Лишь в одном параграфе кратко рассмотрены сетки Браве. "Учение это, – пишет Вульф, – оставлено автором в стороне потому, что с ним приходится считаться только с того момента, когда мы перестаем смотреть на кристалл как на однородную **непрерывную** среду и начинаем расчленять эту среду на составляющие ее элементарные, конечные части, хотя и весьма малые" [63, с. V].

В заключение рассмотрена классификация кристаллов по кристаллографическим системам и классам. Описаны простые формы для всех 32 классов с примерами типичных кристаллов.

Таким образом, это руководство существенно отличается от традиционных учебников кристаллографии, например таких как [362–364, 366]. Оно отличается не по фактическому материалу, хотя и в нем добавлено много нового, главное его отличие в общем подходе к предмету, в подходе, свойственном не минералогу, а физику.

Хотя тираж книги был небольшим, но, тем не менее, она оказала серьезное положительное влияние на преподавание кристаллографии в России. Почти во всех курсах, изданных после выхода в свет руководства, оно рекомендовано для углубленного изучения геометрической кристаллографии (см., например, [366–368]). Более того, подход Вульфа к вычислению кристаллов привлекает и современных ученых.

Одновременно с "Руководством по кристаллографии" Вульф закончил специальную большую работу "Способ графического решения задач по космографии и математической географии" [86], но в связи с революцией 1905 г. ее опубликовали в Нижнем Новгороде только в 1909 г. Хотя это руководство, строго говоря, не имело непосредственного отношения к кристаллографии, однако в нем с исчерпывающей полнотой было изложено употребление стереографической сетки и методов работы с ней.

"На первый взгляд покажется, пожалуй, странным, – пишет Вульф в предисловии, – что между наукой о кристаллах и наукой о небесных светилах может быть нечто общее, конечное, помимо "кристалльных сфер" античной астрономии, давно развитых Коперником. Однако, это так. В методах кристаллографии и астрономии есть много общего: кристалл существенно определяется углами его граней, и кристаллограф также должен быть знаком со способами изменения и вычисления углов, как и астроном. Более того, так как протяжения

в кристалле играют второстепенную роль в сравнении с углами его граней, то кристаллограф воображает кристалл описанным около некоторого шара и, наметив на этом шаре точки касания граней кристалла, совершенно отбрасывает самые грани. Полученная система точек на шаре служит верным изображением кристалла, напоминает звезды на небесном своде и может быть изучена при помощи сетки кругов – меридианов и параллелей, нанесенных на поверхность шара, точь-в-точь, как это делает астроном с небесными светилами" [86, с. 1].

Книга начинается описанием стереографической проекции, сетки и работы с ней. Здесь приводятся решения следующих задач: провести большой круг, проходящий через две данные точки, и измерить взаимное угловое расстояние этих точек; найти полюс данного большого круга, найти экватор для данного полюса, найти геометрическое место точек, отстоящих от данной точки на данное число градусов; заменить плоскость стереографической проекции; определить длину кривой линии, начерченной в стереографической проекции и определить площадь шара, очерченную некоторой кривой, стереографическая проекция которой дана. Это содержание главы I.

В главе II рассмотрены основы сферической геометрии – решение и построение сферических треугольников с помощью стереографической сетки. Затем, в главе III объясняются значения терминов, встречающихся при описании земного шара и небесного свода. Здесь рассматривается сферическая система координат на небесном своде, земное и солнечное время, предварение равноденствий. В этой же главе рассмотрены 44 задачи, которые решаются с помощью стереографической сетки. Например, определение расстояния между двумя пунктами, координаты которых известны, или определение азимута и высоты Солнца во время летнего солнцестояния, или определение времени по наблюдению или появлению тени стены, азимут и ширина которой известны и т.д.

Изложенный материал дает представление о том насколько широко и глубоко были интересы Вульфа – он прекрасно разбирался в специальных вопросах астрономии и географии и, более того, предложил и обосновал простой и удобный способ решения важных методических проблем этих областей знания.

Специальному применению стереографической сетки к кристаллографическим вычислениям посвящено еще одно пособие Вульфа при участии Шубникова [145]. Пособие состоит из двух книжек. В первой, "карманного" формата, приводится описание стереографической проекции и сетки Вульфа, решение общих задач с помощью этой сетки (построение сферических треугольников, измерение угловых расстояний, координат и т.п.) и решение специальных задач кристаллографии. Ко второй книжке прилагаются сама сетка и семь карточек, с нанесенными на них стереографическими проекциями кристаллов магнитного железняка, сульфата лития и калия, вилунита и сахара. Пользуясь этими данными учащемуся предлагается решить типичные задачи, встречающиеся в кристаллографической практике – измерить углы

между гранями, по закону зон найти положение главнейших возможных граней, определить элементы симметрии и кристаллографический класс, найти индексы граней и т.п.

Это пособие в свое время было популярным в Московском университете и других вузах. Оно было издано в 1924 г. большим тиражом – 2500 экземпляров и вскоре стало библиографической редкостью. Однако приведенные в книге задачи стали классическими и неоднократно повторялись в других руководствах по геометрической кристаллографии.

2

Фундаментальное "Руководство по кристаллографии" явилось основой для других учебных пособий Вульфа.

В 1913 г. вышел курс лекций [101], который Вульф читал в первом полугодии студентам 1-го курса университета Шанявского. Здесь был совсем другой контингент слушателей, чем в Варшавском университете, где студенты должны были специализироваться по минералогии. В университете Шанявского на первом месте стояли все же просветительские цели и лишь потом специализация. Поэтому Вульфу пришлось серьезно корректировать и объем и способы подачи материала этого литографически изданного курса.

"Курс этот, – пишет Вульф в предисловии к книге, – вырабатывался постепенно с самого, впрочем, еще недавнего, существования университета, и развитие его было тесно связано с постепенным усовершенствованием обстановки преподавания в Университете Шанявского. Так как это развитие далеко еще не закончилось, то и на эту книгу следует смотреть не как на окончательную форму курса о кристаллах, а как на первый опыт письменного изложения содержания лекций. Сделать этот шаг, быть может несколько преждевременный, побудили автора просьбы его слушателей, не находивших себе подходящих пособий" [101, с. 3].

Как и в "Руководстве", основной фактический материал разделен на три части в соответствии с тремя законами кристаллографии. Но изложение существенно облегчено, иногда до популярного, особенно в первой, вводной части "Кристаллы и их образование", которая предшествует основному фактическому материалу. Здесь Вульф рассказывает об устройстве проекционного фонаря и проекционного микроскопа, приводит элементарные сведения о строении жидкостей, аморфных и твердых тел, описывает кристаллизаторы и термостаты.

В расширенном и переработанном виде этот курс был издан в 1917 г. [120]. Издание было осуществлено "стараниями слушательниц Московских Высших женских курсов" и предназначено служить для них учебным пособием. Это заставило Вульфа "предпочесть, насколько было возможно, элементарный способ изложения и обойти многие подробности. Читателю дана лишь путеводная нить, по которой он, при желании, может пойти дальше, углубляя и расширяя познания" [120, с. II].

В отличие от литографического издания, в предисловии к этой книге Вульф четко обозначил и аргументировал свою позицию по поводу отнесения кристаллографии к одному из разделов физики. Он писал: "Традиция прикрепила учение о кристаллах к минералогии. Это не отвечает существу дела... Как читатель может убедиться, учение о кристаллах есть отдел физики, и его ведению подлежат не только природные окристаллизованные минералы, но вообще все твердые тела" [120, с. I]. Поэтому описательный характер изложения необходимо заменить на дедуктивный. "Наряду с изложением предмета, – пишет он далее, – должно было измениться и его преподавание. Модели и чертежи должны были быть в значительной степени заменены опытом, курсу кристаллографии необходимо было придать экспериментальный характер" [120, с. II]. Эту идею Вульф начал осуществлять в университете Шаньявского, этой идеей пронизана и данная книга.

В 1926 г. книга была переиздана и вышла тиражом 3000 экземпляров [153]. Она подверглась существенной переработке – Вульф добавил новую главу "Строение кристаллов", в которой привел главные результаты рентгеноструктурных исследований.

Книга "Кристаллы, их образование, вид и строение" до сих пор является классическим введением в науку о кристаллах. Простота, ясность и точность изложения материала в сочетании с прекрасным и образным языком сделали ее популярной как среди учащихся, так и среди преподавателей.

В предисловии ко второму изданию книги Вульф специально предупреждает, что она не является учебником. Тем читателям, которые хотят получить более подробное представление о предмете, он рекомендует свою книгу "Основы кристаллографии". Это учебное пособие было издано в 1923 г. [141] и в 1926 г. [152].

Первое издание – это совсем тонкая книжка, в которой конспективно изложены основные идеи геометрической кристаллографии. Материал опять, как и в "Руководстве", разделен на три части в соответствии с тремя законами кристаллографии. К этому добавлено введение, где даны общие определения, и "Прибавление", в котором рассмотрена поверхностная энергия, принцип Гиббса–Кюри и его обобщение на рост кристаллов, сделанное Вульфом.

Как и в других руководствах Вульфа, он обязательно использует свои результаты – кроме уже указанного принципа, здесь и стереографическая сетка и основной элемент симметрии – плоскость симметрии, и вытекающая из такого рассмотрения собственная номенклатура кристаллографических классов.

Во втором издании, вышедшем уже после смерти Вульфа, напечатан краткий некролог, составленный Флинтом с портретом Вульфа. Однако, как пишет Флинт, Вульф успел сам дополнить книгу и даже правил ее корректуру.

Эти добавления касаются начавшегося введения в рентгеноструктурный анализ понятия об обратной решетке. В "Прибавлениях II и III" Вульф рассмотрел применение векторного анализа к теории пространственных решеток и значение обратной решетки при определении

строения кристаллов с помощью рентгеновских лучей. Кроме того, в специальное "Прибавление V" вынесена таблица простых форм с новыми их названиями, разработанными российскими кристаллографами по инициативе директора Федоровского института проф. А.К. Болдырева.

В целом учебное пособие содержит канонический материал геометрической кристаллографии. Но в отличие от наиболее распространенных учебников того времени (например, [367, 369, 370]) эта книга единственная, в которой рассмотрено применение рентгеновских лучей для изучения структуры кристаллов, причем включая такие новые идеи, как обратная решетка.

3

В творчестве Вульфа особое место занимают его научно-популярные книги и статьи. Он, без сомнения, обладал литературным талантом и даром популяризатора и поэтому охотно пользовался возможностью донести успехи науки до широкой публики. Им написаны две научно-популярные книги и много статей.

Одна из них "Симметрия и ее проявление в природе" [82] родилась из четырех лекций, которые Вульф прочитал весной 1907 г. в Политехническом музее. Лекции были организованы Московским обществом народных университетов, благодаря которому вышло первое издание этой книги. Второе издание было в 1919 г. [124]. В нем добавлена только одна глава "Эстетическое значение симметрии".

Это лучшая научно-популярная книга Вульфа и первая в мировой литературе по данной тематике. До сих пор она остается одной из лучших популярных книг о симметрии, несмотря на то, что на эту тему позже писал ученик Вульфа академик Шубников [371, 372].

Книга открывается блестяще написанным введением, о котором дает представление следующий небольшой отрывок:

"Сколько существует таких понятий, которыми мы пользуемся на каждом шагу, которыми мы иногда с успехом руководствуемся в наших размышлениях и поступках, но истинного содержания которых мы себе не представляем! Мы пользуемся этими понятиями иногда чисто интуитивно, чутьем угадывая их содержание, и если бы от нас вдруг потребовали отчетливого, вполне точно логического определения таких понятий, мы были бы весьма озадачены и удивлены нашим бесилием дать определенный ответ.

Но мы были бы не правы, если бы стали в данном случае всецело пенять на собственное легкомыслие и невежество: есть понятия, с которыми мы так свыклись в жизни и которые мы считаем такими простыми, что, казалось бы, и говорить много о них совершенно не стоит, однако же эти понятия оказываются на деле иногда до того сложными, что для полного раскрытия их содержания необходимы были усилия многих человеческих поколений, длившиеся иногда многие и многие века... К числу таких ходячих понятий, с которыми мы сроднились в обыденной жизни, принадлежит и понятие о симметрии.

Мы с уверенностью говорим о симметричном или несимметричном расположении предметов в комнате, о симметричности или несимметричности здания и проч., даже можем привести вполне убедительные доводы в пользу справедливости нашего утверждения, но мы или вовсе не в состоянии будем дать вполне сознательное и верное определение симметрии, или, если и дадим его, то оно, наверное, окажется далеко не исчерпывающим всего этого понятия. Между тем никто не станет спорить, что понятие о симметрии играет в высшей степени важную роль как в природе, так и в нашей жизни. Мы удивляемся и восхищаемся симметрией снежинки, цветка, морской звезды, мы говорим о симметрии здания, даже музыкального произведения; понятие о симметрии составляет одну из основных частей нашего понятия о красоте; мы любим ее в одних предметах и считаем неприятной и неуместной в других...

Можно спросить: насколько важен вопрос о симметрии и о том, как она проявляется в природе? Мы строго различаем вещи более или менее важные и привыкли с этой точки зрения ценить их в соответствии со степенью важности вещей, уделять им больше или меньше интереса и внимания. Нетрудно, однако, убедиться, что этот вопрос не имеет никакого научного содержания и имеет смысл, иногда даже очень большой, лишь в среде практического приложения наших знаний. Никто, например, не будет оспаривать важности наших знаний об устройстве вселенной и о движении небесных тел вообще и нашей Земли в частности. Однако можно наверное сказать, что наши знания в этой области были бы существенно отличны от теперешних, если бы, например, Земля была не сфероид, а другое, менее симметричное тело. Да и сами бы мы совершенно иначе представляли себе окружающий мир, если бы наше тело состояло не из двух симметричных половин, а было бы, например, лучисто, как тело морской звезды или кораллового полипа" [82, с. 5–7].

Изложение начинается с симметрии плоских фигур. Здесь на простых примерах из различного рода перемещений вводятся основные понятия теории симметрии – линии симметрии, центра вращения, порядка центра вращения, центра симметрии. Эти понятия, пишет Вульф, находятся в противоречии с впечатлением о "неподвижности и жесткости", производимым симметричными фигурами. "Но этот крайне любопытный факт имеет очень простое физиологическое и психологическое объяснение, – пишет далее Вульф. – Ведь симметричный предмет **одинаков с различных точек зрения**, и для того, чтобы убедиться в этом, необходимо нам или **обойти** предмет с разных сторон, или **переместить самый предмет** относительно нас самих. Элемент движения стало быть налицо" [82, с. 14].

Затем рассмотрена симметрия систем плоских фигур – симметрия их расположения. Здесь Вульф вводит совместно и симметрично равные фигуры, понятие бесконечной симметричной последовательности и плоской параллелограмматической сетки. На примере бесконечного симметричного ряда фигур приведены примеры локальных элементов симметрии.

Говоря о важнейших свойствах линии симметрии и центра вращения, Вульф элементарным образом доказывает ряд теорем о сложении элементов симметрии.

Заканчивая рассмотрение симметрии плоских фигур, он выводит допустимые в плоских сетках элементы симметрии: линии и центры вращения 2, 3, 4 и 6-го порядков.

Затем все закономерности переносятся на пространственные фигуры. Рассмотрены плоскость симметрии, оси симметрии (простые и сложные) и центр симметрии. Винтовые оси вводятся при рассмотрении системы пространственных фигур.

Далее Вульф подробно излагает свой взгляд на возможность сведения всех элементов симметрии к отражению в плоскостях. "Ум ищет прежде всего простоту и однообразие, – поясняет свою точку зрения Вульф. – Только эти два признака действуют на него успокоительно и вызывают чувство удовлетворения в наших поисках за истиной, и если мы не нашли еще самой простой формы, в которую мы могли бы облечь истину, то это значит, что мы еще не постигли самой истины. С другой стороны, если истина имеет для себя несколько выражений, то мы только тогда почувствуем удовлетворение, когда установим внутреннюю связь этих выражений, сведя их к одному, более простому" [82, с. 58].

На этом чисто геометрическая часть книги заканчивается. Далее рассматривается как реализуется симметрия в мире животных, растений и кристаллов. Вульф считает, что в основе лежит принцип экономии. "Этим принципом широко пользуется природа в построении своих творений, – пишет он. – Животные и растения должны постоянно защищать себя от вредных внешних влияний, и они этого могут достичь наиболее экономно и совершенно: построивши одну часть организма, природе, так сказать, нечего тратить усилия на изобретение новых частей другого устройства – она просто складывает несколько одинаковых частей в один симметричный организм и получает тело большего объема с поверхностью относительно гораздо меньшею, чем поверхность отдельной части" [82, с. 73].

На различных примерах строения простейших организмов Вульф показывает приспособительную функцию симметрии – в процессе эволюции животные приобретают такую симметрию, которая помогает им в борьбе за существование. Однако симметрия эта не геометрическая, не идеальная, она соседствует с более или менее выраженной асимметрией.

Симметрия растений тоже обусловлена приспособительными функциями. Но если животные стремятся минимизировать свою поверхность, то растения, наоборот, стремятся сделать свою поверхность максимально большой, так как их питание и дыхание осуществляется через поверхность листьев и корней. Вульф подробно рассказывает о законах листорасположения и возможности представить их в виде некоей последовательности дробей. Предел этой последовательности есть иррациональная дробь, связанная с золотым сечением. "Ему придают большое эстетическое значение и находят его во взаимном

соотношении частей предметов, производящих на нас впечатление красоты, будь ли это творение природы, как, например, красивое человеческое тело, или произведение искусства, как, например, красивое здание", – заканчивает этот раздел Вульф.

Здесь необходимо сказать, что Вульф впервые рассмотрел законы листорасположения растений с позиций симметрии и нашел их связь с пространственной решеткой. Он подробно изложил свои выводы в статье [96], опубликованной в журнале "Природа" в 1912 г.

Следующий раздел книги посвящен симметрии кристаллов. Он неожиданно небольшой для такой книги и содержит только общие свойства пространственной решетки, следствием которой является внешняя форма кристаллов. И, конечно, здесь Вульф не преминул рассказать о концентрационных потоках и их влиянии на форму кристаллов.

Связь законов листорасположения с пространственной решеткой рассмотрена в специальном разделе. Вульф показывает, что если развернуть двойную спираль листорасположения, получится косоугольная плоская решетка, координаты узлов которой дают последовательность дробей, пределом которой есть иррациональное число $(3 \pm \sqrt{5})/2$.

Если же в любой косоугольной плоской решетке через начало и любой достаточно отстоящий от нее узел проведена прямая линия, то она будет проходить достаточно близко (над или под) узлами, координаты которых дают ту же последовательность дробей, стремящихся к тому же пределу. "Таким образом, – заключает Вульф, – мы приходим к выводу, что именно свойством сеток должно объяснить все особенности закона листорасположения и что поэтому мы имеем право настаивать на полной аналогии между этим законом и законом кратных отстояний в кристаллах" [82, с. 123].

Заканчивается первое издание книги рассмотрением симметрии физических явлений. Вульф показывает, что следствием решетчатого строения кристаллов является анизотропия их физических свойств – двойное лучепреломление, пирозлектричество и т.п. **"Симметрия среды, – пишет он, – делает то, что постоянная причина вообще не совпадает по направлению с вызываемым ею следствием, причем величина этого следствия меняется с направлением"** [82, с. 132]. Это очень точное определение физической анизотропии.

Во второе издание добавлен небольшой раздел "Эстетическое значение симметрии". Приведем его полностью:

"Хотя значение симметрии в нашем представлении о красоте и не входит в план нашего изложения, но в этой области симметрия играет столь важную роль, что об этом нельзя не сказать хотя бы несколько слов.

К странице 15 было сделано примечание, в котором говорилось о том, что и в музыке можно видеть симметрию, выражающуюся в **ритме** музыкальных произведений. Ведь в сущности все, что обладает симметрией, мы вправе назвать ритмичным, так как ритм состоит в правильном повторении одинаковых частей в целом, а ведь в этом как мы уже знаем, состоит и симметрия.

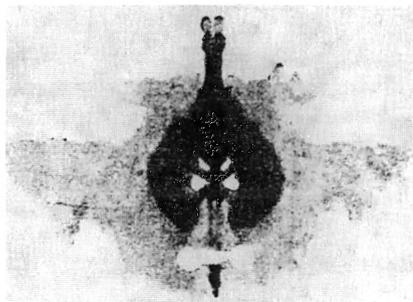


Рис. 28

Оказывается, что уже одно это повторение во многих случаях действует на нас приятно и производит чувство красоты. Даже некрасивая, геометрически совсем неправильная фигура кажется нам красивой, если она симметрична. На рисунке (рис. 28) представлена такая совершенно неправильная фигура, имеющая, однако, красивый вид потому, что она симметрична. Эта фигура произведена способом, известным под шути-

вым названием кляксографии, из чернильной кляксы, расплющенной в сложенной пополам бумажке, при этом клякса дает прихотливые разветвления и становится симметричной по линии, совпадающей с ребром складки.

Другим примером могут служить бумажные салфеточки, вырезанием которых занимают детей. Квадратный кусок бумаги складывается трижды в прямоугольный треугольник, в котором делаются по контуру прихотливые вырезки (рис. 29, а). Развернув треугольник, мы получаем квадрат, в котором сделанные вырезки располагаются симметрично относительно четырех линий, пересекающихся в центре (рис. 29, б). Сложенный кусок с вырезками не оставляет в нас никакого чувства удовлетворения, тогда как развернув его, мы получаем известное чувство красоты.

Приведенные примеры весьма просты и поэтому особенно убедительно показывают, какое огромное значение имеет симметрия в нашем ощущении красоты" [124, с. 133–135].

Эту тему эстетического значения симметрии впоследствии развивали многие ученые. Шубников в книгах [371, 372], особенно в по-

а



б

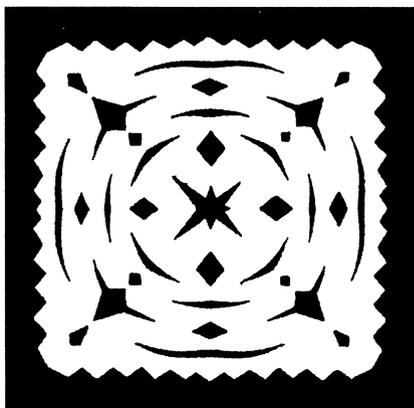


Рис. 29

следней, написанной им совместно со своим учеником В.А. Копциком, приводит большое количество примеров творческого использования законов симметрии в искусстве. Классическими примерами являются рисунки Эшера и многие архитектурные сооружения (подробнее см. в [373, 374]). Получила развитие и связь симметрии и золотой пропорции [375, 376]. Однако впервые эти темы поднял в своих работах именно Вульф.

Вторая научно-популярная книга Вульфа "Жизнь кристаллов" [121, 134] тоже выходила двумя изданиями. Эта книга в основном о физических свойствах кристаллов. В ней подробно рассмотрены строение и рост кристаллов, их оптические, тепловые и электрические свойства. Отдельная глава посвящена жидким кристаллам.

Книга написана с тем же литературным блеском, с которым написана и книга по симметрии. Вот небольшой фрагмент, дающий представление о стиле "Жизни кристаллов": «Неподвижная, геометрически-правильная внешняя форма кристаллов, кажется, так противоречит понятию о жизни, как о чем-то подвижном, неустойчивом, постоянно меняющемся. Мы ведь недаром говорим о том, что нечто "кристаллизовалось", когда это нечто приняло вполне определенные, законченные, установившиеся формы. Казалось бы, что о кристаллизации можно бы приличнее говорить как о смерти того подвижного, что было в жидкости, затвердевшей при кристаллизации, что бывши жидким могло вступать в химический обмен с другими веществами и стало химически инертным, перешедшим в твердое, кристаллическое состояние. Однако, все это лишь на первый взгляд. Даже не на тот спокойный методический взгляд немца, который еще видит в картине, изображающей неподвижные предметы, "тихую жизнь" – *Stilleben*, где более пылкая натура француза видит лишь мертвую природу – "*nature morte*". Частички вещества, сложившиеся в кристалл, не умерли. Они лишь расположились в правильные ряды, подчинились целому ряду геометрических законов, но все же не лишились движения, поскольку кристалл имеет определенную температуру, зависящую именно от этого движения. Как увидим, кристалл и после своего образования продолжает испытывать изменения при понижении своей температуры... С другой стороны, в кристалле можно вызвать целый ряд своеобразных физических явлений – кристалл реагирует на внешние факторы... Поскольку физические явления сопровождаются изменениями в веществе, в его частицах, в его форме, постольку мы можем в известной мере считать вещество, реагирующее определенным образом на внешние факторы, чем-то живущим и в этом смысле говорить о "жизни кристаллов", не внося в нашу речь никаких недоразумений и никакой двусмысленности» [121, с. 4–5].

В таком же блестящем стиле написаны и другие научно-популярные произведения Вульфа.

Несколько популярных статей Вульфа были посвящены персоналиям.

Весьма интересна статья об основателе кристаллографии Р.Ж. Гаюи, посвященная 100-летию со дня его смерти [132]. В ней подробно описан и жизненный путь, и основные открытия – закон кратных отношений и закон симметрии. Характеризуя особенность творчества Гаюи, Вульф писал: "Гаюи не считал себя знатоком физики... 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" [132, с. 95]. Ни до, ни после Вульфа о Гаюи так никто не писал. Наоборот, он традиционно считается основоположником чисто геометрического подхода к изучению кристаллов, подхода, который развивался Браве и Зонке и завершился трудами Шенфлиса и Федорова. Вульф, сам являющийся ревностным сторонником физического подхода к кристаллографии, как никто лучше сумел разглядеть в творчестве Гаюи его стремление связать геометрические свойства кристаллов с их строением, с их физической сущностью.

Еще одна персоналия посвящена нобелевским лауреатам Брэггам [117]. В ней тоже есть интересный исторический нюанс. Брэгг–отец до опытов Лауэ считал, что рентгеновские лучи представляют собой поток, состоящий из отрицательных и положительных частиц. «Под влиянием открытия Лауэ, – пишет Вульф, – Брэгг не только оставил свою теорию, но и тотчас сделал крупный шаг вперед по пути, указанному этим открытием, чего бы он, конечно, не мог сделать, если бы, с одной стороны, открытие Лауэ было менее убедительно, а с другой стороны, если бы у Брэгга любовь к истине не превысила чувства самолюбивого огорчения от необходимости признать свое заблуждение. Для лиц, знающих историю вопроса, некоторые места книги, написанные, очевидно, Брэггом–отцом, представляют в этом отношении большой психологический интерес. Эти читатели сумеют подметить душевное состояние Брэгга–отца в изложении таких вопросов, которые, казалось бы, по своей объективности, не могли бы на себе отразить душевные движения автора. Становится также ясным, почему Брэгг–отец первый проверил на рентгеновских лучах теорию так называемых "квант" лучистой энергии, предложенную Планком. От признания тождества природы рентгеновских лучей и света Брэгга удерживали как раз те явления, которых касается теория Планка. Однако, надо было прежде отождествить природу рентгеновских лучей с природой света, чем приложить к ним теорию Планка» [117, с. 888].

Книга, о которой идет речь, это "Рентгеновские лучи и строение кристаллов" У.Г. Брэгга и У.Л. Брэгга [359]. Ее перевел с английского Вульф, он же написал к ней предисловие и ряд интересных примечаний.

В предисловии [119] Вульф кратко характеризует значение работ Брэггов. Они нашли, – пишет Вульф, – прямой способ определения

структуры кристаллов с помощью дифракции рентгеновских лучей. При этом оказалось, что все кристаллы, структуры которых определили Брэгги, состоят не из молекул, как считалось раньше, а из атомов. Особо Вульф отмечает важность использования ионизационного метода, давшего возможность получить количественные данные при измерении интенсивностей отраженных рентгеновских лучей. Далее Вульф пишет: «В предисловии к английскому оригиналу Брэгг–отец говорит, что "за идею отражения рентгеновских лучей от кристаллических плоскостей ответственным является его сын". Справедливость требует, однако, отметить, что одновременно с Брэггом–сыном и совершенно независимо от него, к той же идее пришел и переводчик этой книги, так же независимо установивший и закон этого отражения. Закон этот заключается в формуле $n\lambda = 2d\sin\theta$, лежащий в основе всего исследования Брэггов... Это совпадение, однако же, нисколько не умаляет значения результатов, полученных Брэггами, а в этих-то результатах и заключается весь интерес исследований этих ученых» [119, с. 8].

Предисловие заканчивается на тревожной ноте. Оно датировано 1 ноября 1915 г. Идет мировая война. В ней участвует сын Вульфа Борис, прапорщик 2-го Сибирского Мортирного дивизиона, уже награжденный за храбрость Георгиевским крестом. Воюет с немцами на полях Фландрии и Брэгг–младший, ушедший добровольцем. "Уже нет в живых Мозли, английского ученого, имя которого упоминается в книге, как автора весьма важных и изящных исследований в области природы рентгеновских лучей – исследований, тесно соприкасающихся с работами Брэггов; он пал у Дарданелл. Сохранит ли судьба в наше губительное время жизнь и здоровье молодого Брэгга? Будем надеяться, что сохранит и даст ему возможность продолжать столь успешно начатую научную деятельность" [119, с. 9], – заканчивает предисловие Вульф.

В 1926 г., уже после смерти Вульфа, вышла книга У.Л. Брэгга "О природе вещей" [377]. Вульф успел отредактировать эту книгу и написать к ней предисловие [155]. В этом же предисловии он подчеркивает историческую связь между английской и русской наукой в исследовании строения материи. «В последних числах 1924 года, на рождественских каникулах, – пишет Вульф, – мне случилось быть в Лондоне, и я посетил Королевский институт. Директор института сэр Уильям Брэгг, автор этой книги, показывая мне институт, обратил мое внимание на картину, изображающую Фарадея, окруженного толпой подростков, которым он читает одну из первых рождественских лекций в институте, ставших с его времени обычными, а также на висящий неподалеку портрет Менделеева. Я заметил, что Менделеев изображен держащим в руке портрет Ломоносова, и объяснил Брэггу все символическое значение этого сочетания двух великих людей моей родины, что и было им занесено в записную книжку. Из расположенной по соседству аудитории доносились шум и веселые голоса юной публики, собравшейся слушать одну из лекций рождественской серии.

В кабинете директора я увидел кучку новых одинаковых книг, помеченных уже 1925 годом, которые оказались только что вышедшим изданием таких же рождественских лекций самого сэра Уильяма Брэгга "О природе вещей". Один из экземпляров был любезно предоставлен мне, и я привез его с собой в Москву. Теперь книга выходит в свет в русском переводе.

Упомянутые здесь имена, связанные в моих воспоминаниях с этой книгой, принадлежат к ряду крупнейших вех, которым следовала человеческая мысль по пути к познанию природы вещей. Ломоносов – гений, опередивший свой век более чем на 150 лет, первый предвидел то тесное единение химии и физики, которое осуществилось теперь в области учения об атомах. Менделеев, его прямой научный потомок, первый расположил атомы в стройный периодический ряд. Фарадей первый тесно связал химические явления с электрическими, и, основываясь на его открытиях, мы теперь нашли разгадку правильности Менделеевского ряда в электрической природе атомов. Сэр Уильям Брэгг основал спектральный анализ рентгеновских лучей и тем самым проторил нам путь к недрам атома и первый научил нас определять положение атома в кристаллах» [155, с. III].

Эти работы Вульфа свидетельствуют о его большом интересе к истории науки, об этом же свидетельствуют исторические фрагменты в его книгах и обзорных статьях. К сожалению, этот интерес не вылился в специальную работу по истории кристаллографии, которая безусловно была бы весьма оригинальной и интересной.

Кроме научно-популярных работ, так или иначе связанных с его профессиональными интересами, Вульф написал две небольшие книги на общенаучные темы.

Первая, опубликованная в 1910 г. работа, называлась "Есть ли у Земли хвост, как у кометы" [89] и была посвящена изложению оригинальной идеи самого Вульфа для объяснения суточных барометрических аномалий. Она основывалась на эффекте давления света на газы, совсем недавно найденном Лебедевым.

Вульф доложил свою идею 18 марта 1910 г. на заседании Московского общества испытателей природы [378] и на коллоквиуме в лаборатории Лебедева [322, с. 310], а затем опубликовал в небольшой статье в "Журнале русского физико-химического общества" [88]. Суть идеи в следующем. Утром при восходе Солнце давит своими лучами на атмосферу, ее движение навстречу лучам тормозится и в атмосфере образуется область сгущения, в которой давление повышается. После полудня воздух движется по направлению от Солнца. Это движение складывается с вращением Земли и поэтому образуется область разряжения, где давление понижается. Однако воздух, гонимый световым давлением, накапливается вечером и образуется второй максимум. И, наконец, по тем же причинам ближе к утру образуется второй минимум. Таким образом, в течение суток давление два раза повышается и два раза понижается. Вульф утверждает, что эта закономерность хорошо согласуется с метеорологическими наблюдениями.

Таким образом, Солнце действует на Землю так же как и на кометы, у которых в результате образуется хвост газов. У Земли эти хвосты – области повышенного давления, газ в которых, в силу большого притяжения Землей и центростремительной силы, не может вырваться наружу. На полюсах, где центростремительная сила равна нулю, частицы воздуха вырываются почти за пределы атмосферы, но под действием тяготения падают обратно, производя, в соответствии с гипотезой Аррениуса, северное сияние.

Гипотеза Вульфа вызвала большой интерес. Во время его доклада в Московском обществе испытателей природы ее заинтересованно обсуждали Н.А. Умов, Н.А. Морозов, А.А. Эйхенвальд. Лебедева на заседании не было, он находился на лечении за границей. Свое положительное мнение ему сообщил в письме Лазарев [322].

Гипотезу Вульф изложил в небольшой книжке [89], напечатанной в типографии Московского университета. А заканчивалась она весьма оригинально: "Световое давление оказывается далеко не ничтожной силой в экономии природы, оно является могущественным метеорологическим фактором, и, что всего удивительнее, – для измерения его величины нам нет нужды прибегать к построению новых тонких и остроумных приборов, так как для этой цели служит, как оказалось, обыкновенный, давно известный прибор – барометр" [89, с. 11].

Если не знать о весьма уважительных отношениях между Вульфом и Лебедевым, эту фразу можно понять как намек на ненужность тонких экспериментов Лебедева. На самом же деле Вульф хотел подчеркнуть, по его мнению, большую величину светового давления, способного вызвать заметные эффекты в масштабе всей планеты.

Но это оказалось совсем не так. В небольшой заметке [379], опубликованной в "Журнале русского физико-химического общества" в том же 1910 г., Лебедев показал, что световое давление на атмосферу составляет всего $23 \cdot 10^{-6}$ дин/см² и "никакого уловимого влияния на распределение давления в земной атмосфере оказывать не может" [379, с. 340].

В письме к В.К. Лебединскому он так прокомментировал идею Вульфа: "И охота ему было писать о том, что ему не известно!" [322, с. 345].

Вторая книга "Вселенная – машина и ее служение человеку" [125] совершенно другая по содержанию, стилю и духу. Ее можно причислить к жанру научно-художественной литературы по присущему ей блестящему литературному стилю, образности и ясности мысли. На страницах книги автор присутствует как личность со своими впечатлениями, мыслями и оценками. Это лучшее, что написано Вульфом в научно-популярном жанре.

Книга начинается с рассказа о машинах. На примере локомотива Вульф вводит понятие силы, работы, энергии и мощности. Подробно, на конкретных примерах, он рассказывает о потенциальной и кинетической энергиях, об их превращении, о понятии коэффициента полезного действия, о законе сохранения энергии.

Вторая часть посвящена круговороту воды в природе. Здесь машина – система Солнце–Земля. Вульф красочно описывает геологическое действие воды, сопровождая понятными примерами: "Автору пришлось быть застигнутым сильнейшей грозой среди степи Северного Кавказа. С неба пролилось сразу столько воды, что вся окружающая степь стала похожа на огромную мутную реку. Дорога совершенно скрылась под водой и вода доходила почти до осей экипажа. Дорога проходила по крутому берегу настоящей реки и с ней в реку вода скатывалась водопадом, тянувшимся на целые версты. Течение воды по дороге было столь быстрое, что голова кружилась смотря на несущуюся воду по дороге" [125, с. 15].

В третьей части Вульф рассказывает о круговороте твердого вещества. Он начинает с образования гор в результате охлаждения Земли. Говорит о вулканах, выбрасывающих газы и камни. Упоминает о разрушении гор водой и ветром. И чтобы у читателя создалась иллюзия присутствия, красочно описывает свое путешествие в Альпы:

"Положим, что мы в Женеве и что мы в компании нескольких русских эмигрантов и нескольких швейцарцев вздумали воспользоваться тремя свободными от работы днями и прекрасной погодой и сходить на высочайшую гору Альп – Монблан. Этот Монблан давно занимал ваше внимание, неподвижно белея как облако на горизонте, на юго-запад от Женевы...

Вы садитесь в поезд железной дороги, который везет вас вверх по широкой долине бурной горной речки – Арвы, быстро несущейся вниз с гор. Долина достаточно отлога, чтобы по ней могла быть проложена обыкновенная железная дорога. По бокам долины крутые скаты гор, обступающие ее все теснее по мере того, как вы едете дальше. Вас везет локомотив, – вы уже знаете, что это за машина, чем она работает... Часа через три надо покидать поезд, – дальше вас повезут по электрической дороге. Подъем становится слишком крут, и сила обыкновенного парового локомотива оказывается недостаточной для подъема поезда. Неподалеку на параллельном пути стоит электрический поезд. Когда вы садитесь в него, вы замечаете, что рельс защищен деревянной доской так, чтобы на него нельзя было встать ногой. По этому рельсу проходит очень сильный электрический ток, движущий моторы вагонов... Через несколько минут поезд остановился на станции Сервоз, где вам выходить. Вы выходите и вдыхаете в себя аромат чистого и прохладного горного воздуха, а перед вами сверкают вечные льды Монблана. Через четверть часа ходьбы вы находите уют в одной маленькой горной гостинице, издавна известной русским эмигрантам и студентам, проводившей в ней компаниями летние вакации. Нам нет времени остановиться, так как надо к вечеру сделать подъем более двух тысяч метров – около двух верст, на что надо положить часов семь хорошей ходьбы – все вверх и вверх...

Итак, мы покидаем гостиницу и идем вверх. Нам, русским, интересно бросить взгляд на маленький, остающийся вправо красивый домик на каменной терраске, построенный безвременно умершей нашей соотечественницей, талантливой художницей Якунчиковой-

Вебер*, серию картин которой можно видеть в Третьяковской галерее. Мы идем сперва лесом, где грецкие орехи и каштаны переплетаются с ольхой, березами и альпийскими розами: теплый климат переходит в умеренный. Через час мы уже вступаем в область кустарника и елей, а дальше уже альпийские луга, на которых звенят колокола стад. Снега Монблана становятся все ближе и ближе, день клонится к вечеру, прохлада усиливается. Наконец и луга кончаются, и вы идете все вверх и вверх по недавно проложенной хорошей дорожке для мулов уже по голым скалам из рыхлой породы. Слева у вас широкий вид на долину Шамони и на обступающие ее горы, справа под вами лежат глыбы льда ледника, спускающегося к местечку Сен-Жерве. Вот уже солнце окрашивается в розовый и красный цвет, спускаясь к закату, и освещает таким же светом как громадный цветной красный фонарь вас, ваших спутников, окрестные скалы и снега, что придает всему окружающему какой-то волшебный вид...

Воздух редок и дышать трудно. Шагов через двадцать приходится останавливаться и переводить дыхание. Кажется, что не ступишь дальше ни шагу, но через минуту опять возвращаются силы, и опять компания продвигается вперед. Так идем все вверх до самой вершины...

Вот мы, наконец, и на вершине Монблана, после десятичасовой утомительной ходьбы. Под нами уходящие в беспредельную даль волны снежных горных вершин, сверкающих своими вечными снегами на жарком летнем солнце. Меж горами стелются зеленые долины.

Сильный ветер, однако, не позволяет оставаться долго на вершине и насладиться невиданным волшебным зрелищем, – наградой за понесенные страдания при восхождении, да и нельзя терять времени. Надо успеть спуститься со льдов Монблана до сумерек и найти себе приют на ночь. И вот мы, бросив прощальный взгляд на дивную панораму Альп, пускаемся в обратный путь...

Оглянемся и спросим себя, что мы сделали за эти полторы суток. Мы совершили силою собственных мускулов громадную работу против силы тяжести. Мы преодолели силу тяжести, подняв вес нашего тела на вершину высочайшей горы Европы. Если считать скромно вес нашего тела с платьем и ношей в 70 килограммов и если мы поднялись на 4000 метров, то мы совершили работу в 280 000 килограммометров. И эта колоссальная работа, которую мы сделали в дни, отведенные нам для отдыха, не только нас не утомила, но доставила нам высочайшее наслаждение, какое может только дать общение человека с природой, да еще с такой разнообразной, как природа гор" [125, с. 22–24].

Этот отрывок, как кажется, в полной мере дает представление о стиле, в котором написана эта книга. Она заканчивается описанием круговорота каменного угля и воздуха. Здесь Вульф рассказывает о возникновении живого вещества, о фотохимических процессах, об образовании каменного угля. И все также иллюстрирует научно-популярное описание естественных процессов красочными картинками собственных впечатлений.

* Мария Васильевна Якунчикова-Вебер (1870–1902) – родная сестра жены Вульфа.

Хотя полиграфия книги оставляет желать много лучшего (она вышла в 1920 г.), Вульф включил в нее несколько иллюстраций. Одна из них – стереоскопический снимок ледника Монблана – Ледяное Море (Мер-де-Глас), сделанный самим Вульфом. Для его рассмотрения к книге были, по-видимому, приложены стереоскопические очки. Среди других иллюстраций выделяются три рисунка Поленова – парусная лодка, ветряные мельницы и водяная мельница.

Путешествия по Швейцарии дали Вульфу пищу не только для образного повествования в научно-популярном жанре. Наблюдения за ледниками позволили ему выдвинуть свою гипотезу об их природе [40]. Он пришел к выводу, что ледниковые котлы образовались не в результате вышлифования катящимися камнями, а вымыты сильными и широкими струями воды, богатой взвешенным шлифующим материалом.

Заканчивая этот раздел, необходимо упомянуть две небольшие речи Вульфа, посвященные памяти его коллег. Первую он произнес на заседании Казанского общества естествоиспытателей 4 октября 1898 г., посвященном памяти известного кристаллографа А.Е. Арцруни [53]. Андреас Еремеевич Арцруни, армянин по национальности, ученый российской кристаллографической школы, всю жизнь проработал за границей. "Ему не нашлось места в российском университете", – писал Вульф, хотя его книга "Physikalische Chemie der Krystalle" (1893) долгое время считалась классической монографией, в которой обобщена связь между физическими свойствами кристаллов и их составом.

На заседании Варшавского общества естествоиспытателей 12 декабря 1903 г. Вульф выступил с небольшой прочувствованной речью, посвященной памяти профессора химии университета Егора Егоровича Вагнера [73]. "Многие из нас, слушавшие доклады Егора Егоровича, конечно, не могли отдать себе точного отчета в значении его трудов для науки – виною тому крайняя научная специализация, дробящая нас на группы, иногда очень малочисленные, – сказал Вульф. – Мне лично многое в докладах Егора Егоровича оставалось неясным, благодаря моему недостаточному знакомству с органической химией. Но я не рискую несколько ошибиться, сказав, что каждый из нас, не специалистов в области работ Егора Егоровича инстинктивно чувствовал в его докладах выходящую из ряда научную силу, веское, авторитетное научное слово и притом облеченное в изящную, прямо ораторскую форму" [73, с. 40–41].

Большую статью Г.В. Вульф посвятил памяти П.Н. Лебедева. Она была опубликована в газете "Русские ведомости" [98] через месяц после его кончины. Эта статья пронизана болью утраты выдающегося ученого и близкого коллеги и обидой за разгром властями сообщества университетской профессуры.

Говоря об обстановке, сложившейся в университете, Вульф писал: «Мы живем в эпоху, когда русские университеты низведены на ступень простых учебных заведений. Научная деятельность университетов считается даже фактором, препятствующим правильному, машинообразному ходу учебных заведений. "Университет есть учеб-

ное, а не ученое заведение", – лозунг не новый; он лишь проводится теперь в жизнь со всей страстностью официального педагогического педантизма» [98]. Этот принцип полностью противоречил взглядам Лебедева, и самого Вульфа, добавим мы.

В университете Шанявского "в Лебедеве не искали лектора". Ему предоставили возможность создать первоклассную исследовательскую лабораторию. "Жизнь давно показала, – писал далее Вульф, – что нельзя учить и учиться в высшем учебном заведении не участвуя активно в прогрессе науки, что только там будет живой интерес к науке, где наука движется вперед" [98].

Статья заканчивалась следующими замечательными строками: "Закатилось яркое светило русской науки. Свинцовые тучи нависли на ее небосклоне. Но за этими тучами есть другие светила, готовые засиять, коль скоро небо очистится и тучи рассеются. Надо лишь желать и стараться, чтобы эти тучи действительно рассеялись и чтобы небо прочистилось, иначе эти светила зайдут на нашем горизонте и взойдут на небосклоне Запада, более светло и чисто сияющие над западной наукой" [98].

5

И, наконец, о рецензиях Вульфа на статьи и книги по кристаллографии. Первую такую обзорную рецензию Вульф написал в 1896 г. для "Ежегодника по геологии и минералогии России" [51]. Она интересна тем, что в ней Вульф сформулировал свое отношение к проблеме "кристалл–среда", что непосредственно связано с его работой над докторской диссертацией. Вот что он писал в разделе "Работы по физической кристаллографии":

«За последнее время выдвинулся вопрос об отношении кристалла к среде, в которой он образуется. Между средой и растущим из нее кристаллом должны происходить статические и динамические взаимодействия, результатом которых могут быть такие признаки кристалла, которые нельзя совместить с идеальным представлением о кристалле, как об физически однородном теле, в силу своих внутренних свойств ограниченном многогранною формою. Отсюда и стремление выделить ряд свойств кристалла в отдел "неправильностей образования", отсюда же и бесплодные попытки подойти к решению вопроса о природе вицинальных граней, всматриваясь только в строение кристалла, независимо от его отношения к маточному раствору. Статические взаимодействия раствора и кристалла выражаются в капиллярных силах, обуславливающих известный вид поверхности кристалла, помещенного в насыщенный раствор, которая будет до тех пор изменяться при постоянном объеме кристалла, пока равновесие не будет достигнуто (Кюри). Это капиллярное взаимодействие не следует понимать односторонне, как исключительно физическое. Вступая в область молекулярных сил, мы должны считаться и с химическим сродством, так что капиллярное взаимодействие кристалла и маточного раствора несомненно должно быть функцией их химического состава, и, меняя

состав раствора, например, примешивая к нему посторонние вещества, мы должны изменить и капиллярные силы между раствором и кристаллом, а это в свою очередь повлечет изменение формы кристалла» [51, с. 48].

К работам, направленным на решение этой проблемы, Вульф относит свое исследование [37], а также ряд других, в том числе и известную нам работу Вейберга [324].

Позже, уже в московский период, Вульф написал для журнала "Критическое обозрение" еще два обзора руководств по кристаллографии.

Первый из них [75] открывается замечательным введением, которое необходимо процитировать, ибо оно в полной мере выражает взгляды Вульфа на сам предмет кристаллографии:

"Интерес, возбуждаемый наукой о кристаллах, лежит не только в красоте кристаллов и наблюдаемых в них явлений – он имеет гораздо более глубокое основание. С внешней стороны кристалл представляется многогранником, ограниченным в большинстве случаев плоскими, хорошо отражающими свет гранями. В кристалле, поэтому, человек находит как бы воплощение тех геометрических образов, которые совершенно независимо от наблюдения природы возникают в его уме. Несомненно, например, что человек был знаком с кубом, как с геометрическим образом, гораздо ранее, чем ему стало известно, что обыкновенная поваренная соль кристаллизуется в кубах. Зная, какие вообще могут быть многогранники, мы с интересом изучаем многогранники, создаваемые природой, кристаллы, и стараемся выяснить, какие же из бесчисленных идеальных образов, существующих в нашем воображении, осуществляются природой, и какие законы руководят при этом природой в ее творчестве. Мы ищем этих законов и находим их с помощью наблюдений... Геометрический характер кристаллов делает необходимым изучать их при помощи приемов геометрии, а закон целых чисел делает приложимой к кристаллографии и теорию чисел. Лишить кристаллографию математического содержания, значит в значительной мере обезличить эту отрасль нашего знания, изящную именно в математическом отношении.

Но геометрические свойства кристалла являются лишь внешним проявлением его свойств, как физического тела. Кристалл является средой, в которой мы можем наблюдать разнообразнейшие физические явления. Оказывается, что эти явления гораздо более разнообразны в кристаллах, чем в аморфных, некристаллических телах: все явления принимают в кристаллах наиболее общую форму, в аморфных же телах упрощаются в значительной степени, а некоторые даже и вовсе не могут проявляться. Ясно, какое большое значение должно иметь для физика знание свойств кристаллической среды. Изучить эти свойства составляет одну из важнейших задач кристаллографии, и эта задача решена ею в высшей степени изящно и просто...

Из вышеизложенного ясно, что кристаллография – наука физическая и математическая. К сожалению, однако, она исторически оказалась тесно связанной с минералогией, наукой химической, для

которой она является хотя и важной, но все же вспомогательной наукой, так как минералы, как и вообще все твердые тела, оказываются в громадном большинстве случаев кристаллами. В качестве инженеров, не достаточно знакомых с математикой, минералоги превратили легкое и изящное здание кристаллографии в очень громоздкое и неуклюжее сооружение" [75, с. 11–13].

Вот с этих позиций Вульф и рассматривает рецензируемые учебники. Первый – книга Федорова "Курс кристаллографии". Она «...представляет из себя настоящий вклад в науку, – пишет Вульф. Продолжительная плодотворная и оригинальная научная деятельность автора поставила его в ряд тех немногих знатоков кристаллографии, которые не только в совершенстве овладели предметом, но и внесли в него много нового. Е.С. Федоров – выдающийся геометр с творческим умом, и это-то и дало ему возможность столь активно участвовать в прогрессе наших знаний о кристаллах. Его "курс" не может не стоять на высоте современной науки, так как сам автор своею деятельностью в значительной мере обуславливает эту высоту» [75, с. 13].

Однако, пишет Вульф дальше, курс Федорова скорее предназначен для специалистов, чем начинающих, "так как автор, поддаваясь влечению собственной творческой инициативы, излагает предмет, почти исключительно применяясь к результатам своей научной деятельности, в ущерб объективности, столь необходимой в руководствах общего характера" [75, с. 13].

Другой курс, "Основы кристаллографии" Вернадского, страдает тем же недостатком – он тоже предназначен для специалистов. В отличие от математического курса Федорова, нематематический курс Вернадского представляет собой обобщение огромного материала, содержащегося в мировой литературе, и, по мнению Вульфа, "скорее представляет из себя род диссертации, предложенной суду научной критики" [75, с. 15].

Курс Самойлова "Введение в кристаллографию", о котором мы уже упоминали выше, по мнению Вульфа «...носит на себе большие следы влияния "Основ" Вернадского, но, к сожалению, отрицательные стороны "Основ" отразились на ней гораздо более, чем положительные. Увлечение принципом векториальности вещества (одним из основных принципов "Основ" Вернадского) доходит у Я.В. Самойлова до того, что он говорит: "и какое бы свойство мы ни изучали, тотчас обнаруживается векториальность кристаллического вещества" (стр. 6). Выходит, поэтому, что и вес кристалла должен меняться с направлением, так что, кладя кристалл на чашку весов различными его гранями, мы должны были бы, по автору "Введения", получать каждый раз различный вес, что, разумеется, совершенно немыслимо. Неточность изложения доходит до размеров, нетерпимых даже в общезнании. Например, о параллельных ребрах говорится, что они встречаются своими серединами (стр. 12), о четырехугольнике (параллелограмме) говорится, что он может быть треугольником, шестиугольником, но не может быть пятиугольником (стр. 20). Неудивительно, что при таком способе изложения, автор не в состоянии правильно объяснить, что

такое оси кристалла, что такое кристаллографические системы и т.п. Остается пожалеть, что книга издана для самообразования» [75, с. 16].

Эта резкая рецензия, как пишет в своих воспоминаниях Флинт [167], стала причиной серьезной неприязни между Самойловым и Вульфом. Поскольку они работали на одной кафедре Московского университета, это не способствовало их деловым отношениям.

Наиболее близок к представлениям Вульфа о преподавании кристаллографии учебник Нечаева "Кристаллография геометрическая, физическая и физико-химическая", о котором мы уже упоминали выше. Учебникам Нечаева по минералогии и кристаллографии Вульф даже посвятил специальную рецензию [83]. В ней он изложил свои взгляды на место минералогии в системе наук о природе и о методах ее преподавания.

Вульф категорически не согласен с теми, кто относит минералогию к "третьему царству", к которому причисляют все неживое. "Пора признать, – пишет он, – что минералогия не есть самостоятельная описательная наука, а составляет часть химии, и что минералы можно рассматривать так же, как в химии рассматривается хлор, серная или азотная кислота, квасцы, купоросы и проч." [83, с. 74].

С этой точки зрения и написаны учебники Нечаева для средних учебных заведений и руководства к практическим занятиям по минералогии и кристаллографии. Вульф особенно приветствует выход в свет пособия для склеивания из картона моделей кристаллов. Однако он протестует против утверждения Нечаева о том, что эти модели показывают форму "естественных кристаллов". Вульф напоминает, что рост естественных кристаллов сопровождается концентрационными потоками, искажающими форму кристалла. "Нам кажется, – заканчивает свою рецензию Вульф, – что практические занятия по кристаллографии в средней школе не должны ограничиться одним склеиванием моделей. Следует дать возможность ученику самому получить кристаллы какого-нибудь легко кристаллизующегося вещества – квасцов, селитры, медного купороса и т.п." [83, с. 77].

Возвращение в Московский университет.

Последние годы жизни

1

Нет сомнений, что Вульф с восторгом встретил февральскую революцию. Его демократические убеждения всецело совпадали с идеями и лозунгами буржуазной революции.

9 мая 1917 г. он пишет ректору Московского университета заявление: "в согласии с постановлением моих товарищей, с которыми я покинул Московский университет в 1911 году, вернуться в Университет, я решил возобновить свою прерванную деятельность в качестве приват-доцента" [198, с. 193]. 12 мая 1917 г. Вульф был восстановлен в должности приват-доцента кафедры минералогии, кристаллографии и петрографии физико-математического факультета [159].

Заведовал этой кафедрой, после ухода Вернадского, проф. С.Ф. Глинка, специалист в области описательной минералогии, ученый старой классической школы. Вот как нелестно характеризует его в своих воспоминаниях Флинт: «Память у него была прекрасная, но минералогию он читал только систематическую, совершенно не касаясь генезиса минералов. Держать экзамен у него было очень трудно, так как для породообразующих минералов он требовал знания на память всех углов погасания. Кристаллографию он читал в старом стиле, совершенно не признавая новой номенклатуры. Помню одну сказанную им фразу: "Все в кристаллографии было хорошо и ясно, но вот появился Федоров и все испортил". Глинка признавал только однокружный гониометр, а на двукружном не умел и не желал работать. Он хорошо знал кристаллооптику и вычислительную кристаллографию, старую тригонометрическую. Стереографическую сетку он не признавал и считал вредным новшеством» [167, с. 8–9].

Вместе с Вульфом вернулся на кафедру проф. Я.В. Самойлов и приступил к чтению общего курса минералогии. Переехал из Петербурга и был принят на кафедру ученик Е.С. Федорова проф. Д.Н. Артемьев, он стал читать общий курс кристаллографии.

Вульф преподавал "Физическую и химическую кристаллографию", специальные курсы "Теория внешней формы", "Термический анализ", "Рентгенометрия кристаллов" и "Специальные вопросы кристаллооптики" [173, 174]. Но после того как в 1923 г. Артемьев* не вернулся из зарубежной командировки, Вульфу пришлось читать все кристал-

* Дмитрий Николаевич Артемьев был исключительной личностью. По воспоминаниям Флинта, "этот своеобразный, мало симпатичный человек обладал поразительной способностью к логическому мышлению". О нем говорили, что он способен найти неточности даже у Эвклида. За границей Артемьев принял католичество, дослужился до чина кардинала и заведывал папской библиотекой. Но в 1935 г. неожиданно покончил жизнь самоубийством [167].

логографические курсы для математиков и физиков. Его ассистентами на кафедре были В.М. Васильев, Н.А. Смолянинов и Е.Е. Флинт [175].

Возвратившись в Московский университет, Вульф продолжал преподавать в университете Шанявского и на Высших женских курсах, где одно время даже был деканом химико-фармацевтического факультета [198]. Кроме того, Вульф участвовал в работе только что организованного А.Ф. Иоффе Государственного рентгенологического и радиологического института в Петербурге [380]. Более того, в этот же период Вульф преподавал кристаллографию на физико-механическом факультете Петербургского политехнического института [380]. По-видимому, он периодически приезжал в Петербург для чтения лекций и проведения консультаций. Об этом говорит сохранившееся заявление Вульфа физико-математическому факультету с просьбой командировать его на две недели для чтения лекций по рентгеновским методам исследования строения кристаллов в Петербургском политехническом институте, Горном институте и Петербургском университете [176].

После Октябрьской революции Вульф активно включился и в работу Высшего Совета Народного хозяйства (ВСНХ). Этот орган был образован в 1917 г. для руководства всем народным хозяйством страны. Его Научно-технический отдел (НТО) был призван обеспечивать развитие прикладной науки и ее внедрение в народное хозяйство. НТО ВСНХ состоял из нескольких Научных советов, куда были приглашены крупнейшие ученые и инженеры страны, такие как И.А. Каблуков, Д.С. Рождественский, Н.Д. Зелинский, А.Н. Крылов, П.П. Лазарев, А.Е. Ферсман и другие. Научные советы выносили рекомендации по предлагаемым проектам и определяли научно-техническую политику всех отраслей народного хозяйства. Вульф в разное время был председателем секции физики, специальной комиссии по изготовлению точных научных инструментов и секции прикладной физики.

В рамках НТО ВСНХ организовывались и новые институты, в основном прикладных направлений, поскольку такая наука в России отсутствовала вовсе. Так в 1918 г. была организована Химическая лаборатория во главе с академиком А.И. Бахом, которая вскоре переросла в Химический институт (ныне Физико-химический институт им. Л.Я. Карпова).

В 1919 г. по инициативе Вульфа и Артемьева был организован Институт физико-химического исследования твердого вещества [177]. Вульф был избран заведующим института. О задачах института Вульф доложил на Съезде физиков в Петрограде 4 февраля 1919 г. [123].

Как записано в Уставе, "Институт учреждается с целью способствовать развитию изучения природы и свойств кристаллизованных твердых тел, как естественных, так и искусственных, и технического применению этого знания" [177, л. 2]. В Институте предполагалось разрабатывать заводские и лабораторные способы получения кристаллов, проводить микроскопический, химический и кристаллографический анализ кристаллов, металлов и сплавов, разрабатывать и изготавливать приборы и инструменты для этих целей и готовить специалистов в этих областях.

В состав института входило пять отделений: кристаллографии, кристаллохимии, кристаллофизики, металлографии, петрографии и минералогии. Последнее отделение состояло из отдела в Петербурге и лаборатории "Литогеа" в Москве. Сам Вульф, кроме заведования институтом, руководил отделением кристаллофизики.

Как все вновь организуемые институты, этот институт вначале не имел ни своего помещения, ни своего оборудования. Единственно на что мог рассчитывать Вульф, так это на свою лабораторию в университете Шанявского. Поэтому он обратился 20 февраля к Правлению этого университета с предложением «соединить деятельность этих двух учреждений, отводя место для заведываемого мною Отделения Института в помещении здания бывшего Городского Училища на Миусской площади, поступившего в распоряжение Университета: "Такое соединение, по моему убеждению, может клониться лишь к обоюдной выгоде обоих учреждений: Университета и Института. В числе сотрудников Института ныне состоят питомцы Университета имени Шанявского, что еще более единит эти два учреждения. Приборами и производимыми опытами и исследованиями Институт может оказать значительную помощь преподаванию. Такую же помощь может оказать и мастерская, проектируемая при Институте, которая должна расширить деятельность уже существующей и работающей небольшой моей мастерской при моей лаборатории, из которой уже вышел ряд приборов и учебных пособий, сделанных как для Московского Городского склада учебных пособий, так и для новых высших учебных заведений. Равным образом может быть объединена и издательская деятельность обоих учреждений"» [178, л. 1–10б].

Соглашение о сотрудничестве было заключено, но вскоре, в этом же году, университет Шанявского был ликвидирован, а его помещения с частью оборудования, в том числе и лаборатория Вульфа, отошли к Коммунистическому Университету им. Свердлова, призванному готовить партийным функционерам.

Вульф начал хлопотать о передаче оборудования лаборатории и механической мастерской, которое было приобретено на его личные средства, в Московский университет. Это удалось осуществить лишь в 1921 г. [179].

Институт физико-химического исследования твердого вещества просуществовал недолго. После отъезда Артемьева за границу отделения кристаллографии и металлографии распались. Оставшиеся сотрудники были переведены в отделение кристаллофизики, которое вместе с отделением петрографии и минералогии выделились в самостоятельный Институт прикладной минералогии и металлургии. На базе института образовалась специальная рентгено-техническая лаборатория, которой стал заведывать Вульф.

В 1919 г. кафедра минералогии переехала в новое здание, построенное архитектором Клейном рядом со старым. В этом здании после 1930 г. размещался Московский геологоразведочный институт, которому была передана кафедра минералогии. К институту перешла и лаборатория, и большая личная библиотека Вульфа, завещанная им

кафедре. После войны, когда Лаборатория кристаллографии Академии наук СССР, организованная учеником Вульфа акад. Шубниковым, вернулась в Москву, Президиум АН поставил перед Министерством высшего образования вопрос о передаче этой библиотеки [180] в пользование Академии. Но вопрос так и не был решен*.

В Московском университете Вульф пользовался заслуженным авторитетом. Он был избран председателем предметной комиссии физико-математического факультета и долгое время во многом определял направление преподавания естественных наук. 12 марта 1919 г. подавляющим большинством голосов он был избран профессором по кафедре минералогии [181]. Признание его педагогического таланта выразилось в том, что в течение ряда лет он был председателем Общества распространения физических знаний им. Н.А. Умова.

Признание пришло и от коллег по Российской Академии наук. 10 декабря 1921 г. на XI заседании Экстраординарного Общего собрания Г.В. Вульфа избрали членом-корреспондентом Академии. В представлении, подписанном академиками А.П. Карпинским (Президентом Российской Академии наук), В.И. Вернадским, А.Е. Ферсманом и А.Ф. Иоффе, были отмечены все самые значительные достижения Вульфа: работа по скорости роста и растворения кристаллов, по теодолитному методу и геометрической кристаллографии, рентгеновские исследования. Заключение этого представления нетрадиционно для строгого академического отзыва, оно несет печать того времени и поэтому его необходимо процитировать:

«Список научных работ Г.В. Вульфа дает некоторое представление о его неутомимой научной деятельности, протекавшей в тяжелых условиях, столь, может быть, обычных для русского ученого. Общественная деятельность в 1904 году прервала его работы в самый разгар их организации в Варшавском Университете. Выйдя в отставку, Г.В. Вульф начинает устраивать себе научную обстановку в Москве, сначала в Университете, потом на частные средства в Московском Народном Университете им. Шанявского, которому он уделит так много энергии и сил. Едва оборудовав свой научный кабинет, Г.В. Вульф оказался вынужденным оставить только что налаженное дело и одновременно с разрушением близкого ему дела Шанявского, ему пришлось при тяжелых условиях текущей жизни начать создавать себе обстановку все в тех же стенах Московского Университета. И тем не менее в тяжелых условиях современной жизни Г.В. Вульф не только находил силы для продолжения своей работы, он закончил к печати "Элементы кристаллографии", составляющей основу учений о твердой анизотропной среде, и организовал Научно-исследовательский Институт Твердого Вещества (так приведено в отзыве. – *Прим. А.С.*).

Если к указанным выше работам мы присоединим ряд прекрасных популярных книг, столь важных в области кристаллографии, то этим мы очертим в самых кратких чертах живой образ этого ученого-крис-

* Библиотека Г.В. Вульфа в настоящее время находится в научной библиотеке Московской государственной геологоразведочной академии.

таллографа, имя которого в списке членов-корреспондентов займет достойное место в среде русских ученых, объединяемых авторитетом Российской Академии наук» [288, с. 46–47].

В этом же году Вульф был избран действительным членом Российской Академии художественных наук. Она была организована в конце 1921 г. как высшее государственное учреждение, призванное вести исследовательские работы в области искусствоведения [381, 382]. Членами Академии были многие выдающиеся деятели искусств: А.В. Луначарский, И.В. Жолтовский, В.В. Кандинский, И.И. Машков, К.Ф. Юон, В.Я. Брюсов, А.А. Сидоров и др. Привлекли в Академию и ученых: П.П. Лазарева, А.А. Богданова, С.Л. Франка, Г.Г. Шпета и др.

В состав Академии вошли три отделения: физико-психологическое, социологическое и философское, а также несколько комиссий, таких как литературная, театральная, музыкальная и т.п.

Вульф и другие ученые работали в физико-психологическом отделении, призванном осуществлять сближение искусствоведения с точными науками. Задачами отделения являлось изучение материалов, из которых формулируются произведения искусства, изучение форм и законов их реализации, изучение конструкций в творчестве как принципа воплощения художественного выражения, изучение композиции в искусстве как принципа построения идеи произведения [383].

Вульф активно участвовал в работе Академии, ибо ее цели были созвучны с его интересами. Художественная интеллигенция – это был круг друзей и товарищей его семьи, поэтому ему были близки прогрессивные идеи, развиваемые в стенах Академии. В то же время, будучи профессиональным ученым, он не мог не думать о внедрении научных методов в искусствоведение. Известно, что Вульф сделал несколько докладов на заседании отделения. Один из них, произнесенный 6 апреля 1922 г., "Ритм в творениях природы", фигурирует в отчете Академии [384].

Еще одно свидетельство авторитета Вульфа и его достижений в области кристаллографии. Когда в 1922 г. при физико-математическом факультете был образован институт, он получил название Институт физики и кристаллографии [182]. В рамках института, после передачи из университета Шанявского рентгеновской установки Вульфа, приступили к изучению структуры кристаллов и металлов.

2

Все послереволюционные годы всеобщей разрухи преподавать и работать приходилось в тяжелейших условиях. Здесь нет надобности подробно описывать бедственное положение науки, высшей школы и самих ученых в то время. Достаточно сослаться на воспоминания современников (см., например, [385–388]).

Вульф, вместе с коллегами по Московскому университету, в полной мере испытал все невзгоды послереволюционного времени. Вот только некоторые штрихи, характеризующие обстановку тех лет в

университете по протоколам заседаний физико-математического факультета.

На заседании 2 марта 1918 г. обсуждается вопрос о бедственном материальном положении профессоров и преподавателей. Профессор П.А. Кожевников: "Теперешнего профессорского жалованья не хватает на самое скромное существование семьи" [183, с. 10].

16 октября 1918 г. факультет постановляет впредь проводить занятия в вечернее время, так как преподаватели и слушатели днем должны проходить военные занятия.

5 февраля 1919 г. факультет заслушал сообщение о том, что в некоторых аудиториях температура ниже нуля. Принято решение не проводить практические занятия, если температура в аудиториях ниже 5 °С. Лекции же без демонстраций не читать в том случае, если температура в аудитории ниже нуля [173].

19 февраля 1919 г. на факультет пришла радостная весть, что профессора не подлежат призыву на военную службу, среди остальных преподавателей призыву подлежат 50%.

В связи с отсутствием отопления закрылась библиотека.

30 апреля 1919 г. факультет ходатайствует об освобождении от военной службы бывших офицеров.

26 ноября 1919 г. факультет вновь принимает решение не проводить занятия, если температура в аудиториях ниже 5 °С.

18 февраля 1920 г. факультет просит вышестоящие органы освободить профессоров и преподавателей от "снеговой повинности" – участия в расчистке от снега московских улиц [184].

3 марта 1920 г. факультет просит проводить военное обучение студентов только в каникулярное время.

31 марта 1920 г. факультет слушает сообщение о катастрофическом положении высшей школы. Создается комиссия под председательством Н.Д. Зелинского для составления докладной записки в советские органы. Эту записку стоит процитировать:

«Стране угрожает перспектива опуститься на долгий срок в разряд второстепенных по культурности государств. Реальность этой опасности особенно очевидна стоящим у самого дела работникам по высшему образованию. Их долгом поэтому является своевременно привлечь к данному вопросу внимание правительства.

Угроза для уровня культуры заключается в том, что число как специалистов, так равно и вообще научных сил в стране быстро уменьшается. Армия культурных работников редет, а на смену им свежих сил нет и в близком будущем не предвидится. Конечно, вместе с этим ослабляется и биение научного пульса в жизни государства.

Жизнь высшей школы в стране замирает. Наскоро выращенные "специалисты", конечно, не смогут заменить тех интеллигентных деятелей, которые выпускались высшей школой. Если этими быстро сформированными силами некоторое время и можно обходиться для домашнего употребления, то всякие иллюзии рухнут при соприкосновении с иностранной культурой, потому что специальные поз-

нения, а не их суррогат приобретаются не иначе как продолжительным трудом и научной работой.

Недостаток в свежих научных и интеллигентных силах является, конечно, естественным следствием тяжелой войны, но еще в большей мере он вызывается условиями жизни последних лет, когда большинство молодых сил было лишено возможности заняться наукой. Постоянные призывы по мобилизации, с одной стороны, и исключительное возродожение жизни, с другой, отвлекают молодежь от приобретения знаний, и это в лучшие годы, когда они могут быть приобретены.

Необходимость существовать самому, а часто необходимость помочь существовать и близким, не дает возможности заниматься наукой. Аудитории высшей школы бывают полны только в первых семестрах, а затем тяжелые материальные условия гонят из них молодежь на заработки; в аудиториях же остаются не сотни студентов, а единицы.

Но что еще хуже, мысли о хлебе насущном в буквальном смысле отвлекают ум от мышления научного, столь необходимого для выработки будущих деятелей науки. Редуют одновременно и ряды старых научных деятелей. Те тяжелые материальные и моральные условия, в которых находились в последние годы работники науки, с различными лишениями, голодовкой, нравственными унижениями и пр. привели к тому, что и следовало ожидать: небывало большой смертности среди ученых. Потребовалось два года нужды, потребовалась преждевременная утрата ряда трудно заменимых научных сил, чтобы, наконец, был выдвинут на очередь вопрос о частичном материальном улучшении условий существования ученых. С другой стороны, государство потеряло немало научных сил и в результате эмиграции, вызванной, конечно, теми же вышеуказанными условиями существования, и это – тем более, что на русских ученых деятелей и специалистов существует спрос как из ближайших, так равно и из более отдаленных стран.

Но научная деятельность страдает не только от естественного уменьшения рядов ученых: научное творчество замирает и от естественных причин. Чтобы существовать самому и дать существовать семье, ученым приходится разменивать свои силы на заработки, зачастую с исполнением такого дела, которое могло бы быть исполнено и не учеными специалистами. Нельзя серьезно говорить о возможности существовать на штатное месячное содержание профессора в 4800 рубл., а преподавателя в 3600 рубл. На такие средства с семьей можно прожить, при современных ценах, 1–2 дня, но не месяц. И какие бы значительные меры против совместительства ни применять, логика жизни лишает их значения.

В частности, тяжелые условия существования вызывают уход ряда научных сил из столиц. Идут не только в провинциальные университеты, но и просто в мелкие провинциальные города, где жизнь и продовольствие дешевле, и где ученые, если они отказываются от своего прямого назначения служить науке, всегда находят применение

своим силам. При таких условиях русской действительности научная работа в ученых учреждениях и в высшей школе сильно уменьшена. и это тем более, что в том же направлении еще действуют и оторванность от европейской жизни и заграничной научной литературы, и научная разобщенность вследствие невозможности иметь свои научные органы и исчерпание получаемых из-за границы препаратов, и отсутствие приборов и аппаратов, не могущих быть изготовленными у нас, и т.п. и если наука еще не заброшена и огонек ее теплится, то это объясняется многолетней привычкой преданных своему делу научных работников; молодые же силы, посвящающие себя научной деятельности, при современных условиях жизни не многочисленны. А длительный перерыв в научных работах для молодых научных деятелей равносителен научной смерти» [184, л. 21].

Далее в докладной записке предлагаются некоторые меры, способные в какой-то мере выправить положение: создание дополнительных курсов для не имеющих среднего образования, интенсификация обучения подготовленных студентов, освобождение их от армии и других повинностей.

"Осуществление намеченных здесь мер, – говорится далее в записке, – конечно, возможно только при условии, если в высшей школе будет обеспечено и необходимое число ученых руководителей. Важнейшим условием для этой последней цели является предоставление руководителям возможности спокойной научной работы. Профессора и преподаватели, кроме случаев повелительной государственной необходимости, не должны быть отвлекаемы от своей научной работы ни мобилизацией, ни трудовыми повинностями. Персоналу этому должна быть обеспечена спокойная обстановка для работы, освобождением их, кроме случаев стратегической или действительно неустранимой необходимости, от выселения, уплотнения, реквизиции имущества и т.п. Затем должны быть приняты меры широкого содействия к восстановлению сношений с зарубежным ученым миром, к получению специальной литературы и т.п., так как без такого общения научная деятельность в стране называется отставшей. Следует проникнуться ясным сознанием, что нельзя требовать от научных деятелей длительного подвижничества. Надо твердо решить, нужны ли для страны научные силы, и если нужны, их необходимо обеспечить настолько, чтобы они могли оставаться деятельными учеными, не размениваясь в погоне за средствами к существованию на мелочи. В последний месяц значительному числу профессоров выдан паек. Во-первых, его необходимо выдать всему преподавательскому персоналу; а во-вторых, никто не станет питаться сам, оставляя счетом голодной. Во многих учреждениях служащим выдается паек со счетом на число находящихся на его иждивении едоков в семье. Нет, конечно, непреодолимых препятствий к распространению этой меры на семьи ученого персонала. Наконец, ввиду полного обесценивания денег, необходимо обеспечить этому персоналу получения натурой дров, одежды, белья, обуви и проч. необходимых вещей, ибо не отвечает достоинству никакого государства, чтобы в нем деятели науки ходили

чуть ли не в лохмотьях. Осуществление намеченных мер и между ними прежде всего повышение уровня знаний притекающих в школу молодых сил могло бы предотвратить общее понижение уровня культурности в республике. Время пока еще не потеряно. Восстанавливать же разрушенное впоследствии всегда приходится путем героических усилий. Быть может, поэтому целесообразно сохранить от разрушения то, что должно быть рассматриваемо как насыщенная потребность всякой страны, и что может быть создано лишь многолетними трудами и преемственностью. На это обстоятельство физико-математический факультет и полагает своим долгом просить теперь же привлечь внимание правительства" [184, л. 22].

Конечно, эта докладная записка ничего не изменила в положении ученых. Но она, как никакие другие документы той эпохи, показывает те чудовищно трудные условия, наперекор которым российские ученые жили, работали и учили.

27 февраля 1922 г. факультет опять рассмотрел вопрос о материальном положении профессоров и преподавателей. Была принята резолюция:

"Принимая во внимание:

1. Что материальное положение преподавателей высшей школы крайне тяжело в силу ничтожности вознаграждения и несвоевременности его выплаты и грозит сделаться совершенно невыносимым в ближайшем будущем.

2. Что финансовое положение высшей школы делает совершенно невозможным ведение в ней занятий и грозит разрушением учебно-вспомогательных учреждений.

Считаем необходимым изыскать со стороны общего совещания профессоров и преподавателей Московского университета решительных мер для выхода из создавшегося тягостного положения" [185, л. 4].

Конечно, никакие решительные меры не подействовали и 31 июня 1922 г. снова обсуждался вопрос о невыплате жалования за март.

Так жили профессора Московского университета, так жил и Вульф.

3

Тем не менее, в этот последний, самый тяжелый период своей жизни, Вульф выполнил целый ряд весьма интересных работ.

Мы уже говорили подробно о последних его структурных работах. Тяжелые условия не позволили проводить рентгеновские исследования в полном объеме, приходилось довольствоваться лишь минимально возможными экспериментальными результатами. Но и с их помощью Вульф делает интересные выводы относительно структур исследуемых кристаллов.

В смутные годы, когда нет возможности заниматься экспериментальными исследованиями, ученые обычно пишут книги и обзоры. Вульф тоже писал книги и обзоры, причем великолепные. Их цель –

познакомить коллег, лишенных в силу обстоятельств научной информации, с последними достижениями западной физики.

В 1920 г. в журнале "Научно-технический вестник" был опубликован его небольшой обзор [128], рассказывающий о применении рентгеновских лучей к определению химического состава твердых тел. Вначале он изложил некоторые способы кристаллографического определения химического состава, особо остановившись на кристаллохимическом анализе Федорова. Отметив трудности однозначной установки кристаллов низших сингоний и сугубо геометрический характер этого метода, Вульф противопоставил ему рентгенографический метод, разработанный Дебаем и Шеррером. В этом методе используется порошковообразный образец, в котором, в силу различной ориентации микрокристалликов, обязательно выполняется закон Вульфа-Брэгга. Рентгеновские отражения, в виде концентрических колец, будут нести информацию о решетке кристалла и о межплоскостных расстояниях. Сведя межплоскостные расстояния веществ в специальные справочники, можно с их помощью идентифицировать любое кристаллическое вещество.

Второй обзор посвящен применению рентгеноструктурного метода к изучению строения металлов [133]. Он начинается с интересной сентенции:

"Тяжелы были за последние годы условия работы русского ученого, немногим они легче и теперь. В лаборатории ему не было возможности работать из-за холода, отсутствия газа, электричества, реактивов. Реактивы мало-помалу расходовались, приборы изнашивались, но их не было возможности пополнить, так как границы были закрыты, а наши фабрики и мастерские не работали. Дома ученый не находил времени работать за необходимость все свое внимание сосредоточивать на материальных нуждах, на добывании хлеба в буквальном смысле слова, утомляясь ходьбой, тасканием тяжестей и пилкой дров. Теперь, казалось бы, стало легче – из-за границы стали понемногу получаться приборы, реактивы и книжки, есть возможность покупать припасы, однако же на все это не хватает денег. Прежняя отрезанность от мира удручала нас неизвестностью о том, что делается там, за стеною, в научном мире идей, ведущих человечество вперед, к завоеваниям природы. Теперь возобновившееся общение с этим миром удручает нас сознанием трудности поспеть за мировой работой, сознанием нашей отсталости и невозможности нагнать потерянное за отсутствием средств.

Однако же на фоне этой безрадостной и мрачной картины есть и светлые пятна, и тем ярче они выступают и тем отраднее они для зрения, чем мрачнее кажется общий колорит картины. Как бы ни были велики невзгоды русского ученого, он не отходит от любимой науки и делает, что возможно в его ослабевших силах для ее сохранения в своей Родине, столь нуждающейся в просвещении. Факт тот, что наука в России не только не погибла, но даже в некоторых областях была продвинута вперед. Доходящая до нас теперь из-за границы научная литература содержит очень интересные работы по вопросам, которые

были независимо поставлены и решены в России не менее оригинально и удачно, чем за границей, и у нас даже раньше, чем там. Мы должны с особым удовлетворением отметить такие случаи, и об одном из них я поведу речь в этой статье" [133, с. 3].

Вульф пишет о работе Н.Е. Успенского и С.Т. Конобеевского, которые с помощью рентгенографического метода изучили расположение кристаллов металлов в пластинках платины, алюминия, меди и железа.

Здесь же Вульф упоминает и о работе А.Ф. Иоффе и М.В. Кирпичевой, которые показали, что деформация кристаллов не сопровождается разрушением их кристаллических решеток.

Основная же часть обзора посвящена работам немецких ученых, в которых рентгенографическим методом показана ориентация кристаллической решетки в проволочных и ленточных образцах различных металлов. В этих работах было показано, что при деформации проволок наиболее плотные атомные плоскости располагаются перпендикулярно их осям. Причина этого совершенно не ясна, и Вульф предлагает свое объяснение. Если на массу металла действует растягивающая пара сил, то его частички, связанные между собой силами сцепления, будут не только растягиваться, но и поворачиваться. Чем больше расстояние между ними, тем легче повернуть эти частицы. Таким образом, при вытягивании проволок частицы будут располагаться вдоль сил на наибольших расстояниях. А наибольшие расстояния в кристаллах как раз перпендикулярны наиболее плотным атомным плоскостям. В пластинках будет совсем наоборот. Пластинки получают прокатыванием, при котором на их поверхность оказывается давление. Тогда силы, приложенные к частицам, направлены так, что они стремятся уложить связь между ними в плоскость пластинки и тем легче, чем она длиннее. Поэтому в плоскости пластинки расположатся наиболее длинные связи, а перпендикулярно к ней – наиболее короткие.

Большой обзор Вульфа посвящен успехам в изучении строения кристаллов рентгенографическим методом [143]. Это расширенный и дополненный обзор, написанный Вульфом в 1914 г. для "Handwörterbuch der Naturwissenschaften" [112]. В этой небольшой статье, написанной сразу после открытия дифракции рентгеновских лучей в кристаллах и первых структурных работ, Вульф использовал свои результаты, изложенные в статьях [100, 102].

В новом большом обзоре за 1922 г. он опять подробно описал опыты Фридриха, Книппинга и Лауэ, теорию отражения рентгеновских лучей от атомных сеток кристалла, развитую Брэггом, Терадой и самим Вульфом, а также некоторые принципиальные методические вопросы. Затем привел результаты изучения структур хлористого натрия, окисей кальция и магния, которые показали, что эти кристаллы построены из ионов. Далее описал простые структуры металлов (плотнейшая упаковка), графита, алмаза, магнетита, исландского шпата.

Интересна заключительная часть, озаглавленная "Общие критерии для установления структуры". Это собственные выводы Вульфа на основании доступного ему экспериментального материала.

Существуют два рода таких критериев, считает Вульф, – априорные и вытекающие из экспериментальных фактов. Априорные критерии очевидны – это внешняя форма и симметрия, на них Вульф не останавливается. Что же касается экспериментальных критериев, то их несколько. Первый – это факт построения изученных до сих пор кристаллов из ионов. Но отсутствие обособленных молекул в простых ионных кристаллах вызывает у Вульфа некоторое недоверие. Оно основывается на том, что, во-первых, при кристаллизации происходит разрушение химических молекул, но при этом происходит не поглощение энергии, а ее выделение в виде теплоты. Во-вторых, механическими силами мы не можем разрушить химические силы, но преодолеваем молекулярные силы, раскалывая кристаллы по плоскостям спайности. Последние (плоскости спайности), вероятно, проходят по границам атомов, сцепленных в молекулы. "Таким образом, – пишет Вульф, – если атомы и расположены в кристалле так, что нам неясны ограничения молекул, то это не должно значить, что таких молекул, в смысле распределения межатомных сил, не существует" [143, с. 251].

Конечно, ясно, что Вульфу, воспитанному на классической, рентгеновской кристаллографии, трудно сразу принять этот неожиданный вывод о ионном строении простых кристаллов и согласовать его с вековым опытом химии. Поэтому он с интересом обсуждает идеи некоторых кристаллографов о наличии в ионных кристаллах неких "молекулярных осей", по которым располагаются составляющие молекулы атомы. В структуре хлористого натрия – это пространственные диагонали кубической ячейки.

Следующий критерий – спайность. Плоскости спайности соответствуют наиболее слабо связанные между собой атомы, поэтому они должны проходить или между одинаковыми ионами, или между слоями, содержащими полное число составляющих молекулы атомов. Вульф исследовал этот вопрос специально и посвятил ему две работы.

Последний критерий следует из принципа плотнейшей упаковки – если атомы двух элементов оказываются связанными непосредственно в структурах различных химических соединений, то расстояние между ними всегда будет одинаково. Отсюда понятие о радиусах атомов и ионов. Их использование облегчает моделирование структур.

Если сравнить эти общие критерии с общими принципами, изложенными в [137], то легко установить их практическую идентичность.

В заключение Вульф пишет: "Если открытием дифракции рентгеновских лучей и ее применением к использованию строения кристаллов мы всецело обязаны иностранным исследователям, то все же можно указать ряд русских исследователей, внесших заметный вклад в эту область. Тут необходимо указать на работы А.Ф. Иоффе и М.В. Кирпичевой, работы Г.В. Вульфа и Н.Е. Успенского, Н.Е. Успенского и С.Т. Конобеевского и на работы Г.В. Вульфа. За последние годы оторванности России от внешнего мира эти исследователи

пришли к выводам, отчасти дополнившим, отчасти совпавшим с выводами, опубликованными в иностранной литературе, которой мы были совершенно лишены до последнего времени и которая и теперь еще поступает к нам крайне неправильно. Многие результаты работ русских ученых не могли быть опубликованы по условиям времени. Благодаря последнему обстоятельству, автор не уверен, что от него не ускользнули какие-либо существенные факты и теории, и он не может взять на себя ответственность за полноту своего очерка" [143, с. 254].

Вульф принял активное участие в подготовке 9-го (посмертного издания) двухтомного курса "Основы химии" Д.И. Менделеева. Это издание, вышедшее под редакцией акад. Д.П. Коновалова, было основательно дополнено самыми последними достижениями химии и смежных наук. Дополнения писали такие выдающиеся ученые, как А.Е. Чичибабин, В.Н. Ипатьев, А.В. Раковский, В.Г. Хлопин, Д.С. Рождественский, П.П. Лазарев, Н.С. Курнаков, И.А. Каблуков. Вульф дополнил раздел второго тома, посвященный изоморфизму [157], и заново написал раздел "Строение кристаллов" [156] для первого тома. Увы, эта книга вышла в свет уже после его кончины.

В 1922 г. журнал "Успехи физических наук" напечатал обзор "Физика и кристаллография" [136]. Это очень важная в идейном плане работа, ибо она, как никакая другая, ясно показывает взгляды Вульфа на основные понятия, лежащие в основе учения о кристаллах, на законы кристаллографии, на их связь с физикой кристаллов. Этой работой Вульф как бы подводит итог всей своей деятельности в области исследования кристаллов, причем не столько по фактическим результатам, сколько в концептуальном плане.

Обзор начинается с парадоксального утверждения, что "основным и исходным звеном всей физики кристаллов" является закон постоянства углов кристаллов, открытый в 1669 г. Николаем Стеноном. Этот тезис Вульф затем доказывает.

Стараясь быть предельно точным в основных определениях, он вводит понятие **среды и физического тела**. "**Мы называем средой, – пишет он, – то, что, заполняя пространство, делает в нем возможными физические явления**" [136, с. 17]. В частности, средой Вульф считает эфир*. Среда, по его мнению, безгранична. Если же она ограничена со всех сторон поверхностями, отделяющими ее от окружающего пространства, то такой участок среды Вульф называет **физическим телом** или просто **телом**.

Кристалл, ограниченный своими гранями, есть тело. Оно имеет правильную геометрическую форму и изучается **кристаллографией**. Но в основе кристалла лежит **кристаллическая среда**, и протекающие в ней физические явления могут не зависеть от его формы, например двупреломление, пьезоэлектричество и т.п. "По-видимому, – пишет Вульф, – **форма** кристалла не интересна для физика или может быть

* Признание Вульфом в 1922 г. эфира как носителя электрического и магнитного полей говорит лишь о том, с каким трудом пробивали себе дорогу новые представления о пространстве, времени и материи.

интересна лишь постольку, поскольку она может оказать помощь при изучении происходящих в кристалле явлений. В связи с этим, казалось бы, для физика не может быть интересна и наука о форме кристаллов, какой представляется на первый взгляд кристаллография" [136, с. 18]. Но это только на первый взгляд. Закон постоянства углов кристалла, основа кристаллографии, на самом деле определяет кристалл не как физическое тело, имеющее определенную **форму**, а как **среду**. Это следует из того простого факта, "что кристалл определяется не **формой**, а лишь **направлениями**, по которым на кристалле встречаются грани. Если определим **направление грани перпендикуляром, нормалью, проведенной к грани из какой-либо точки внутри кристалла, то кристалл определяется по закону Стенона совокупностью таких нормалей, заключающих между собою углы, характеристичные для кристаллов данного вещества. Длина этих нормалей вполне неопределенна: вполне безразлично, на каком расстоянии от выбранной внутри кристалла точки мы встретим грань, идя по данной нормали**" [136, с. 21]. Таким образом, закон постоянства углов "определяет кристалл как **среду неопределенного протяжения** и притом **среду анизотропную**" [136, с. 21].

Второй закон кристаллографии – закон целых чисел, тоже ничего не говорит о форме кристалла, а лишь о направлениях, связанных в одно целое пространственной решеткой. Значит, и решетка характеризует кристалл как **среду**, притом как **среду однородную и анизотропную**. Однородность вытекает из однообразного и правильного повторения узлов решетки в пространстве, анизотропия – из неодинакового расстояния узлов по рядам разного направления.

Решетка характеризует кристалл еще с одной важной стороны. По словам Вульфа, "**решетка есть симметрический образ**" [136, с. 23]. Поэтому каждый кристалл по своей природе – **симметричная среда**, в которой все симметрично расположенные направления должны быть **физически равнозначны**.

Ключевое положение – физические явления зависят от симметрии среды. Поэтому "кристаллография является вводной главой в форму кристаллов" [136, с. 25].

В заключение Вульф возвращается опять к вопросу о форме кристаллов. Он пишет о принципе Кюри–Гиббса, о своем принципе и заканчивает небольшим экскурсом в рентгенографию кристаллов. Это заключение как-то выпадает из общего построения обзора.

Итак, в этой работе Вульф сформулировал свое понимание кристалла как непрерывной, однородной, симметричной и анизотропной **среды**, в которой происходят те или иные физические явления. Эту мысль далее развивал и пропагандировал ученик Вульфа академик Шубников [389].

Интересно, что Вульф в обзоре не касается вопроса о симметрии физических явлений, вопроса кардинальной важности для кристаллофизики. В его книгах [82, 120, 124, 153] такой раздел есть, но он описывает только связи симметрии кристаллов с анизотропией некоторых физических явлений. Так, Вульф объясняет двойное лучепрелом-

ление аналогией с движением по вспаханному полю, когда движение в произвольном направлении раскладывается на перемещение вдоль и поперек борозды. Симметрию явлений в смысле Кюри [390] Вульф не затрагивает, и это странно, потому что работы Кюри он, конечно, знал.

Кюри предложил для описания симметрии физических явлений использовать предельные группы симметрии, содержащие оси бесконечного порядка. Так, симметрия деформации (сжатия и растяжения) в одном направлении описывается группой ∞/m , симметрия электрически поляризованного состояния – ∞/m , намагниченности – ∞/m и т.п. Тогда явление может существовать в среде, симметрия которой равна или является подгруппой группы симметрии физического явления (принцип Кюри). Например, спонтанной поляризацией могут обладать только кристаллы, принадлежащие к 10-ти группам: $1, 2, 3, 4, 6, m, mm2, 3m, 4mm, 6mm$, являющиеся подгруппами группы ∞/m .

Эти идеи Кюри возродил, пропагандировал и развивал Шубников. Он же стал систематически использовать для описания физических свойств кристаллической среды аппарат тензоров, введенный в кристаллофизику В. Фойгтом [223]. Благодаря работам Шубникова кристаллофизика приобрела современный вид точной, законченной в своих основах области физики.

Последний обзор Вульф написал по материалам доклада, прочитанного в Институте Научной Методологии, где было организовано обсуждение проблемы использования статистических методов в различных областях знания. Доклад назывался "Статистический метод в кристаллографии" [146], в нем изложены результаты ранней (1903 г.) работы [61] в широком контексте исторического развития кристаллографии. Статистические методы широко использовались на минералогическом этапе ее развития, когда кристаллы рассматривались как неделимые индивидуумы. Вульф, применив современные методы статистики, рассмотрел точное выполнение трех основных законов кристаллографии и нашел, что наиболее точно выполняется закон кратных отношений.

"Итак, мы видим, – писал в заключение Вульф, – что кристаллография являет яркий пример науки, в которой законы, выведенные статистическим путем, оказались настолько общими и исчерпывающими сущность ее предмета, что она обратилась в точную науку дедуктивного характера" [146, с. 84].

4

Последние годы жизни Вульфа были очень плодотворными. Он опубликовал несколько оригинальных работ в разных областях кристаллографии.

В начале 20-х годов Вульф написал две небольшие заметки по периодической кристаллизации (ритмическому росту). В те годы к этой теме был определенный интерес, вызванный работами в области получения периодических осадков, так называемых колец Лизеганга.

Периодическая кристаллизация салола была исследована в работе Шубникова и Мокрушина [391]. При начале кристаллизации в одной точке дальнейший рост осуществляется в виде концентрических валиков, состоящих из маленьких кристалликов. Сами кристаллики обладают закругленными гранями, их авторы называют "лодочками", хотя объяснить причину образования им не удалось.

Вульф заново проделал эти опыты и установил следующее [142]:

1. Закругленные грани он объяснил быстрым выделением большого количества тепла, медленное рассеяние которого препятствует регенерации "лодочек" в изометрические кристаллы.

2. Растущая "лодочка" покрывается множеством кристалликов и ее рост прекращается благодаря тому, что вокруг нее капля салола истощается, разрывается от стремления жидкости, с одной стороны, смочить растущие кристаллы, с другой – образовать краевой угол со стеклом. За этим пустым, весьма узким, но четко видимым пояском кристаллизация идет дальше, образуя кольца радиальных кристаллов, в свою очередь истощающихся и образующих новый пустой пояс, за которым опять начинается новое кольцо кристаллов.

Так объяснил ритмический рост Вульфа. Это объяснение стало общепринятым.

Еще в 1915 г. в журнале "Природа" была напечатана статья "Как растут кристаллы" [114]. В своей фактологической части эта статья популярно пересказывает докторскую диссертацию Вульфа с добавлением результатов, полученных Шубниковым, по влиянию пересыщения раствора на форму кристаллов квасцов. Однако последняя часть статьи содержит неопубликованные к тому времени результаты наблюдения над кристаллизацией холестерилацетата. Вульф приводит ее как пример так называемой периодической кристаллизации, когда вязкая жидкость, нагретая, при затвердевании не успевает подняться с кристалла вверх и процесс кристаллизации временно приостанавливается, пока слой не отдаст избыток своего тепла соседним слоям раствора. После чего кристаллизация возобновляется.

Вульф считал, что образовавшиеся при охлаждении расплава холестерилацетата сферолиты и есть следствие периодической кристаллизации. В доказательство он приводит микрофотографии сферолитов, на которых различима тонкая периодическая структура, состоящая из светлых и темных полос.

Эти результаты в более подробном виде были опубликованы в небольшой статье [149] уже после смерти Вульфа.

На самом деле в этом случае никакой периодической кристаллизации нет. Холестерилацетат является типичным жидким кристаллом так называемого холестерического типа. В неупорядоченном состоянии между предметным и покровным стеклами это соединение образует красочную конфокальную текстуру, очень похожую на сферолиты. Каждый конфокал состоит из слоев, в которых молекулы холестерилацетата располагаются по спирали с шагом порядка длины волны видимого света. В поляризованном свете она проявляется как периодическая полосатая структура, обладающая селективным отражением.

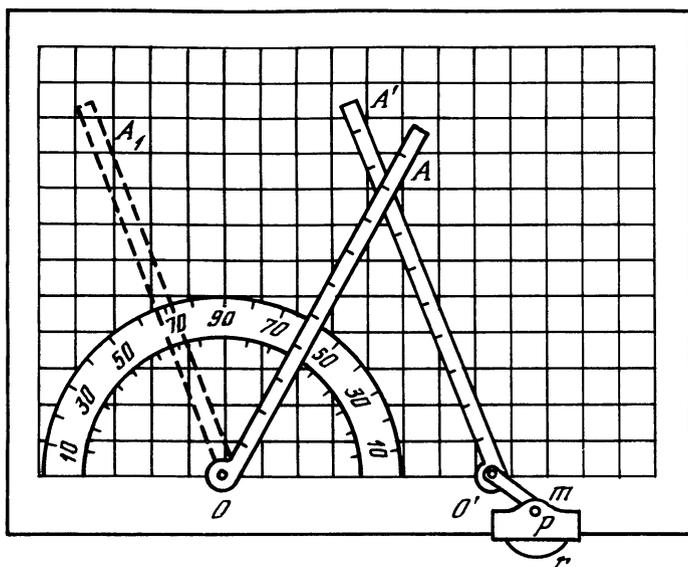


Рис. 30

Максимальная длина волны света в соответствии с формулой Вульфа–Брэгга лежит в видимой области и зависит от угла наблюдения. Этот эффект и наблюдал Вульф, хотя объяснил его результатом дифракции от решетки, образованной периодической кристаллизацией.

И наконец, последняя работа из этого цикла – маленькая заметка в одну страницу [150], которая вышла в свет тоже после смерти Вульфа. В ней идет речь о возможности получить периодическую кристаллизацию эвтектик, если оба вещества кристаллизуются при некотором переохлаждении или пересыщении. В этом случае кристаллизация начинается за точкой эвтектики, что поднимает температуру до необходимой для выделения второго вещества, которое начинает кристаллизоваться на первом веществе. Со вторым веществом произойдет то же самое и оно будет кристаллизоваться на первом веществе и т.д.

В области геометрической кристаллографии Вульфу принадлежит описание прибора для определения ретикулярных плотностей сеток пространственной решетки [144]. По сути дела это прибор для определения площади плоских фигур по заданным сторонам и углам. Он представляет собой доску с наклеенной координатной бумагой и две линейки, вращающиеся около своих концов (рис. 30). Одна из линеек – А вращается около определенной точки 0 основной (нулевой) горизонтальной прямой системы координат. Точка 0 считается нулевой точкой и служит в то же время центром двух конических полукругов, начерченных на координатной бумаге и разделенных на градусы. Кругов для удобства два. Деления линейки А нанесены на ее сторону, проходящую через ось вращения линейки, и нулевая точка делений

— А — В — А — В — А — В — А — совпадает с осью. По нижнему краю доски скользит обойма p , закрепляемая винтом r . Расстояние $00'$ определяет основание треугольника, линейки — его боковые стороны, точка пересечения ли-

Рис. 31

нейек — вершинку, противоположащую основанию. Сверху обойма прижимает к доске пружинку m , соединенную с обоймой так, что пружинку не только можно вращать, но немного перемещать поступательно в различных направлениях для того, чтобы направленный книзу штифт, которым снабжена на своем конце пружинка, можно было точно установить на определенное деление горизонтальной осевой линии и определить этим расстояние $0'$ оси вращения другой линейки A' , устроенной так же, как и первая. После закрепления обоймы и пружинки в соответственном месте линейка A' подводится под штифт пружинки m так, чтобы штифт вошел в углубление конца линейки и мог служить ее осью вращения.

С помощью такого простого прибора по известным углам и(или) сторонам параллелограмматической сетки легко определить величины площади образующих треугольников и, следовательно, величины ретикулярных плотностей.

В области структурной кристаллографии отметим работы Вульфа, раскрывающие природу спайности кристаллов. Первая заметка на эту тему была опубликована в 1920 г. в журнале "Physikalische Ztschrift" [131] и одновременно на русском языке в виде краткого реферата в "Сообщениях о научно-технических работах в республике" [127]. Позже более подробная версия была напечатана в ЖРФХО [140].

В этих работах Вульф впервые предложил и обосновал **химическую** теорию спайности. "Величина и направление спайности, — писал он, — должны быть объяснены величиной сил сцепления между частицами кристалла и изменением величины этих сил с направлением в кристалле" [140, с. 49]. Но, поскольку силы сцепления между структурными элементами зависят от взаимного их расположения, то нетрудно угадать, вдоль каких плоскостей силы сцепления будут слабыми.

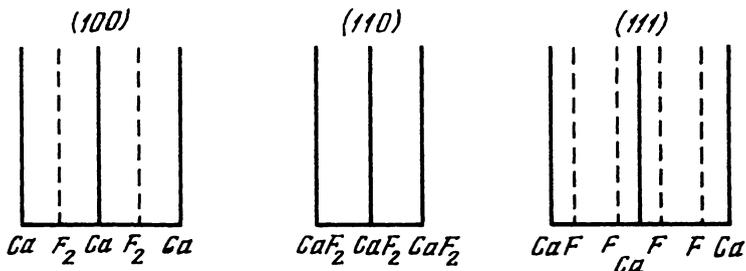
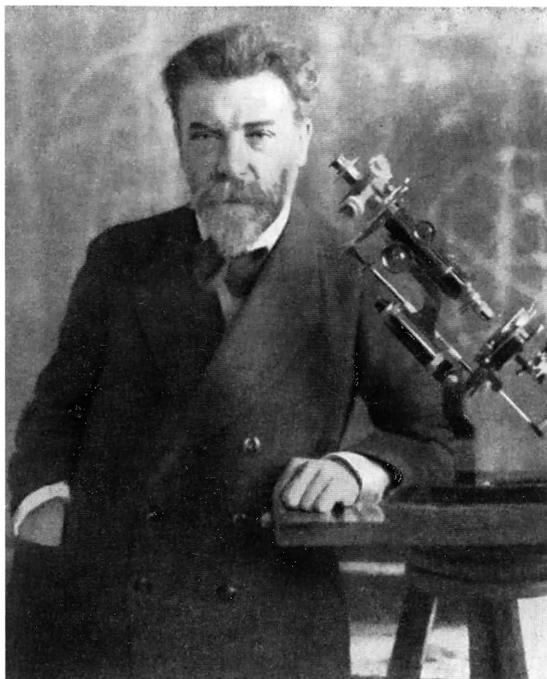


Рис. 32



Г.В. Вульф. Начало 20-х годов

В качестве простейшего примера Вульф приводит схему (рис. 31), на которой изображены две цепочки одновалентных атомов А и В. Легко сообразить, пишет Вульф, что в первой цепочке нет достаточных оснований разрываться в строго определенных местах. Вторая же цепочка имеет такое основание – она будет разрываться между атомами одного сорта.

Рассмотрев другие возможные схемы, он переходит к конкретным структурам, взятым им из книги Брэггов [359]. Первый пример – флуорит, на рис. 32 условно показано расположение атомов кальция и фтора в ряде плоскостей. Из схемы легко понять, что флуорит должен обладать спайностью по граням октаэдра (111) – по линиям связей однородных атомов фтора. Это направление спайности действительно наблюдается у флуорита.

Точно так же из структур Вульф находит плоскость спайности и у других кристаллов: исландского шпата, цинковой обманки, хлористого натрия и алмаза. Все они соответствуют экспериментально найденным.

Эта работа является великолепным примером творческого стиля Вульфа – с помощью очень простых, очевидных на первый взгляд предположений, без использования загромождающей смысл математики он умеет, как никто другой, поставить и решить кардинальную задачу, задачу, имеющую важное значение для кристаллохимии. Решив ее, Вульф внес существенный вклад в структурную кристаллографию.

Еще одну работу, на этот раз по кристаллооптике, Вульф доложил на заседании Физического общества им. Лебедева 23 февраля 1919 г. и опубликовал в "Научных известиях" [135]. Описанное им в этих сообщениях новое явление интерференции света и обращение спектров поглощения было опубликовано в 1913 г. [104]. С тех пор Вульф получил новые результаты, и в совокупности они составили предмет его доклада.

Он рассмотрел две тонкие двупреломляющие дихроичные пластинки одного и того же кристалла, положенные друг на друга в скрещенном положении между поляризатором и анализатором. При определенных условиях в белом свете такие пластинки будут пропускать свет с длиной волны, которая поглощается пластинками, т.е. произойдет обращение спектра поглощения с помощью интерференции. Яркость полос поглощения будет зависеть от величины дихроизма.

Теоретически предсказанное явление Вульф наблюдал на тонких пластинках слюды. Эта изящная работа выполнена в стиле лучших оптических исследований Вульфа.

5

Революция поломала уклад семьи Вульфов. Начались реквизирование имущества "буржуев", выселение их из своих квартир или, в лучшем случае, уплотнение. Профессор Вульф явно был "буржуем" и на снисхождение новой власти вряд ли мог рассчитывать. Но Вера Васильевна значилась как известная художница и Комиссия по охране памятников искусства и старины Московского Совета Рабочих и Солдатских депутатов выдала ей в конце 1918 г. охранную грамоту [186], в соответствии с которой квартира Вульфов на Новинском бульваре объявлялась ее мастерской и не подлежала реквизиции и уплотнению.

Разруха, холод, голод резко ухудшили состояние здоровья Веры Васильевны. Она была вынуждена перебраться в Песочное. Там она давала уроки музыки «буквально за кусок хлеба и питаться им в добавление к ничтожным местным "выдачам"» [163].

Георгий Викторович, из-за своих многочисленных служебных обязанностей в Москве, мог приезжать в Песочное только в воскресные дни. С транспортом было плохо – ходили пешком от станции Тарусская (17 км) или от Серпухова (34 км). Летом ходили пароходы, но они часто застревали на огромных отмелях и поэтому опять вернее было идти пешком. Вульф добирался от Серпухова с большим рюкзаком, в котором нес часть своего академического пайка, свечи и керосин. Летом это было еще сносно, но зимой... "Помню, – писал Вульф, – как я с младшей дочерью Поленова (Натальей Васильевной. – Прим. А.С.) тащили от Серпухова до Тарусы по вьюге салазки с пропитанием, я – жене, она – своей семье" [164, с. 59].

Но культурное подвижничество русской интеллигенции не смогли истребить никакие революции. Уже в 1919 г. и в Поленове и в Песочном возобновилась просветительская работа. В Поленове ставили пье-



Дача Вульфов в Тарусе

сы для окрестных крестьян, в которых они сами и участвовали [351]. Непременным участником этих спектаклей была Вера Васильевна. Часто после таких представлений ей приходилось возвращаться одной в Песочное глухими ночами за версту от города, по грязи или по глубокому снегу, слушая, как в соседнем лесу воют волки.

В Песочном Вера Васильевна каждую субботу устраивала музыкальные вечера.

Георгий Викторович писал в своих воспоминаниях об этом времени: «Вера Васильевна внесла с собой в Тарусу свет и теплоту искусства. Каждую субботу она устраивала у себя свои музыкальные "субботники", на которые собирались все, кто только любил музыку и хотел хоть на несколько часов уйти от суровой действительности. Круглый год, во всякую погоду, по крутому откосу берега Оки, по грязи и по глубокому



Гостиная дома в Тарусе, где устраивались музыкальные вечера

снегу тянулись к домику Веры Васильевны в субботу вечером вереницы тарусян слушать Баха, Бетховена, Скрябина, Медтнера, и в маленький домок набивалось человек до 70-ти» [163, с. 31].

А вот что писала об этих "субботниках" О.В. Берви: «Особенно ценный, незабываемый вклад сделала Вера Васильевна, живя в Тарусе почти безвыездно зиму и лето с 1917 по 1922 год, в ту легендарную эпоху, когда родились "субботники". Вера Васильевна отозвалась на этот призыв музыкальными субботами у себя дома, их было более двухсот. Программы, написанные ее рукой, хранятся в Третьяковской галерее. Она знакомила слушателей с серьезной классической музыкой Баха, Бетховена, Шопена, Шумана, Брамса, Рахманинова, Чайковского. Приходили все желающие, знакомые и незнакомые, и всех встречала хозяйка дома приветливой улыбкой. Особенно радовались Вульфы, когда приходил кто-нибудь из соседних крестьян.

Все знали, что каждую субботу, ровно в 7 часов вечера, Вера Васильевна открывает крышку пианино, ставит ноты на пульт (она всегда играла по нотам), зажигает свечи и садится играть при любом количестве слушателей, во всякую погоду. Все это знали и тянулись к домику и в дождь, и в гололед, и в зимнюю стужу, и в метель. Были такие, что не пропустили ни одной субботы. Художник Шитиков Василий Дмитриевич, учитель Успенский Александр Николаевич, врачи, учителя, художники, служащие ждали этих вечеров, как отдыха» [170, с. 2].

В этих концертах принимал участие и Георгий Викторович. «Обладая небольшим, но приятным баритоном, он принимал участие в вечерах и с большой душой исполнял романсы Шумана, Шуберта,



Вера Васильевна Вульф

Чайковского. Особенно прочувствованно звучал в его исполнении романс Шумана "Во сне неутешно я плакал", как будто Юрий Викторович предчувствовал, что ему придется перенести смерть обожаемой им Веры Васильевны; он пережил ее только на два года.

В заключение вечера Юрий Викторович всегда пел "Марсельезу" на французском языке» [170, с. 3].

Культурная работа, которую проводили Поленовы и Вульфы, не гарантировала их самих от притеснений, а их усадьбы-музеи от разорения. Они стали хлопотать перед властями о придании усадьбам официального статуса музеев. Первым это удалось Поленовым – их дом стал музеем, а его охрана официально была поручена семье Поленова. Музей-усадьба В.Д. Поленова существует и поныне [392].

«Вера Васильевна обратилась в Отдел музеев с просьбой взять под защиту и ее домик, превратив его в музей Борисова-Мусатова, и поручить ей охранять его, – пишет в своих воспоминаниях Георгий Викторович, – это приняли и дали даже Вере Васильевне небольшую сумму денег, хватившую на застекление двух десятков репродукций с

картин Мусатова, вырезанных из "Золотого Руна"* и других изданий, и дали два оригинальных небольших офорта. Поленов пожертвовал этуод с могилы художника. Застекленные картины были размещены на стене у того места, где, лежа на полу, работал художник. На террасе дома был изображен венок с надписью внутри, что здесь жил, работал и умер художник Борисов-Мусатов» [164, л. 64].

Так Вульфы прожили самые тяжелые годы. С зимы 1922 г. начала оживать Москва и художники, артисты и писатели потянулись из провинции в столицу. Вера Васильевна тоже часто ездила в Москву и выставляла свои работы на Художественно-промышленной выставке и на вернисаже объединения "Союз". В начале октября 1923 г. в Москве Вера Васильевна заболела, ей сделали операцию по поводу аппендицита, но, видимо, поздно, и 23 октября она скончалась [187].

Вера Васильевна завещала похоронить себя в Тарусе, на высоком берегу Оки, рядом с могилой Борисова-Мусатова.

Георгий Викторович тяжело переживал смерть жены. По воспоминаниям его учеников, он заметно постарел, стал задумчивее, однако продолжал работать с прежней энергией.

Он приложил большие усилия к сохранению художественного наследия Веры Васильевны. Еще в 1919 г. Вульф переоформил в исполкоме Тарусы аренду на Песочное. Сам музей В.Э. Борисова-Мусатова получил официальный статус, но за аренду дома исполком назначил совершенно непосильную для Вульфа плату. По этому поводу он обращался к заведующему музеями Калужской губернии Малинину [188]. Чем кончилось это дело – неизвестно. Но известно, что после смерти Георгия Викторовича музей в Песочном прекратил свое существование и сам дом был разрушен.

После смерти жены Георгий Викторович заключил договор с известным искусствоведом И.В. Евдокимовым о написании им монографии о творчестве Веры Васильевны [190]. Для этой цели Георгий Викторович зимой 1924 г. и весной 1925 г. записал и передал Евдокимову свои воспоминания о жене, которые мы неоднократно цитировали [163, 164]. Монография объемом 2,5 печатных листа была написана и иллюстрирована photographиями лучших произведений художницы [172]. Она была сдана в Главлит 2 июля 1925 г. [191]. Разрешение Главлита было получено, но монография так и не вышла в свет. По-видимому, это произошло вследствие кончины Георгия Викторовича. С тех пор о творчестве В.В. Вульф практически не вспоминали. Лишь в 90-е годы ее оригинальные картины и ее жизнь стали предметом пристального внимания искусствоведов [255, 393].

6

Георгий Викторович пережил жену на два года. Еще в 1924 г. он был здоров и полон сил. Осенью он уехал в заграничную командировку от ВСНХа, побывал в Германии, Англии и Франции. В Париже он сде-

* Ежемесячный художественный и литературно-критический журнал символистов, выходивший в 1906–1909 гг. – *Прим. А.С.*



Последняя фотография Г.В. Вульфа

лал доклад о своих последних работах. Встретился со всеми выдающимися европейскими кристаллографами: Ринне, Лауэ, Брэггами, Майерсом, Баркером, Фриделем, Могеном. Везде ему был оказан теплый и сердечный прием.

Вернувшись в начале 1925 г. домой полным творческих планов, Вульф энергично включился в работу. Однако уже летом 1925 г. Георгий Викторович почувствовал первые признаки болезни – боли в почках. «В начале июля Георгий Викторович уехал на свою дачу в Тарусе, где он подолгу работал, отдыхая от сутолоки московской жизни, – пишет в воспоминаниях Флинт. – Вскоре к нам пришло от него совершенно неожиданное письмо, которое начиналось словами: "Уже вторую неделю валяюсь в больнице Красный Текстильщик в Серпухове"... При первом же улучшении Юрий Викторович перебрался опять в Тарусу и вскоре приехал в Москву. Здесь он принял самое деятельное участие во встрече иностранных ученых, приехавших в СССР по случаю юбилея Академии наук. У него даже хватило энергии на то, чтобы поехать в Ленинград на самые юбилейные торжества» [202, с. 374].

В рамках этих торжественных мероприятий Вульф организовал специальное заседание Предметной комиссии по кристаллографии Московского университета, на котором присутствовали прибывшие на празднование иностранные ученые. Сам Вульф выступил на заседании с докладом, сопровождавшимся эффектными демонстрациями.

Однако боли усиливались, Георгий Викторович стал неузнаваемым. Флинт пишет: "Эта перемена касалась не только его внешности. Появилось какое-то совершенно несвойственное ему безразличие и равнодушие ко всему окружающему, какое-то углубление в себя" [202, с. 374].

Рентгенографическое обследование, проведенное в Университетской клинике доктором Н.М. Кудрявцевой, выявило большую опухоль (гипернефрому) на правой почке. По-видимому, она образовалась в результате рентгеновского облучения, которому Вульф подвергался длительное время в течение своих рентгеноструктурных исследований.

Как последнее средство оставалась операция. "Всего за несколько дней до операции, – пишет Флинт, – Юрий Викторович ездил в бывший Университет Шаняевского. Предлогом для поездки была передача остатков имущества кристаллографической лаборатории. Но в сущности ему, по-видимому, просто хотелось в последний раз побывать в том помещении, с которым у него было связано так много самых хороших воспоминаний. Что это было в последний раз, он чувствовал вполне определенно, так как рентгеновские снимки с почечной области обнаружили тяжелую, даже почти безнадежную форму заболевания. Самому Юрию Викторовичу это было вполне ясно, и он мужественно и молча готовился к смерти. При последнем посещении своей лаборатории в Минералогическом институте он выразил желание, чтобы его приборы и библиотека остались в Московском университете" [202, с. 375].

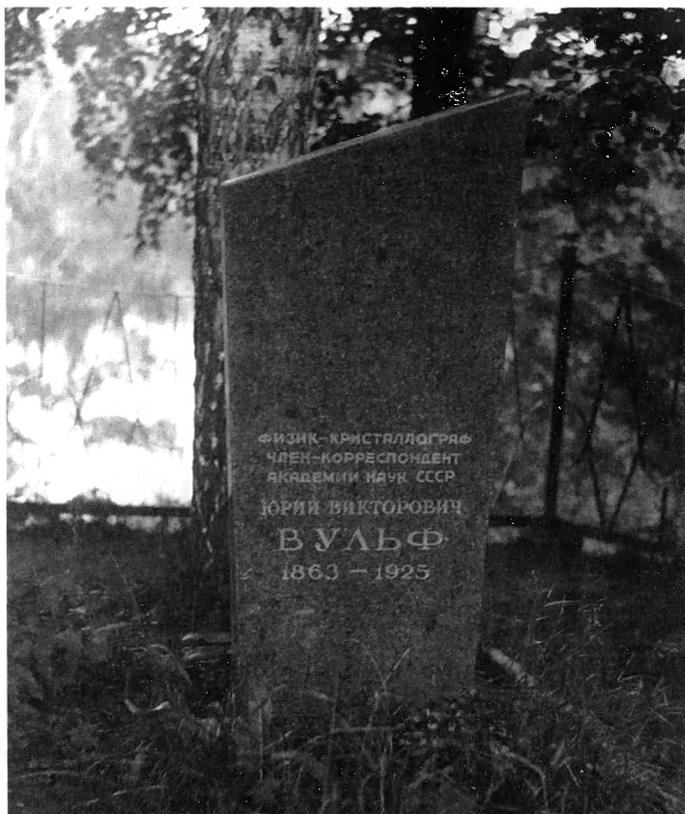
Незадолго до операции 13 декабря Вульф твердым почерком на клетчатом листке из тетради написал короткое завещание: "Похоронить меня в Тарусе рядом с женой. Никаких венков не возлагать и никаких речей не произносить" [192].

18 декабря в Университетской госпитальной клинике ему удалили правую почку. Появилась надежда, но она быстро угасла. Оставшаяся почка стала отказывать и утром 24 положение больного врачи признали безнадежным.

Георгий Викторович скончался в ночь с 24 на 25 декабря 1925 года. Похоронили его, согласно его воле, в Тарусе, рядом с могилой жены. Тогда это было довольно большое кладбище, примыкающее к Ивановской церкви. Могилы Вульфов находятся в дальнем его конце на самом краю откоса к Оке. С этого места открывается дивный вид на Оку и заокские просторы, которые так любили Вера Васильевна и Георгий Викторович. На могилах стояли простые деревянные кресты.

Со временем кладбище застраивалось и сейчас полностью исчезло. Остался лишь пятачок над откосом, на котором сохранились могилы Вульфов (там же позднее похоронили и их сына пианиста Владимира), Борисова-Мусатова и его сестры. Эти могилы охраняются местной администрацией. На могиле Георгия Викторовича в 1963 г. Академия наук поставила скромную гранитную стелу.

Смерть Г.В. Вульфа явилась большой потерей для всей отечественной науки. В статье, посвященной его памяти, Е.Е. Флинт писал:



Памятник на могиле Г.В. Вульфа в Тарусе

"За последние годы русская кристаллография понесла одну за другой две тяжелые потери: в 1919 г. умер Е.С. Федоров, в 1925 г. скончался профессор 1-го МГУ Юрий Викторович Вульф. Оба эти ученые возглавляли два основных течения кристаллографии – геометрическое и физическое – и стояли на исключительной и одинаковой высоте" [203, с. 6].

Действительно, эти два выдающихся ученых составили славу отечественной кристаллографии прошлого века. Оба они, каждый в своей области, добились выдающихся успехов, во многом определивших развитие мировой кристаллографии в текущем столетии.

Особо остро потерю учителя переживали ученики Георгия Викторовича. Вот что писал Успенский в некрологе: "Нам остался лишь образ человека, который всю свою жизнь был предан научной работе, который был до своей смерти по-молодому чуток к новым течениям научной мысли, который к каждому вопросу подходил своеобразно, обязательно внося в него что-то свое, который всегда много работал и отличался богатым творчеством, который, независимо от обстоя-

тельств своей личной жизни, делал все новые и новые работы, образ человека, который для нас тесно связан со всеми научно-общественными начинаниями в области физики" [194, с. 26].

Некрологи и сообщения о смерти Вульфа были напечатаны во всех кристаллографических и минералогических изданиях [194, 201–203, 394, 395].

Памяти Вульфа было посвящено годовое (1926 г.) собрание Московского физического общества им. Лебедева (где Вульф до последних дней был председателем) совместно с Рентгенологическим обществом [396]. На собрании были заслушаны доклады, отражающие основные направления его творчества. Флинт подробно рассказал об учителе и о его работе в области геометрической кристаллографии. Млодзеевский выступил с докладом: "Работы Вульфа по кристаллографии". Успенский осветил работы Вульфа в области рентгеновской кристаллографии, и Васильев поделился своими воспоминаниями о лаборатории Вульфа с 1913 г. до последних дней его жизни.

Институт прикладной минералогии и металлургии почтил память Вульфа выпуском специального сборника работ рентгено-технической лаборатории [397]. В нем были опубликованы "работы, выполненные или начатые при покойном основателе и заведующем лабораторией профессоре Юрии Викторовиче Вульфе" [397, с. 1]. Некоторые работы были выполнены еще в 1918–1920 гг. и не опубликованы "по различным обстоятельствам, главным образом экономического характера". "Тем не менее мы считаем, – говорится в предисловии, – что опубликование этих работ интересно как в историческом отношении, так и с точки зрения характеристики той рентгено-исследовательской Лаборатории покойного Ю.В. Вульфа, в которой производились его работы с 1912 по 1926 г. В этой Лаборатории почти все приборы и аппараты, употребляемые в современной рентгенокопии, были сконструированы и изготовлены в имевшейся в Лаборатории небольшой мастерской. При этом некоторая часть аппаратуры для работ с рентгеновскими лучами в более ранний период (1912 г. и 1913 г.) была изготовлена лично проф. Ю.В. Вульфом. Позднее его сотрудники уже всецело освободили своего руководителя от работы на станке и верстаке, создавая необходимую экспериментальную обстановку самостоятельно.

Заслуги покойного проф. Ю.В. Вульфа становятся, таким образом, еще ярче, если принять во внимание, что им сделаны не только теоретические выводы мирового значения, но и самая подготовка к осуществлению этих выводов была им выполнена лично в мастерской, в обстановке простого мастера-механика" [397, с. 1].

Открывался сборник большой статьей Флинта "Памяти Юрия Викторовича Вульфа", которую мы уже неоднократно цитировали [203]. Там же были опубликованы работы Вульфа [147–151].

После его кончины переиздали его книги – учебник "Основы кристаллографии" [152] и "Кристаллы, их образование, вид и строение" [153]. Вышла и книга Брэгга "О природе вещей", к которой Вульф написал предисловие.

С годами все яснее становилась выдающаяся роль Вульфа в развитии кристаллографии и кристаллофизики. Ему посвящались статьи и целые главы в монографиях по истории отечественной физики [198–200, 206]. В 1952 г. в свет вышел сборник избранных работ*, в который вошли его докторская диссертация, основные работы по рентгенографии и симметрии, а также книга "Симметрия и ее проявление в природе". Книга сопровождалась небольшим биографическим очерком и примечаниями, написанными А.Б. Млодзеевским. Кроме того, в ней приведен хронологический список работ Вульфа, составленный Г.Г. Леммлейном и В.А. Кирсановым и впервые опубликованный в [398]. Этот список является дополненным и расширенным списком работ Вульфа, составленным еще в 1939 г. Р.И. Гухман [399]. Эти оба списка, к сожалению, оказались неполными и об истинном творческом наследии Вульфа теперь можно судить лишь по перечню работ, приложенному к настоящей монографии.

* *Вульф Г.В.* Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952.

Заключение

Георгий Викторович Вульф – один из лучших представителей российской интеллигенции конца прошлого века. Если говорить только об ученых, то к его кругу принадлежали такие выдающиеся личности как Вернадский, Лебедев, Зелинский, Курнаков, Ипатьев, Чичибабин, Иоффе и многие другие, чьи высокие моральные качества, талант и преданность науке составляют гордость нашей культуры.

"Георгий Викторович был цельной, самостоятельной личностью, которая, несомненно, лишь отчасти нашла свое выражение в его широкой научной и научно-общественной деятельности, – писал Успенский. – По своей природе это была сильная творческая натура, которая постоянно давала все новые и новые свежие ростки от основного крепкого ствола. Жизнь его, как жизнь большинства русских ученых, имела много перемен и изломов, которые мешали ему целиком проявить свою натуру" [194, с. 17].

Вот в этой нереализованности своей натуры видится причина глубокого профессионального интереса Вульфа к искусству – музыке, театру, вокалу, художественной фотографии. В этом и страсть к путешествиям и альпинизму. "Эта широта интересов, – писал Млодзевский, – создавала в нем живой отклик на окружающую жизнь, с которой его научное творчество составляло гармоническое целое. Действительно, разносторонность его интересов создавала в нем остроту впечатлений, из которых возникали новые мысли, находившие свое выражение в его научном творчестве" [199, с. 206].

Этими качествами и определялся научный стиль Вульфа. Шубников писал: "Юрий Викторович не принадлежал к столь распространенному в настоящее время типу ученых, которые приобретают известность в науке не только своим умственным превосходством над окружающими, но в значительной мере, а иногда почти исключительно, другими весьма полезными качествами: усидчивостью, организаторскими способностями, умением сосредоточиться на одной определенной идее, не разбрасываясь по сторонам. Все это играло у Юрия Викторовича второстепенную роль и компенсировалось иногда с большим избытком удивительной способностью ориентироваться в новых для него областях, осваивать необходимый темп, попадать, как говорится, в самую точку. Особенно его увлекали только такие вопросы кристаллографии, которые выдвигались наукой как ударные" [394, с. 5]. И добавляет далее: "Не обладая достаточным терпением, Юрий Викторович не любил усидчиво собирать и классифицировать факты, рыться в книгах, вникать в историю изучаемых им вопросов и, тем не менее,

природный дар ориентироваться в дебрях науки всегда выводил его на правильный путь" [394, с. 7].

Эта способность улавливать самые важные, ключевые проблемы в науке в сочетании с необыкновенной научной интуицией позволяли Вульфу всегда находиться на самых передовых рубежах кристаллографии. На заре своего творчества он верно угадал большие перспективы, открывавшиеся перед физикой в связи с обнаружением братьями Кюри явления пьезоэлектричества. Он одним из первых уловил тогда еще неясные возможности, которые дают оптические свойства кристаллов для изучения их структуры. Его пионерские работы в области роста кристаллов в своей важной части базировались на прошедшей незамеченной большинством физиков работе Кюри, которую Вульф первым понял и оценил по достоинству. И наконец, он одним из первых понял значение опытов Фридриха и Книппинга, поставленных для доказательства электромагнитной природы рентгеновских лучей, для структурной кристаллизации.

Еще одной из важных сторон творчества Вульфа является его способность к фундаментальным обобщениям. И здесь у него были характерные особенности. Шубников пишет: "Не имея возможности самому или с помощью учеников проделать всю подготовительную работу для важных научных обобщений, Юрий Викторович принужден был ждать, когда эта работа будет сделана на стороне, и тогда выступал со своим кратким, веским и иногда резким последним словом" [394, с. 7].

Это замечание Шубникова нуждается в пояснении. "Важные научные обобщения" редко делаются на базе работ одного ученого или его школы. Они, как правило, являются следствием анализа результатов большого числа предшествующих исследований. Шубников же имел в виду те обстоятельства, что, работая в самых разных областях кристаллографии, Вульф не стремился накопить собственные разнообразные и обширные экспериментальные и теоретические данные в какой-то одной области для последующего обобщения.

Все обобщающие работы Вульфа базировались на всем предыдущем опыте кристаллографии. Так было с выделением плоскости симметрии, так было с построением теоретического габитуса кристаллов, так было с общим принципом строения кристаллов и так было с определением кристалла как среды.

Но, в то же время, установление точности выполнения законов кристаллографии базировалось на собственных измерениях Вульфа. На собственных экспериментальных данных основывалось обобщающее положение относительно скоростей роста и растворения кристаллов.

Таким образом, сила творческого обобщения Вульфа находила проявление в разных формах.

Вульф, как и большинство крупных физиков того времени, был и теоретиком, и экспериментатором. Как в молодые годы, так и в зрелом возрасте он выполнял все эксперименты сам, того же требовал и от своих сотрудников.

«Если тема работы была такова, что для ее выполнения была необходима специальная аппаратура, и купить эту аппаратуру было почему-либо невозможно, то ее надо было сделать самому, – пишет Флинт. – Он (Георгий Викторович. – *Прим. А.С.*) часто повторял известную парадоксальную фразу П.Н. Лебедева: "физик должен уметь пилить топором и рубить пилой". Сам Юрий Викторович в этом отношении подавал своим сотрудникам прекрасный пример. Он одинаково хорошо владел как напильником и рубанком, так и токарным резцом. Многие его изобретения были осуществлены им лично, и механическая мастерская была необходимой принадлежностью его лабораторий как в университете, так и в НТО» [203, с. 11].

Добавим к этому, что Вульф впервые начал широко использовать в кристаллографическом эксперименте фотографию и ее стереоскопический вариант.

Георгий Викторович Вульф прожил недолгую жизнь. Смерть настигла его в пору творческой зрелости, когда только начали улучшаться материальные условия, необходимые для реализации его творческих планов. А они были обширны и глубоки. На первом месте, конечно, стояли работы в области изучения структуры кристаллов рентгенографическим методом. Большие планы вынашивал Вульф и в отношении изучения физических свойств кристаллов. Самому Вульфу не суждено было их реализовать. Но эти направления стали генеральными в развитии отечественной кристаллографии, и в этом несомненная заслуга его непосредственных учеников.

Их, увы, не много, ибо Вульф не был ученым-организатором, таким как Лебедев или Иоффе. Но он и не был ученым-одиночкой, как его пытаются представить некоторые его ученики. "Юрий Викторович был одинок в науке, – пишет Шубников. – Задать тему своему ученику было для него истинным мучением. Я могу дать своему ученику, говорил покойный, только такую задачу, решение которой мне уже известно" [394, с. 7].

"Юрий Викторович принадлежал к числу научных работников-одиночек, и после него не осталось крупной школы", – вторит Шубникову другой непосредственный ученик Вульфа Флинт [204, с. 68]. И тут же перечисляет ученых "школы Вульфа": А.В. Шубникова, М.Г. Богословского, К.В. Васильева, С.А. Вейберга, А.Н. Лямину, О.И. Морошкину, Е.Е. Флинта, А.Б. Млодзеевского, О.М. Шубникову, Н.Е. Успенского, С.Т. Конобеевского.

Понять это противоречие можно только так – в силу своего характера Вульф не опекал своих сотрудников по мелочам, не поучал и не натаскивал, он предлагал работать вместе или рядом, обучая собственным примером, своим подходом к делу, своими методами и приемами. Поэтому его сотрудники сохраняли свою самостоятельность в широком смысле этого слова, они не подавлялись авторитетом учителя, с мнением которого следовало постоянно сверять все свои действия. Отсюда, очевидно, и возникало ощущение отсутствия школы. Далее, еще одно важное обстоятельство. Из больших школ выходит много совместных работ руководителя с учениками. А из 159 научных ра-

бот Вульфа лишь 5 написаны в соавторстве: учебное пособие [145] совместно с Шубниковым, две рентгенографические работы [108, 109] совместно с Успенским, об экранах для рентгеновского анализа [130] совместно с Богословским и о жидких кристаллах [97] совместно с Дейшей. При этом в тексте четко оговаривается, что сделал каждый соавтор.

Что же касается тем, которые учитель обычно задает ученику, то Вульф всегда считал, что истинное творчество начинается именно с выбора темы для будущего исследования и он должен быть самостоятельным.

Ближайшими учениками и продолжателями научных традиций Вульфа можно считать прежде всего троих: Шубникова, Флинта и Вейберга.

Алексей Васильевич Шубников (1887–1970) после смерти Г.В. Вульфа развивал его кристаллофизическое направление и направления, связанные с изучением симметрии кристаллов. Он закончил начатое учителем "перемещение" кристаллографии от минералогии к физике не только фактически, но и организационно – созданная им Лаборатория кристаллографии АН, первоначально находившаяся в Отделении геолого-географических наук, его стараниями была передана в Отделение физико-математических наук. В 1943 г. Лаборатория была преобразована в Институт кристаллографии АН. Сбылась мечта Вульфа – возник самостоятельный институт физического профиля для изучения всех свойств кристаллов.

Академик Шубников возглавлял Институт кристаллографии с момента его образования до 1962 г. Сейчас Институт носит его имя.

В области кристаллофизики основные работы Шубникова принадлежат к тем же направлениям, в которых работал Вульф – пьезоэлектричество и оптика кристаллов. Шубников с сотрудниками открыл новый класс кристаллических пьезоэлектрических материалов – пьезоэлектрические текстуры, он также много сделал для разработки методов выращивания, обработки и изучения пьезоэлектрических свойств кристаллов кварца. Кристаллооптика обязана Шубникову четким пониманием связи морфологической симметрии с оптическими свойствами кристаллов.

Учение о симметрии было дополнено Шубниковым понятием об антисимметрии, оказавшимся чрезвычайно важным при изучении физических свойств кристаллов. Развитие этих идей привело к обобщению учения о пространственной симметрии кристаллов, выразившемуся в введении бесконечных шубниковских групп цветной симметрии.

Шубников оставил после себя большую школу кристаллофизиков. В 1953 г. он организовал на физическом факультете МГУ кафедру физики кристаллов – первую кафедру такого профиля в нашей стране. За все эти годы она выпустила более сотни квалифицированных кристаллофизиков – научных "внуков" Вульфа.

Направление, связанное с геометрической кристаллографией, развивал другой ученик Вульфа проф. Евгений Евгеньевич Флинт

(1887–1975) [400]. После смерти Вульфа он стал читать в МГУ все кристаллографические курсы. В 1938 г. Флинт перешел в Институт кристаллографии, в котором и работал до конца жизни. Кроме того, он преподавал в Геологоразведочном институте.

Флинт стремился сохранить и развить все важное и ценное, что было создано Вульфом в области геометрической кристаллографии. Основные его работы касаются гониометрии. Им созданы первые отечественные гониометры – три модели теодолитных и одна шлифовального, отличающаяся большей стабильностью установки. Флинт усовершенствовал методы обработки результатов измерения кристаллов и методику их черчения. Он продолжил работы Вульфа по установлению точности законов геометрической кристаллографии (закона постоянства углов кристаллов). Широко известна педагогическая деятельность Флинта – он автор нескольких практических руководств и учебников по геометрической кристаллографии, автор каталогов пирро- и пьезоэлектрических твердых кристаллов.

Ученик Вульфа проф. Сигизмунд Александрович Вейберг (1872–1944) развивал направление, связанное с ростом кристаллов [217]. После отъезда из Варшавы Вульф рекомендовал его в качестве своего преемника. Вейберг проработал в Варшаве до 1912 г., после защиты докторской диссертации он был приглашен во Львовский университет. Там он открыл специальную кафедру кристаллографии, вторую в России после кафедры Федорова в Горном институте. В 1933 г. уже в Польше Вейберг вернулся в Варшавский университет. Он погиб во время Варшавского восстания в августе–сентябре 1944 г.

Мы уже говорили выше о его работах по скорости роста и растворения кристаллов. Эти работы продолжались в исследованиях физико-химического равновесия при кристаллизации из водных растворов смешанных кристаллов переменного состава. Позже Вейберг выполнил интересные работы в области экспериментальной минералогии и изоморфизма. Он написал несколько учебных пособий по минералогии, кристаллографии и кристаллооптике.

Вейберг открыл первый пример кристалла, принадлежащего к инверсионно-примитивному (тетраэдрическому) виду тетрагональной сингонии (группа 4). Это был синтезированный им алюмосиликат кальция ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$). Симметрия этого кристалла была им определена с помощью фигур травления.

Шубников, Флинт и Вейберг, в свою очередь, каждый в своей области, оставили после себя своих учеников, те – своих, и уже четвертое поколение кристаллографов и кристаллофизиков, ведущих свое научное происхождение от Георгия Викторовича Вульфа, продолжает развивать и углублять его идеи в области строения и физических свойств кристаллов.

Библиография

Работы Г.В. Вульфа

1. Предварительная заметка об электрических свойствах кварца // ЖРФХО. Часть физ. 1884. Т. 16, № 3. С. 140–141.
2. О кристаллах дифенилпараоксилиметана $\text{CH} \cdot \text{C}_8\text{H}_9 \cdot 2(\text{C}_6\text{H}_5)$, приготовленного В.А. Гемилианом // Варшав. унив. известия. 1885. № 4. С. 1–6.
3. Опытное исследование электрических свойств кварца // Там же. 1886. № 3. С. 1–17.
4. К вопросу о строении кристаллов, вращающих плоскость поляризации // Там же. № 9. С. 1–19.
5. Новый способ измерения угла вращения плоскости поляризации: (Предварительное сообщение) // ЖРФХО. Часть физ. 1886. Т. 18, № 1. С. 123–124.
6. Два новых способа измерения угла вращения плоскости поляризации // Варшав. унив. известия. 1887. № 3/4. С. 1–35.
7. Простой способ определения высоты плотных кучевых облаков // Вестн. опыт. физики и элементар. математики. 1887. № 27. С. 51–54.
8. К теории вращения плоскости поляризации // ЖРФХО. Часть физ. 1887. Т. 19, № 1. С. 13–16.
9. Компенсатор для измерения угла вращения плоскости поляризации // Там же. 1888. Т. 20, № 1. С. 20–25.
10. Измерение угла встречи свободной поверхности ртути с поверхностью стекла // Вестн. опыт. физики и элементар. математики. 1888. № 45. С. 193–197.
11. О некоторых свойствах зажигательной кривой в сферических зеркалах и о способах ее построения по точкам // Там же. № 53/54. С. 98–108.
12. [О строении кристаллов кварца] // Зап. Импер. минерал. о-ва. Сер. 2. 1889. Ч. 25. С. 341–342.
13. Метод измерения плоских углов под микроскопом // Горн. журн. 1889. Т. 1, № 2. С. 376–379.
14. Роль метеоритов во Вселенной // Рус. богатство. 1889. № 2. С. 137–148.
15. О космогоническом учении Локиера // Тр. СПб. о-ва естествоиспытателей. 1889. Т. 20. С. IX–X.
16. *Fedorow E.* Elemente der Lehre von den Figuren // *Ztschr. Krystallogr.* 1890. Bd. 17. S. 610–611.
17. *Fedorow E.* Analytisch-krystallographische Studien // *Ibid.* S. 611–615.
18. *Fedorow E.* Versuch, alle gleichen Richtungen einer gegebenen Krystalssystem – Abtheilung durch einfache Symbole darzustellen // *Ibid.* S. 615–617.
19. *Fedorow E.* Die Symmetrie der endlichen Figuren // *Ibid.* S. 617.
20. *Fedorow E.* Zwei krystallographische Notizen // *Ibid.* S. 617–618.
21. О методе измерения плоских углов кристаллов под микроскопом // Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Импер. Варшав. ун-те. 1890. № 1. С. 7–8.
22. [О строении кристаллов кварца] // *Ztschr. Krystallogr.* 1890. Bd. 17. S. 629.

23. Sur l'aragonite et la calcite // Bull. Soc. Belg. Geol. 1890. P. 91*.
24. Optische Studien an pseudosymmetrischen Krystallen // Ztschr. Krystallogr. 1890. Bd. 17. S. 592–603.
25. Eine Methode die ebenen Winkel mit dem Mikroskope zu messen // Ibid. Bd. 18. S. 277–279.
26. Об упрощении кристаллографических вычислений // Зап. Имп. минерал. о-ва. Сер. 2. 1892. Ч. 29. С. 58–64.
27. Свойства некоторых псевдосимметрических кристаллов в связи с теорией кристаллического строения вещества // Там же. С. 65–130.
28. [О систематической ошибке при измерении диаметров ньютоновых колец] // ЖРФХО. Часть физ. 1892. Т. 24, № 7. С. 161–162.
29. Ueber die Vertauschung der Ebene der stereographischen Projection und deren Anwendungen // Ztschr. Krystallogr. 1893. Bd. 21. S. 249–254.
30. Ueber die Circularpolarisation des Lichtes in den Krystallen des wasserfreien Kaliumlithiumsulfats // Ibid. S. 255–257.
31. О жидких кристаллах и о начальной стадии кристаллизации // Варшав. унив. известия. 1893. № 2. С. 1–15.
32. Sur les poids specifiques des cristaux isomorphes // C. r. Acad. sci. 1893. Т. 117. P. 1400–1402.
33. Оптический метод Корню для измерения упругости твердых тел // Варшав. унив. известия. 1893. № 9. С. 1–16; 1894. № 1. С. 17–72; № 2. С. 73–96.
34. Дополнительная заметка к статье "Оптический метод Корню для измерения упругости твердых тел" // Там же. 1894. № 7. С. 1–4.
35. Кристаллооптика: (Лекции по теории оптических методов кристаллографии и минералогии, читанные приват-доцентом Вульфом). Варшава, 1894. Изд. литогр.
36. О скорости роста и растворения кристаллов: (Предварительное сообщение) // Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1895. № 9. С. 7–11.
37. К вопросу о скоростях роста и растворения кристаллических граней // Варшав. унив. известия. 1895. № 7. С. 1–165; № 8. С. 17–40; № 9. С. 41–56; 1896. № 1. С. 57–88; № 2. С. 89–122. [См. также: Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 17–113].
38. О скорости роста кристаллических граней: (Предварительное сообщение) // Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1896. № 6. С. 1–3.
39. О плоскости симметрии как об основном элементе симметрии // Там же. С. 1–12.
40. О происхождении альпийских ледниковых котлов в Швейцарии // Ежегодник по геологии и минералогии России. 1896. Т. 1, № 1: (первая половина). С. 3–4.
41. Об одном приспособлении к гониометру для измерения углов между вициальными гранями // Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1896. № 8. С. 4.
42. Об оптических аномалиях азотнокислых солей свинца, бария и стронция // Там же. № 7. С. 1.
43. Поправка к статье "Об оптических аномалиях азотнокислых солей свинца, бария и стронция" // Там же. С. 1–2.

* Статьи в иностранных журналах Г.В. Вульф подписывал в немецкой транскрипции – G. Wulff.

44. О приложении определения симметрии, основанного на понятии о плоскости симметрии, к теории строения кристаллов // Там же. 1897. № 4. С. 1–2.
45. Об одном случае очень сильно выраженной скрещенной дисперсии оптических осей, допускающем количественное определение этого явления // Там же. С. 2–3.
46. Об определении капиллярных постоянных кристаллических граней // Там же. № 1. С. 1–11.
47. Симметрия и вывод всех ее кристаллографических видов // Варшав. унив. известия. 1897. № 4. С. 1–30. [См. также: Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 166–191].
48. Die Symmetrieebene als Grundelement der Symmetrie // Ztschr. Krystallogr. 1897. Bd. 27. S. 556–558.
49. La symmetrie et la deduction de toutes les especes cristallographiques // Ежегодник по геологии и минералогии России. 1898. Т. 2, № 3. С. 91–100.
50. Определение оптических постоянных кристаллов из наблюдения оптических осей в одной или по большей мере в двух пластинках // Известия физ.-мат. о-ва при Имп. Казан. ун-те. Сер. 2. 1888. Т. 8, № 2. С. 17–18.
51. Обзор литературы по кристаллографии, 1896 г. // Ежегодник по геологии и минералогии России. 1898. Т. 2, № 3. С. 47–50.
52. Вопрос об изоморфизме плагиоклазов // Протоколы заседаний Казанского общества естествоиспытателей, 1898–1899. Казань, 1899. С. 7–8.
53. [Некролог А.Е. Арцруни] // Там же. С. 5–6.
54. Зависимость оптических постоянных изоморфных смесей от объемных отношений смешивающихся кристаллов // Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1901. № 4. С. 1–5.
55. К вопросу об изоморфизме плагиоклазов: Предварительное сообщение // Там же. № 5. С. 1–4.
56. О черчении кристаллов в ортогональной проекции (по поводу статьи F. Stober. Sur une methode de dessin des cristaux. Bull. Soc. Fr. Miner. 1899. P 42–60) // Там же. № 4. С. 1–2.
57. Zur Frage der Geschwindigkeit des Wachstums und der Auflosung der Krystallflachen // Ztschr. Krystallogr. 1901. Bd. 34. S. 449–530.
58. Ueber den Gang der Rechnung in der Theodolitmethode // Ibid. 1902. Bd. 36. S. 29–30.
59. Ein Beitrag zur Theodolitmethode // Ibid. Bd. 37. S. 52–56.
60. Untersuchungen in Gebiete der optischen Eigenschaften Krystalle // Ibid. Bd. 36. S. 1–28. [См. также: Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 159–165].
61. О пределах точности законов геометрической кристаллографии // Варшав. унив. известия. 1903. № 1. С. 1–64; Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1906. № 1. С. 1–64.
62. Untersuchungen uber die Genauigkeitsgrenzen der Gesetze der geometrischen Krystallographie // Ztschr. Krystallogr. 1903. Bd. 38. S. 1–57.
63. Руководство по кристаллографии. Варшава: Тип. Варшав. учебного округа, 1904.
64. Zur Geometrische der Doppelbrechung // Ann. Phys. 1905. Bd. 18. S. 579–589.
65. Положение Варшавского университета // Сын Отечества. 1905. 24 сент.
66. О дальнейшей участи Варшавской высшей школы // Наша жизнь. 1906. 2 мая.
67. Отзыв о медальном сочинении на тему: «Об отношении кристалла к его маточному раствору под девизом "in plano axis laterum et numerum et longitudinem varie mutari non mutatis angulis"» // Варшав. унив. известия. 1906. № 6. С. 49–53.

68. К употреблению теодолитного гониометра // Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1906. № 1. С. 1–9; Варшав. унив. известия. 1906. № 9. С. 1–9.
69. О построении интерференционных фигур, наблюдаемых в кристаллических пластинках в сходящемся поляризованном свете // Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1906. № 1. С. 36–38.
70. О способах начертания и вычисления кристаллов, применительно к измерениям с помощью теодолитного гониометра // Варшав. унив. известия. 1906. № 5. С. 1–29; Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1906. № 1. С. 1–29.
71. О точности законов геометрической кристаллографии // Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1906. № 1. С. 1–64.
72. Оптические свойства изоморфных смесей // Там же. С. 2–4.
73. [Памяти Е.Е. Вагнера] // Там же. № 2. С. 40–41.
74. По поводу статьи д-ра Гутмана "Blickrichtung und Grossenschätzung" (Z. Psychol. Physiolog. Sinnesorgane. 1903. № 5. S. 333) // Там же. С. 25–27.
75. Кристаллография: Обзор русских руководств // Крит. обозрение. 1907. № 4. С. 11–16.
76. По поводу статьи Е.С. Федорова "Как обезвредить эксцентриситет дешевых теодолитных гониометров" // Зап. Имп. минерал. о-ва. Сер. 2. 1907. Ч. 45. С. 317–319.
77. Sur les propriétés optiques de mélanges isomorphes: (Réponse à M.G. Wyrzouboff) // Bull. Soc. Fr. Miner. 1907. T. 30. P. 282–289.
78. Untersuchungen im Gebiete der optischen Eigenschaften isomorpher Krystalle // Ztschr. Krystallogr. 1907. Bd. 42. S. 558–586.
79. Über die Natur krystallinischer Flüssigkeiten // Ibid. 1908. Bd. 45. S. 209–213.
80. Über die Krystallisation des Kaliumjodids auf dem Glimmer // Ibid. S. 335–345. [См. также: Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 140–151].
81. Zur Theorie des Krystallhabitus // Ztschr. Krystallogr. 1908. Bd. 45. S. 443–472. [См. также: Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 192–241].
82. Симметрия и ее проявление в природе. М.: Сытин, 1908. [См. также: Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 242–320].
83. Руководство по кристаллографии, минералогии и геологии для средних учебных заведений, составленное проф. А.В. Нечаевым // Крит. обозрение. 1908. № 8. С. 72–77.
84. О внешнем виде кристаллов и о некоторых свойствах пространственных решеток // Bull. Soc. Imp. Natur. Moscow. 1909. T. 22, № 1/2. P. 13–16.
85. О так называемых жидких кристаллах и кристаллических жидкостях // ЖРФХО. Часть физ. 1909. Т. 41. С. 191–210.
86. Способ графического решения задач по космографии и математической географии. Нижний Новгород: Нижегород. кружок любителей физики и астрономии, 1909.
87. Über die Natur "flüssiger" und "flüssender" Krystalle // Ztschr. Krystallogr. 1909. Bd. 46. S. 261–265.
88. Влияние давления солнечного света на давление земной атмосферы // ЖРФХО. Часть физ. 1910. Т. 42. С. 181–184.
89. Есть ли у Земли хвост, как у кометы. М., 1910.
90. Строение, внешний вид и правильная установка кристаллов // Дневник XII съезда русских естествоиспытателей и врачей. М., 1910. № 8. С. 197–212.

91. Paralleloedr: Structur und richtige Aufstellung der Krystalle // *Ztschr. Krystallogr.* 1910. Bd. 47. S. 607–619.
92. Несколько замечаний по поводу статьи П. Павлова "О равновесии, образовании и изменениях кристаллической фазы в изотермической среде" // *Зап. Новорос. о-ва естествоиспытателей.* 1911. № 37. С. 121–126.
93. Eine Vorrichtung zur Herstellung orientierter Krystallplatten // *Ztschr. Krystallogr.* 1911. Bd. 50. S. 14–16.
94. Neue Form des rotierenden Krystallisationsapparates // *Ibid.* S. 17–18.
95. Über die sogenannten Kern- und Konvergenzpunkte der "kristallinisch-flüssigen Phase" von Paraaasoxyphenetol // *Ann. Phys.* 1911. Bd. 35. S. 182–184.
96. Есть ли что-либо общее у кристаллов и растений // *Природа.* 1912. № 1. С. 35–38.
97. О некоторых свойствах так называемых жидких кристаллов и о природе этих образований // *Bull. Soc. Imp. Natur. Moscow.* 1912. Т. 25. P. 6–11. Совместно с Е. Дейшей.
98. П.Н. Лебедев и Университет Шаняевского // *Рус. ведомости.* 1912. 10 апр.
99. Лаборатория Университета Шаняевского // *Столичная молва.* 1912. 16 янв.
100. Интерференция рентгеновских лучей и теория строения кристаллов // *Физика.* 1913. № 1. С. 10–13.
101. Кристаллы, их основные свойства и образование. Изд-во ун-та. 1913. Изд. литогр.
102. Прохождение рентгеновских лучей через кристаллы // *Природа.* 1913. № 1. С. 27–38.
103. Рентгеновские лучи и кристаллы // Там же. № 6. С. 667–680.
104. Eine Art Lichtinterferenz in gefarbten Krystallen // *Ztschr. Krystallogr.* 1913. Bd. 53. S. 236–239.
105. Grund agen der Krystallrontgenogrammetrie // *Centralbl. Miner.* 1913. S. 260–261.
106. Über die Krystallrontgenogramme // *Phys. Ztschr.* 1913. Bd. 14. S. 217–220. [См. также: *Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии.* М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 133–139].
107. Über die Beschaffenheit der Maxima bei der Interferenz der X-Stralen // *Phys. Ztschr.* 1913. Bd. 14. S. 783–785. Mit N. Uspenski.
108. Über Interferenz der Rontgenstrahlen // *Ibid.* S. 785–787. Mit N. Uspenski.
109. Über krystallographische Bedeutung der Richtungen der durch eine Krystallplatte gebeugten Rontgenstrahlen // *Ztschr. Krystallogr.* 1913. Bd. 52. S. 65–67.
110. Научные задачи кристаллографической лаборатории Университета им. Шаняевского // *Науч. бюл. ун-та им. Шаняевского.* 1914. Т. 1. С. 141–145.
111. Apparatur zur Krystallrontgenometrie // *Ztschr. Krystallogr.* 1914. Bd. 54. S. 59–64.
112. Krystallstructure // *Handwörterbuch der Naturwissenschaften.* Jena, Fischer, 1914. S. 1188–1193.
113. Последние месяцы в Варшавском университете // *Голос минувшего.* 1915. № 12. С. 190–196.
114. Как растут кристаллы // *Природа.* 1915. № 9. С. 1091–1111.
115. Капельно-жидкие, текучие и якобы живые кристаллы // *Физика.* 1915. № 1/2. С. 1–33.
116. Капельно-жидкие, текучие и якобы живые кристаллы // Там же. 1916. № 1/2. С. 5–28.
117. Нобелевские лауреаты: Брэгги // *Природа.* 1916. № 7/8. С. 887–891.
118. О капельной теории формы кристаллов // *ЖРФХО. Часть физ.* 1916. Т. 48. С. 337–349. [См. также: *Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии.* М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 121–132].

119. Предисловие к русскому переводу в книге: Брэгг У.Х., Брэгг У.Л. Рентгеновские лучи и строение кристаллов. М.: Космос, 1916.
120. Кристаллы, их образование, вид и строение. М., 1917. [См. также: Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 15–16].
121. Жизнь кристаллов. М.: Практическое знание, 1918.
122. Соленые озера западной и юго-западной части Ставропольской губернии / Геол. отд. Ставроп. губерн. земства. Ставрополь, 1918.
123. Об институте твердого тела: Протоколы заседания съезда физиков в Петрограде // ЖРФХО. Часть физ. 1919. Т. 51. С. 32.
124. Симметрия и ее проявление в природе. 2-е изд. М., 1919.
125. Вселенная – машина и ее служение человеку. М., 1920.
126. К вопросу о дифракции рентгеновых лучей в кристаллах: (О так называемом структурном множителе) // Сообщ. о науч.-техн. работах в Республике. 1920. Вып. 2. С. 51–52.
127. О природе спайности кристаллов // Там же. С. 51.
128. Определитель твердых веществ: Применение рентгеновских лучей к определению химического состава твердых тел // Науч.-техн. вестн. 1920. № 1. С. 26–28.
129. Радиоактивность воды и ила соляных озер Ставропольской губернии // Вестн. рентгенологии и радиологии. 1920. Т. 1, вып. 1/2. С. 139–146.
130. Экраны для рентгеновских лучей // Сообщ. о науч.-техн. работах в Республике. 1920. Вып. 2. С. 52–53. Совместно с М.Г. Богословским.
131. Über die Natur der Spaltbarkeit der Krystalle // Phys. Ztschr. 1920. Bd. 21. S. 718–720.
132. Аббат Рене Жюст Аюи (Rene Just Haüy) // Природа. 1922. № 8/9. С. 89–96.
133. Влияние обработки металлов на их строение // Там же. № 10/12. С. 3–20.
134. Жизнь кристаллов. 2-е изд. М.: Госиздат, 1922.
135. Особый вид интерференции света и обращение спектров поглощения // Науч. известия. 1922. № 3. С. 245–251. [См. также: Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 152–158].
136. Физика и кристаллография // УФН. 1922. Т. 3, № 1. С. 15–28.
137. Die Structur des Natriumchlorats // Ztschr. Krystallogr. 1922. Bd. 57. S. 190–200.
138. Об относительных расстояниях атомов в кристаллах // ДАН. 1922. Т. А. С. 43–45.
139. К вопросу о дифракции рентгеновских лучей в кристаллах (о так называемом структурном множителе) // ЖРФХО. Часть физ. 1923. Т. 55, № 1/3. С. 37–47.
140. О природе спайности кристаллов // Там же. С. 49–54.
141. Основы кристаллографии. М.: Задруга, 1923.
142. Периодичность кристаллизации // ДАН. 1923. Т. А. С. 1.
143. Успехи нашего знания в области строения кристаллов // УФН. 1923. Т. 3, № 2/3. С. 234–255.
144. Параллелограммер или простой прибор для определения ретикулярных плотностей сеток пространственной решетки // Зап. Минерал. о-ва. 1924. Т. 53. С. 1–6.
145. Практический курс геометрической кристаллографии со стереографической сеткой. М.: Госиздат. 1924. Совместно с А.В. Шубниковым.
146. Статистический метод в кристаллографии // Статистический метод в научном исследовании. М.: Изд-во Ком. акад., 1925.
147. О молекулярной структуре мусковита // Тр. Ин-та прикл. минералогии и металлургии. 1926. № 25. С. 22–29.

148. О строении кристаллов $\text{Sr}_2(\text{OH})_2\text{OSO}_2$ // Там же. С. 30–33.
149. Кристаллизация под уменьшенным давлением: (Кристаллизация уксуснокислого холестерина) // Там же. С. 34–43.
150. О причине периодичности кристаллизации эвтектик // Там же. С. 44–45.
151. Случай обратной фотохимической реакции в кристаллах // Там же. С. 46–50.
152. Основы кристаллографии: (Пособие для высшей школы). М.; Л.: Госиздат, 1926.
153. Кристаллы, их образование, вид и строение. 2-е изд. М.: Сабашниковы, 1926.
154. Структура кристаллов и химическое сродство // Тр. IV Менделеевс. съезда. Л., 1926. С. 53.
155. Предисловие // Брэгг У.Г. О природе вещей. М.; Л.: Госиздат, 1926.
156. Строение кристаллов // Менделеев Д.И. Основы химии. 9-е изд. Л.; М., 1927. Т. 1. С. 421–426.
157. Изоморфизм // Там же. 1928. Т. 2. С. 626–631.

Архивные материалы

158. *Шокарев С.* Материалы для составления родословных нескольких породнившихся фамилий // Архив семьи Вульфов.
159. Личное дело Г.В. Вульфа // Архив МГУ. Ф. 1. Оп. 34 л/с. Ед. хр. 14. Л. 509.
160. Государственный архив Варшавы. Фонд Варшавского университета.
 - а. Отчет Физико-математическому факультету Императорского Варшавского университета кандидата–стипендиата Вульфа Георгия. Ед. хр. 113. Л. 51–58.
 - б. Протокол заседания Ученого Совета Физико-математического факультета от 9 сентября 1895 г. Ед. хр. 455. Л. б/н.
 - в. Протокол заседания Ученого Совета Физико-математического факультета от 5 декабря 1895 г. Ед. хр. 455. Л. б/н.
 - г. Протокол заседания Ученого Совета Физико-математического факультета от 15 января 1896 г. Ед. хр. 456. Л. 27.
161. Письма Г.В. Вульфа В.И. Вернадскому // Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Ед. хр. 371. Л. 1–59.
162. Письма Г.В. Вульфа В.И. Вернадскому // Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. Ед. хр. 374. Л. 1–23.
163. *Вульф Г.В.* Художница Вера Васильевна Вульф: Биографический очерк // ЦГАЛИ. Ф. 727. Оп. 1. Ед. хр. 29. Л. 9–38.
164. *Вульф Г.В.* Отчет о деятельности Веры Васильевны Вульф († 23 октября 1923) в Тарусе Калужской губернии // ЦГАЛИ. Ф. 727. Оп. 1. Ед. хр. 29. Л. 58–66.
165. Прощальный адрес студентов профессору Г.В. Вульфу // Архив семьи Вульфов.
166. *Вульф Г.В.* Студентам Варшавского университета // Архив семьи Вульфов.
167. *Флинт Е.Е.* Личные воспоминания о кафедре минералогии МГУ за период времени 1908–1930 гг. // Архив семьи Флинта.
168. Протокол заседания Совета Физико-математического факультета Московского университета от 12 ноября 1908 г. // ЦИАМ. Ф. 418. Оп. 461. Ед. хр. 48. С. 98.
169. Письма Г.В. Вульфа А.Б. Млодзеевскому // Архив МГУ. Ф. 214. Оп. 2. Ед. хр. 35. Л. 1–9.
170. *Берви О.В.* Воспоминания // Архив семьи Вульфов.

171. Вульф Г.В. Письмо в Тарусскую городскую думу // ЦГАЛИ. Ф. 727. Оп. 1. Ед. хр. 36. Л. 1–2.
172. Евдокимов И.В. Вера Васильевна Якунчикова-Вульф // ЦГАЛИ. Ф. 727. Оп. 1. Ед. хр. 30. Л. 1–43.
173. Протоколы заседания Физико-математического факультета Московского университета за 1919 год // Архив МГУ. Ф. 24. Оп. 1. Ед. хр. 9. Л. 1–121.
174. Протоколы заседания Физико-математического факультета Московского университета за 1922 год // Архив МГУ. Ф. 24. Оп. 1. Ед. хр. 47. Л. 5.
175. Список профессорско-преподавательского состава Московского университета за 1918–1923 гг. // Архив МГУ. Ф. 24. Оп. 1. Ед. хр. 3. Л. 15.
176. Заявление Г.В. Вульфа // Архив МГУ. Ф. 24. Оп. 1. Ед. хр. 22. Л. 16.
177. Устав Института физико-химического исследования твердого вещества // ЦИАМ. Ф. 635. Оп. 3. Ед. хр. 149. Л. 2–2 об.
178. Письмо Г.В. Вульфа в Правление Московского Городского Университета имени Шаняевского // ЦИАМ. Ф. 635. Оп. 3. Ед. хр. 149. Л. 1–1 об.
179. Дела предметных комиссий Физико-математического факультета Московского университета // Архив МГУ. Ф. 243. Оп. 1. Ед. хр. 22. Л. 15.
180. Письмо А.В. Шубникова в Президиум АН СССР // Архив РАН. Ф. 2. Оп. 1 (1945). Ед. хр. 285. Л. 1.
181. Протокол экстренного заседания Физико-математического факультета Московского университета // Архив МГУ. Ф. 24. Оп. 1. Ед. хр. 9. Л. 34.
182. Научный институт физики и кристаллографии // Архив МГУ. Ф. 24. Оп. 1. Ед. хр. 51. Л. 24.
183. Протоколы заседания Физико-математического факультета Московского университета за 1918 г. // Архив МГУ. Ф. 24. Оп. 1. Ед. хр. 2. Л. 8–11.
184. Протоколы заседания Физико-математического факультета Московского университета за 1920 г. // Архив МГУ. Ф. 24. Оп. 1. Ед. хр. 13. Л. 1–65.
185. Протоколы заседания Физико-математического факультета Московского университета за 1922 г. // Архив МГУ. Ф. 24. Оп. 1. Ед. хр. 44. Л. 1–40.
186. Охранная грамота художницы В.В. Вульф // ЦГАЛИ. Ф. 727. Оп. 1. Ед. хр. 21. Л. 1.
187. Письмо Б.Г. Вульфа Г.В. Вульфу // ЦГАЛИ. Ф. 727. Оп. 1. Ед. хр. 33. Л. 1–2.
188. Письмо Г.В. Вульфа заведующему музеями Калужской губернии Малинину // Архив семьи Вульфов.
189. Письмо Центральной комиссии по улучшению быта ученых при Совнарком в Главмузей // ЦГАЛИ. Ф. 727. Оп. 1. Ед. хр. 35. Л. 6.
190. Письмо И.В. Евдокимова Г.В. Вульфу // ЦГАЛИ. Ф. 727. Оп. 1. Ед. хр. 30. Л. 43.
191. Справка Главлита о рукописи Евдокимова И.В. "Вера Васильевна Якунчикова-Вульф" // ЦГАЛИ. Ф. 727. Оп. 1. Ед. хр. 30. Л. 42.
192. Завещание Г.В. Вульфа // Архив семьи Вульфов.

Цитированная литература

193. Энциклопедический словарь / Брокгауз и Эфрон. Биографии. М.: Изд-во БСЭ, 1993. Т. 3. С. 522.
194. Успенский Н.Е. Георгий Викторович Вульф // Науч. работник. 1926. № 3. С. 17–26.
195. Памяти профессора Александра Викторовича Вульфа // Электричество. 1924. № 1. С. 55–56.

196. *Минов Д.К.* Некоторые материалы к вопросу о роли русских ученых и инженеров в развитии науки и техники в области электрической тяги // Изв. АН СССР. ОТН. 1950. № 8. С. 1212–1242.
197. Биографический словарь профессоров и преподавателей Императорского Казанского университета (1804–1904): В 2 ч. / Под ред. Н.П. Загоскина. Ч. 1. Казань, 1904. С. 296–298.
198. *Ильин Б.В.* Юрий Викторович Вульф // Учен. зап. МГУ. 1940. Вып. 52. С. 188–198.
199. *Млодзеевский А.Б.* Ю.В. Вульф и развитие кристаллофизики // Очерки по истории физики в России. М.: Учпедгиз, 1949. С. 195–206.
200. *Млодзеевский А.Б.* Ю.В. Вульф и развитие кристаллофизики // Развитие физики в России. М.: Просвещение, 1970. Т. 1. С. 290–300.
201. *Флинт Е.Е.* Г.В. Вульф: (Некролог) // Минерал. сырье и его переработка. 1926. № 2. С. 179–181.
202. *Флинт Е.Е.* Юрий Викторович Вульф // Отчет 1-го Московского Государственного университета за 1925–1926 гг. М.: Изд-во МГУ, 1927. С. 369–379.
203. *Флинт Е.Е.* Памяти Юрия Викторовича Вульфа // Тр. Ин-та прикл. минералогии и металлургии. 1928. Вып. 34: Работы рентгено-технической лаборатории. С. 5–15.
204. *Флинт Е.Е.* Юрий Викторович Вульф // Зап. ВМО. 1951. Ч. 80, № 1. С. 65–69.
205. *Флинт Е.Е.* Воспоминания о Ю.В. Вульфе // Тр. Ин-та кристаллографии АН СССР. 1951. Вып. 6. С. 3–14.
206. *Шафрановский И.И.* История кристаллографии в России. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 357–380.
207. *Шафрановский И.И.* История кристаллографии, XIX век. Л.: Наука, 1980. С. 220–222.
208. *Алешинцев И.* История гимназического образования в России (XVIII и XIX века). СПб.: Богданова, 1912.
209. *Есипов В.В.* Высшее образование в Царстве Польском за сто лет (1815–1915): Варшавский университет. Пг.: Сенат. тип., 1914.
210. *Александренко В.Н.* Из истории Варшавского университета. СПб., 1908.
211. Правила для студентов и постоянных слушателей Императорского Варшавского университета. Варшава: Тип. К. Ковалевского, 1887.
212. Обзорение преподавания предметов в Императорском Варшавском университете в 1891–1905 академических годах. Варшава: Тип. Варшав. учеб. округа, 1891–1905.
213. *Левинсон-Лессинг Ф.Ю.* Успехи петрографии в России // Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1950. Т. 2.
214. *Резников А.П.* А.Е. Лагорио и его роль в развитии петрографии // Очерки по истории геологических знаний. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Вып. 5.
215. *Гинзбург А.С.* Основоположники русской физико-химической и экспериментальной петрографии – И.И. Лемберг, К.Д. Хрущев, А.Е. Лагорио и Ф.Ю. Левинсон-Лессинг // Учен. зап. Ленингр. гос. пед. ин-та им. А.И. Герцена. 1958. Т. 172. С. 237–251.
216. Биографический словарь деятелей естествознания и техники. М.: Большая сов. энциклопедия, 1958. Т. 1.
217. *Шафрановский И.И.* Кристаллография в СССР, 1917–1991. СПб.: Наука, 1996.

218. Протоколы заседания совета Императорского Варшавского университета: За 1882–83–84–85 гг. Варшава: Тип. К. Ковалевского, 1886.
219. VII Съезд Русских естествоиспытателей и врачей в Одессе с 18-го по 28-е августа 1883 г.: Протоколы. Одесса: Тип. П.А. Зеленого, 1883.
220. *Погожев А.В.* Седьмой съезд русских естествоиспытателей и врачей в Одессе: Оттиски из журнала "Медицинское обозрение". М., 1883.
221. *Елисеев А.А.* Выдающийся русский физик // Природа. 1929. № 2. С. 103–107.
222. *Егоров Н.Г.* Биографический словарь профессоров и преподавателей Петербургского университета за истекшую третью четверть века его существования, 1869–1894. СПб., 1896. Т. 1. С. 246–247.
223. *Voigt W.* Lehrbuch der Krystallophysik. Leipzig, 1910.
224. Развитие физики в России. М., 1970. Т. 1. С. 358–360.
225. *Иванов Н.И.* Некоторые оптические работы П.А. Зилова // Учен. зап. Бурят. гос. пед. ин-та. 1960. Вып. 19. С. 103–120.
226. *Тепляков Г.М.* Научная и популяризаторская деятельность П.А. Зилова // Вопросы истории физики и ее преподавания. Тамбов, 1961. С. 179–191.
227. *Зилов П.А.* Лекции по физике // Варшав. унив. известия. 1894. № 4–9; 1895. № 1–6, 8; 1896. № 1, 3, 7, 9; 1897. № 1–2.
228. *Зилов П.А.* Курс физики. 6-е изд. Киев. Ч. 1. 1912; Ч. 2. 1915.
229. Зап. Имп. СПб. минерал. о-ва. Сер. 2. 1889. Ч. 25. С. 405.
230. Протоколы заседания физического отделения РФХО // ЖРФХО. Часть физ. 1886. Т. 18, № 1. С. 126.
231. Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1890. № 1. С. 7–8.
232. Извлечение из отчета о состоянии и деятельности Императорского Варшавского университета в 1888/89 академическом году // Варшав. унив. известия. 1889. № 6. С. 26.
233. Извлечение из отчета о состоянии и деятельности Императорского Варшавского университета в 1888/89 академическом году // Там же. С. 385.
234. *Шафрановский И.И.* Е.С. Федоров. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951.
235. *Федорова Л.В.* Наши будни, радости и горести: Воспоминания. М.: Наука, 1992.
236. Извлечение из отчета о состоянии и деятельности Императорского Варшавского университета в 1888/89 академическом году // Варшав. унив. известия. 1889. № 7. С. 415.
237. *Steinmetz H.* Weber I. Paul v. Groth. Der Grunder der "Zeitschrift fur Krystallographie" // Ztschr. Krystallogr. 1939. Bd. 100. S. 5–46.
238. *Spencer L. P.* Groth // Miner. Mag. 1930. N 131. P. 387–412.
239. *Грот П.* Физическая кристаллография и введение в изучение кристаллографических свойств важнейших соединений. СПб., 1897.
240. *Traube L.* Uber die Krystalloform einiger Lithiumsalze // Neues Jahrb. Miner., Geol. und Paleontol. 1892. Bd. 2. S. 58.
241. Из переписки Е.С. Федорова с Ю.В. Вульфом // Научное наследие. М.: Изд-во АН СССР, 1951. Т. 2. С. 349–354.
242. *Бокий Г.Б., Шафрановский И.И.* Первые публикации Е.С. Федорова за границей // Там же. С. 344–348.
243. *Евграф Степанович Федоров: Переписка: Неизданные и малоизвестные работы: Научное наследство.* М.: Наука, 1991.
244. *Федоров Е.С.* О линейке Вульфа для вычерчивания весьма пологих дуг // Зап. Имп. СПб. минерал. о-ва. Сер. 2. 1892. Ч. 29. С. 208–209.

245. Извлечения из протоколов заседания Совета Императорского Варшавского университета за 1890 г. // Варшав. унив. известия. 1891. № 2. С. 57.
246. *S.P.T. Marie Alfred Cornu* (1841–1902) // *Proc. Roy. Soc. London*. 1905. Vol. 75. P. 184–188.
247. *Herivel J.W. Cornu Marie Alfred* // *Dictionary of scientific biography*. N.Y., 1971. Vol. 3. P. 419–420.
248. *Cornu M.A. Methode optique pour l'etude de la deformation de la surface exterieure des solides elastiques* // *C. r. Acad. Sci.* 1869. T. 69. P. 333–337.
249. *Вернадский В.И.* Избранные труды: Кристаллография. М.: Наука, 1988. С. 130–132.
250. Варшав. дневник. 1892. № 112. С. 1.
251. Извлечения из протоколов заседания Ученого совета Императорского Варшавского университета // Варшав. унив. известия. 1892. № 7. С. 39.
252. *Сонин А.С.* Дорога длиною в век: Из истории науки о жидких кристаллах. М.: Наука, 1988.
253. *Lehmann O. Über tropfbarflüssige Krystalle* // *Ann. Phys. Chem.* 1890. Bd. 40. S. 401–423.
254. Сокращенные протоколы заседаний Совета Императорского Варшавского университета за первое полугодие 1893 г. // Варшав. унив. известия. 1893. № 7. С. 1; № 8. С. 41.
255. *Киселев М.Ф. В.В. Вульф:* Автобиографические заметки // Памятники культуры: Новые открытия. М.: Наука, 1998. С. 61–69.
256. Извлечения из отчета о состоянии и деятельности Императорского Варшавского университета за 1892 г. // Варшав. унив. известия. 1892. № 6. С. 18.
257. Извлечения из отчета о состоянии и деятельности Императорского Варшавского университета за 1893 г. // Там же. 1894. № 6. С. 12.
258. Обзор преподавания предметов в Императорском Варшавском университете в 1894/95 академическом году // Там же. № 8. С. 7.
259. Сокращенные протоколы заседаний Совета Императорского Варшавского университета за первое полугодие 1894 г. // Там же. № 9. С. 35.
260. *Becke F. Altzversuche am Fluorit* // *Tschermaks miner. und petrogr. Mitt.* 1890. Bd. 11. S. 349–437.
261. *Lehmann O. Molekularphysik: Engelmann, Leipzig*, 1888. Bd. 1. S. 486–487.
262. *Curie P. Sur la formation des cristaux et aur les constantes capillaires de leurs diverses faces* // *Bull. Soc. miner. France*. 1885. T. 8. P. 145–147. [См. также: *Кюри П.* Избранные труды. М.; Л.: Наука, 1966. С. 114–117].
263. *Gauss K. Figurae Fluidorum in Statu Aequilibrii.* Gottingen, 1830.
264. *Браве О.* Избранные научные труды: Кристаллографические этюды. Л.: Наука, 1974.
265. *Sohnke Z. Ü ber Spaltungsflächen und naturliche Krystallflächen* // *Ztschr. Krystallogr.* 1888. Bd. 13. S. 214–235.
266. *Hauer R. Krystallogenetische Studien* // *Sitzungsber. Wien. Akad.* 1860. Bd. 39. S. 611; Bd. 40. S. 539.
267. *Гиббс Дж.* Термодинамические работы. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1950.
268. *Кузнецов В.Д.* Кристаллы и кристаллизация. М.: Гостехтеоретиздат, 1954.
269. *Шаскольская М.П.* Кристаллография. М.: Выш. шк., 1984.
270. *Бакли Г.* Рост кристаллов. М.: Изд-во иностр. лит., 1954.
271. *Чернов А.А., Гиваргизов Е.И., Багдасаров Х.С.* и др. Образование кристаллов: Современная кристаллография. М.: Наука, 1980.

272. Павлов П. О равновесии, образовании и изменениях кристаллической фазы в изотермической среде // Зап. Новорос. о-ва естествоиспытателей. 1909. Т. 35. С. 41–82.
273. Marc R., Ritzel A. Über die Taktoren, die den Krystallhabitus bedingen // Ztschr. Phys. Chem. 1911. Bd. 76. S. 584–590.
274. Valetton J.P. Krystallform und Löslichkeit // Ber. Dt. Math.-phys. Kl. Konigl. Sachs. Ges. Wiss. Leipzig. 1915. Bd. 67. S. 1–50.
275. Hilton H. Mathematical crystallography. Oxford, 1903.
276. Liebmann H. Der Curie–Wulff'sche Satz über Combinationsformen von Krystallen // Ztschr. Krystallogr. 1914. Bd. 53. S. 171–177.
277. Viola C. Sur la loi de Curie // C.r. Acad. sci. 1918. Т. 167. P. 342–345.
278. Френкель Я.И. Электрическая теория твердых тел. Л., 1924.
279. Семенченко В.К. Термодинамика малых объемов // Журн. физ. химии. 1945. Т. 19. С. 298–350.
280. Вейберг З. К вопросу о скорости роста кристаллических граней: (Скорость роста граней железоаммонийных квасцов) // Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1897. № 2. С. 1–30.
281. Niggli P. Beziehung zwischen Wachstumsform und Structure der Krystalle // Ztschr. anorg. Chem. 1920. Bd. 110. S. 55–80.
282. Donnay J.D., Harker D. A new law of crystal morphology extending the law Bravais // Amer. Miner. 1937. Vol. 22. P. 446–467.
283. Hartman P. Structure and morphology // Crystal growth: An introduction. Amsterdam, 1973. P. 367–402.
284. Федоров Е.С. Наблюдения и опыты по кристаллогенезу // Изв. Имп. Акад. наук. 1901. Т. 15, № 5. С. 519–534.
285. Федоров Е.С. Опыты, наглядно демонстрирующие значительное различие в растворимости разных граней // Зап. Горн. ин-та. 1907. Т. 1, вып. 1. С. 81–83.
286. Федоров Е.С. Различная растворимость граней и ее проявление в минеральном царстве // Там же. 1908. Т. 1, вып. 2. С. 160–163.
287. Федоров Е.С. Процесс кристаллизации // Природа. 1915. № 12. С. 1471–1480.
288. Карпинский А.П., Вернадский В.И., Ферсман А.Е., Иоффе А.Ф. Записка об ученых трудах профессора Московского университета Г.В. Вульфа // Известия Рос. Акад. наук. Сер. 6. 1921. Т. 15. С. 45–47.
289. Ежегодник по геологии и минералогии России. 1897. Т. 2, вып. 2. С. 39.
290. Ежегодник по геологии и минералогии России. 1897. Т. 2, вып. 6/7. С. 137.
291. Франк-Каменецкий В.А. К истории создания теодолитного гониометра // Кристаллография. Л., 1955. Вып. 3. С. 139–145.
292. Протоколы засед. и тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Варшав. ун-те. 1906. № 14/15. С. 1–3.
293. Нардов В.В. Практическое руководство по геометрической кристаллографии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1974.
294. Gossner B. Krystallberechnung und Krystallzeichnung. Leipzig, 1914.
295. Wright F.E. The methods of petrographic–microscopic research. Wash.(D.C.), 1916.
296. Stober F. Sur une methode de dessin des cristaux // Bull. Soc. fr. miner. 1899. Т. 22. P. 42–60.
297. Шафрановский И.И. История кристаллографии: С древнейших времен до начала XIX столетия. Л.: Наука, 1978.

298. Обзорение преподавания предметов в Императорском Варшавском университете в 1896/97 академическом году // Варшав. унив. известия. 1896. № 7. С. 7.
299. *Viola C.* Uber die Symmetrie der Krystalle und Anwendung der Quaternionenrechnung // Neues Jahrb. Miner. 1896. Bd. 10. S. 495–532.
300. *Болдырев А.К.* Основы геометрического учения о симметрии // Зап. Минерал. о-ва. 1907. Ч. 45, вып. 1. С. 321–446.
301. *Белов Н.В.* Классный метод вывода пространственных групп симметрии // Тр. Ин-та кристаллографии. 1951. Вып. 6. С. 25–62.
302. *Brauns R.* Die optischen Anomalien der Krystalle // Preischriften, gekront und herausgegeben von der Furstlich Jablonowski'schen Gesellschaft zu Leipzig. Leipzig, 1891. S. 222–226.
303. *Retgers J.W.* Das spezifische Gewicht isomorpher Mischungen // Ztschr. Phys. Chem. 1889. Bd. 3. S. 497–561.
304. *Arzruni A.* Physikalische Chemie der Krystalle. Braunschweig, 1893.
305. *Levy A.M.* Etudes sur la determination des Feldspaths // Ztschr. Krystallogr. 1896. Bd. 26. S. 316–317; 1897. Bd. 29. S. 692–696.
306. *Dufet H.* Sur la variation des indices de refraction dans les melanges de sels isomorphes // C. r. Acad. sci. 1878. T. 86. P. 881–883.
307. *Mallard E.* Sur les proprietes optiques des melanges de substances isomorphes et sur les anomalies optiques des cristaux // Bull Soc. fr. miner. 1880. T. 3. P. 3–20.
308. Обзорение предметов, преподаваемых в Императорском Варшавском университете в 1903/04 академическом году // Варшав. унив. известия. 1903. № 9. С. 8.
309. *Горизонтов Л.Е., Дьяков В.А., Зуев Ф.Г.* и др. Краткая история Польши. М.: Наука, 1993.
310. *Дубровский Н.* Официальная наука в Царстве Польском. СПб., 1908.
311. Записка о современном положении Императорского Варшавского университета. Варшава, 1906.
312. *Вернадский В.И.* О профессорском съезде // Публицистические статьи. М.: Наука, 1995. С. 26–30.
313. Нужды просвещения // Наши дни. 1905. 14 янв.
314. *Давыдов Д.* По поводу статьи проф. Г. Вульфа "Положение Варшавского университета". Варшава: Тип. Окруж. штаба, 1906.
315. *Кулаковский П.А.* Вопрос о Варшавском университете и польский школьный законопроект, 1907. СПб.: Тип. Г.Р. Скачкова, 1913.
316. *Вецкий Н.А.* К вопросу о Варшавском университете. Варшава: Губерн. тип., 1906.
317. *Костров П.* Саратов или Варшава? Киев: Тип. И.Н. Кушнерева, 1908.
318. Заключение Совета Министров // Россия. 1906. 28 нояб.
319. *Вернадский В.И.* Отзыв о научных трудах профессора Г.В. Вульфа // Статьи об ученых и их творчестве. М.: Наука, 1997. С. 142–144.
320. Отчет Московского Городского Народного университета им. Шанявского за 1908–1909 академический год. М., 1909.
321. *Шубников А.В.* То, что сохранила память: (Автобиографические заметки) // Избр. тр. по кристаллографии. М.: Наука, 1975. С. 7–35.
322. Научная переписка П.Н. Лебедева // Научное наследство. М.: Наука, 1990. Т. 15.
323. Многогранник // Математический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1988. С. 370–373.

324. *Weyberg Z.* Einige Beobachtungen über das Wachstum der Kalium-Aluminium-Alaunkrystalle // *Ztschr. Krystallogr.* 1902. Bd. 36. S. 40–45.
325. *Von Fedorow E.* Paralleloeder in kanonischer Form und deren eindeutige Beziehung zu Raumgittern // *Ibid.* 1909. Bd. 46. S. 245–260.
326. Дневник XII съезда врачей и естествоиспытателей. 1910. № 4. С. 144.
327. *Frankenheim M.L.* Über die Verbindung verschieden artiger Krystalle // *Ann. Phys. und Chem.* 1836. Bd. 37. S. 516–522.
328. *Frankenheim M.L.* Die Lehre von der Cohasion. Breslau, 1835.
329. Дневник XII съезда русских естествоиспытателей и врачей. 1910. № 10. С. 465.
330. *Deischa H.* Über die heterogene Structure des "krystallinisch-flussigen" Paraazoxyphenetols // *Ztschr. Krystallogr.* 1912. Bd. 51. S. 24–32.
331. Рус. ведомости. 1911. 28 янв.
332. Рус. ведомости. 1911. 30 янв.
333. *Вернадский В.И.* 1911 год в истории русской умственной культуры // Публицистические статьи. М.: Наука, 1995. С. 186–197.
334. *Сперанский Н.В.* Возникновение Московского Городского Народного университета им. Шанявского. М., 1913.
335. Московский Городской Народный университет имени А.Л. Шанявского. М., 1914.
336. Выборы в университете им. А.Л. Шанявского // Рус. ведомости. 1912. 13 сент.
337. *Сердюков А.П.* Петр Николаевич Лебедев. М.: Наука, 1978.
338. Отчет Московского Городского Народного университета им. А.Л. Шанявского за 1911–1912 академический год. М., 1912.
339. Отчет Московского Городского Народного университета им. А.Л. Шанявского за 1912–1913 академический год. М., 1913.
340. Отчет Московского Городского Народного университета им. А.Л. Шанявского за 1913–1914 академический год. М., 1914.
341. Отчет Московского Городского Народного университета им. А.Л. Шанявского за 1914–1915 академический год. М., 1915.
342. Отчет Московского Городского Народного университета им. А.Л. Шанявского за 1915–1916 академический год. М., 1916.
343. *Schubnikov A.V.* Über Symmetrie der Krystalle von Kaliumdichromat // *Ztschr. Krystallogr.* 1911. Bd. 50. S. 19–27.
344. *Эренфест П.С.* Замечания о капиллярной теории кристаллической формы // *ЖРФХО.* Часть физ. 1916. Т. 47. С. 590–598.
345. *Кузнецов В.Д.* Поверхностная энергия твердых тел. М.: Гостехтеоретиздат, 1954.
346. *Русанов А.И.* Термодинамика поверхностных явлений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1960.
347. *Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М.* Поверхностные силы. М.: Наука, 1987.
348. *Млодзеевский А.Б.* Наблюдения над текучими кристаллами олеиновокислого аммония // *ЖРФХО.* Часть физ. 1913. Т. 45. С. 91–102.
349. *Млодзеевский А.Б.* Исследования над олеиновокислым аммонием // Там же. 1915. Т. 47. С. 471–478.
350. *Lehmann O.* Die flussigen Krystalle des Ammoniumoleats: Antwort an Herrn A. Młodziewski // *Ztschr. Krystallogr.* 1913. Bd. 52. S. 592–601.
351. *Поленова Н.В.* Отрывки из воспоминаний // *Панорама искусств.* М.: Сов. художник, 1987. № 10. С. 168–194.

352. *Базанкур О.* По выставке "Союза" // Петербуржец. 1913. 10 марта.
353. *Fridrich W., Knipping P., Laue M.* Interferenzerscheinungen bei Rontgenstrahlen // Sitzungsber. Kgl. Bayer. Akad. Wiss. 1912. Bd. 41. S. 303–322.
354. *Успенский Н.Е.* Явления интерференции в лучах Рентгена // Физика. 1913. № 1. С. 3–10.
355. *Groth P.* Nachless. Grothiana X. Bayerische Staatsbibliothek, Handschriftensammlung. München.
356. *Sommerfeld A.* Nachless. Deutsche Museum. München.
357. *Bragg W.L.* The specular reflection of X-ray // Nature. 1912. Vol. 90. P. 410.
358. *Bragg W.L.* The diffraction of short electromagnetic waves by a crystal // Proc. Cambridge Philos. Soc. 1913. Vol. 17. P. 43–57.
359. *Брэгг У.Г., Брэгг У.Л.* Рентгеновские лучи и строение кристаллов. М.: Космос, 1916.
360. *Кованько Г.Н.* К 50-летию открытия дифракции рентгеновских лучей в кристаллах: Переписка Г.В. Вульфа с У.Л. Брэггом // Зап. ВМО. 1962. Ч. 91, вып. 6. С. 726–730.
361. *Bragg W.L.* The arrangement of atoms in crystals // Philos. Mag. 1920. Vol. 40. P. 169–189.
362. *Глинка С.Ф.* Общий курс кристаллографии. 3-е изд. СПб., 1909.
363. *Федоров Е.С.* Курс кристаллографии. СПб., 1897.
364. *Нечаев А.В.* Кристаллография геометрическая, физическая и физико-химическая. Киев: Сотрудник, 1907.
365. *Вернадский В.И.* Очерк развития кристаллографии // Избр. тр.: Кристаллография. М.: Наука, 1988.
366. *Самойлов Я.В.* Введение в кристаллографию. М., 1906.
367. *Сущинский П.П.* Краткий курс кристаллографии. 1. Геометрическая кристаллография. М.; Л.: Госиздат, 1923.
368. *Белянкин Д.С.* Кристаллооптика. Л., 1931.
369. *Землячченский П.* Кристаллография. Пг.: Акад. изд-во, 1921.
370. *Землячченский П.* Краткий учебник кристаллографии. М.; Пг.: Госиздат, 1923.
371. *Шубников А.В.* Симметрия. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940.
372. *Шубников А.В., Копцик В.А.* Симметрия в науке и искусстве. М.: Наука, 1972.
373. *Смолина Н.И.* Традиции симметрии в архитектуре. М.: Стройиздат, 1990.
374. *Узоры симметрии.* М.: Мир, 1980.
375. *Васютинский Н.А.* Золотая пропорция. М.: МГ, 1990.
376. *Коробко В.И.* Золотая пропорция и проблема гармонии систем. М.: Ассоц. строит. вузов, 1998.
377. *Брэгг У.Л.* О природе вещей. М.: Госиздат, 1926.
378. Протоколы засед. Импер. Моск. о-ва испытателей природы. 1911. № 4. С. 9.
379. *Лебедев П.Н.* Абсолютная величина давления солнечного света на земную атмосферу: (Возражение Г.В. Вульфу) // ЖРФХО. Физ. отд. 1910. Т. 42. С. 340.
380. *Соминский М.С.* Абрам Федорович Иоффе. М.; Л.: Наука, 1965.
381. Государственная Академия художественных наук. М., 1925.
382. *Кондратьев А.* Российская Академия художественных наук. М., 1923.
383. *Коган П.С.* О задачах Академии художественных наук и ее журнала. М., 1923.
384. Академия художественных наук: Отчет за 1921–1925 гг. М., 1926.

385. *Фриш С.Э.* Сквозь призму времени: Воспоминания. М.: Политиздат, 1992.
386. *Алексеев П.В.* Революция и научная интеллигенция. М.: Политиздат, 1987.
387. *Вернадский В.И.* Дневники: Март 1921 – август 1925 г. М.: Наука, 1998.
388. Горький и наука: Статьи, речи, письма, воспоминания. М.: Наука, 1964.
389. *Шубников А.В.* Свойства кристаллов как однородной непрерывной среды // Избр. тр. по кристаллографии. М.: Наука, 1975. С. 263–335.
390. *Кюри П.* О симметрии в физических явлениях: Симметрия электрического и магнитного полей // Избр. тр. М.; Л.: Наука, 1966. С. 95–113.
391. *Шубников А.В., Мокрушин С.Г.* Кристаллы селена с кривыми гранями // Известия Горн. ин-та. Екатеринбург, 1921. Т. 2. С. 1–10.
392. Музей-усадьба В.Д. Поленова. М.: Планета, 1970.
393. *Киселев М.Ф.* О творчестве В.В. Вульф // Искусство. 1989. № 1. С. 58–62.
394. *Шубников А.В.* Юрий Викторович Вульф // Природа. 1926. № 1/2. С. 5–8.
395. *Spencer J.L. Wulff Georgii Victorovich* // Miner. Mag. 1927. Vol. 21. P. 255–256.
396. Отчет 1-го МГУ за 1925–1926 гг. М.: 1-й МГУ, 1927.
397. Тр. Ин-та прикл. минералогии и металлургии. 1928. Вып. 34: Работы рентгено-технической лаборатории.
398. *Леммлейн Г.Г., Кирсанов В.А.* Хронологический указатель трудов Ю.В. Вульфа // Тр. Ин-та кристаллографии АН СССР. 1951. Вып. 6. С. 15–24.
399. *Гухман Р.И.* Библиография печатных трудов Московского государственного университета за период 1917–1937 гг. М., 1939. С. 79–89.
400. *Шефталъ Н.Н.* Евгений Евгеньевич Флинт: (К семидесятилетию со дня рождения) // Кристаллография. 1958. Т. 3, вып. 1. С. 3–4.

Основные даты жизни и деятельности Г.В. Вульфа

- 1863 – родился 10 июня в Чернигове.
- 1880 – окончил 6-ю Варшавскую гимназию и поступил на физико-математический факультет Варшавского университета.
- 1884 – получил золотую медаль за конкурсное экспериментальное исследование пьезоэлектрических свойств кристаллов кварца.
- 1885 – окончил Варшавский университет со степенью кандидата и оставлен при кафедре минералогии для подготовки к профессорской деятельности.
- 1886 – член физического отделения Русского физико-химического общества.
- 1889 – действительный член отделения физики и химии Общества естествоиспытателей при Варшавском университете.
- 1889–1890 – работал в Мюнхенском университете в лаборатории проф. П. Грота.
- 1890–1891 – работал в Парижской политехнической школе в лаборатории проф. А. Корню.
- 1892 – 25 мая защитил магистерскую диссертацию в Варшавском университете.
- 1892 – обвенчался с В.В. Якунчиковой в Париже.
- 1892 – получил звание приват-доцента по кафедре минералогии Варшавского университета.
- 1895 – представил Ученому совету физико-математического факультета Варшавского университета докторскую диссертацию на тему "К вопросу о скорости роста и растворения кристаллических граней".
- 1896 – 8 декабря защитил докторскую диссертацию в Новороссийском университете в Одессе.
- 1897 – экстраординарный профессор кафедры минералогии и кристаллографии Казанского университета.
- 1897 – предложил стереографическую сетку (сетку Вульфа).
- 1898 – ординарный профессор кафедры минералогии Варшавского университета.
- 1905 – организовал и возглавил Варшавское отделение "Академического союза".
- 1907 – приват-доцент кафедры минералогии физико-математического факультета Московского университета.
- 1908 – вышел в отставку по выслуге лет и перешел в Московский университет.
- 1908 – организовал кристаллографическую лабораторию в Городском Народном университете им. А.Л. Шанявского.

- 1911** – подал в отставку вместе с группой прогрессивных профессоров в знак протеста против введения полиции на территорию Московского университета.
- 1911** – перешел в университет им. А.Л. Шанявского заведующим кристаллографической лабораторией.
- 1912** – получил должность заведующего минералогической лабораторией.
- 1917** – восстановлен в должности приват-доцента кафедры минералогии в Московском университете.
- 1917** – член Совета Московского физического общества.
- 1917** – председатель секции физики НТО ВСНХ.
- 1919** – организовал Институт физико-химического исследования твердого вещества при ВСНХ. Назначен его заведующим и руководителем отдела кристаллофизики.
- 1919** – избран профессором кафедры минералогии Московского университета.
- 1921** – председатель Московского физического общества им. П.Н. Лебедева.
- 1921** – избран членом-корреспондентом Российской Академии наук.
- 1921** – действительный член Российской Академии художественных наук.
- 1924** – командирован в Германию, Англию, Францию.
- 1925** – 24 декабря скончался, похоронен в Тарусе.

Именной указатель

- Авенариус М.П.* 18
Александров А.И. 164, 166
Александрова 166
Алексат П.К. 146
Алексеев (Станиславский) К.С. 49
Амалицкий В.П. 59, 85, 120
Антонов Н.В. 156
Артемьев Д.Н. 139–141, 217–219
Аризуни А.Е. 40, 212
- Бабине Ж.* 28
Балтрушайтис Ю. 164
Бальмонт К.Д. 164
Баркер Т. 241
Бах А.И. 218
Бекетов Н.Н. 18
Бекке Ф. 70
Белов Н.В. 103
Беляев В.И. 15, 127
Берви О.В. 165
Богданов А.А. 221
Богословский М.Г. 155, 156
Болдырев А.К. 103, 200
Борман И.И. 24
Борисов-Мусатов В.Э. 164, 165, 240
Браве О. 52, 98, 103
Бруни Н.А. 9
Бруни (Вульф) О.В. 9
Брюсов В.Я. 221
Брэгг У.Г. 184, 206, 208, 241
Брэгг У.Л. 184, 206, 207, 241
Будников Д.Г. 156
Бутлеров А.М. 15, 18
- Вагнер Е.Е.* 15, 212
Васильев В.М. 189, 191, 218
Васильев К.В. 155, 156, 244
Ватагин В.А. 164
Ватич Н. 84
Вейберг С.А. 71, 82, 116, 130, 249, 250
- Вейс Х.* 98
Вернадский В.И. 36, 41, 85, 116, 117, 126, 130–132, 146, 220, 246
Вецкий Н.А. 124
Виола С. 103
Воробьев В.И. 36
Вороной Г.Ф. 15, 135
Востоков И.А. 14, 48
Вульф А.В. 9, 10
Вульф Б.В. 63, 207
Вульф В.В. 63
Вульф В.Г. 242
Вульф В.К. 7, 9
Вульф К.Ф. 7
Вульф (Гудима) Л.Е. 8, 9
Вульф Н.В. 9
Вульф (Янович) П.П. 7
Вульф Ф.К. 7
Вырубов Г.Н. 25, 113
- Гадолин А.В.* 98, 99, 103
Гаттерман Л. 60
Гаюи Р. 95
Гезехус Н.А. 29
Гельмгольц Г. 23
Гемелиан В.А. 17
Гессель И. 98, 99, 103
Гиббс Дж. 77
Глинка С.Ф. 32, 146, 217
Гольдгаммер Д.А. 24
Гольдшмидт В. 87
Гольштейн А.В. 49
Гольштейн В.А. 49
Гревингк К.И. 16
Грот П. 34–40
Гудима Е.В. 7, 8
Гудима Н.Е. 8
Гудима Р.Я. 8
- Давыдов Д.* 202
Дебай П. 226
Дейша Е. 144, 150

Делафос Ж. 52
Де-Метц Г.Г. 25
Дюфе Г. 111
Евдокимов И.В. 240
Егоров Н.Г. 14, 18–20, 25, 29
Егорова (Вульф) Т.В. 9, 20
Ерофеев М.В. 32
Жолтовский И.В. 221
Жуковский Н.Е. 18
Журавлев В.В. 164
Зайцев А.М. 15
Зелинский Н.Д. 146, 218, 246
Земятченский П.А. 32
Зилов П.А. 14, 18, 23–25
Зоммерфельд А. 157, 171, 184
Зонке Л. 25, 26, 39
Иванов В.И. 164
Иностранцев А.А. 16
Иоффе А.Ф. 85, 220, 246
Ипатьев В.Н. 229, 246
Каблуков И.А. 218, 229
Кандинский В.В. 221
Карандеев В.В. 146
Карпинский А.П. 85, 220
Касперович Г.И. 146
Квинке Г. 142
Кирпичева М.В. 227, 228
Кирхгоф Г. 23
Книппинг П. 170
Ковалевская С.В. 18
Ковалевский А.О. 18
Коленко Б.З. 36
Кондаков Н.Л. 29
Коновалов С.Т. 227
Коновалов Д.П. 229
Копчик В.А. 205
Корню А. 41–43, 48
Коссель В. 78
Кочубей В. 7
Крылов А.Н. 218
Кубацкая С.Т. 166
Кубацкий В.Л. 164
Кудрявцева Н.М. 242
Курнаков Н.С. 229, 246
Кюри П. 20, 73, 103, 231
Кюри Ж. 20

Лагорио А.Е. 14–18, 21, 29, 59, 85,
86, 103
Лазарев П.П. 134, 218, 221, 229
Лауэ М. 170, 241
Лебедев П.Н. 24, 134, 146, 149, 209,
212, 246
Лебедева 154
Левин А. 111
Леман О. 60, 61, 70, 142–144, 162,
163
Лембль Д.Ф. 29
Ленц Р.Э. 18
Либман Х. 79, 80
Лисицын Л.И. 150, 154, 155
Ломмель 38
Ломоносов М.В. 208
Луначарский А.В. 221

Майерс Х. 241
Малинин 240
Малиновский Г. 113
Малляр Э. 61, 112
Мамонтов С.И. 49
Мануйлов А.А. 145
Машков И.И. 221
Мёбиус А. 103
Менделеев Д.И. 14, 19, 208
Мензбир М.А. 145, 149
Мефодьева М.В. 156
Мечников И.И. 18
Минаков П.А. 145
Миннингероде Б. 103
Митрофанов П.И. 29
Млодзеевский А.Б. 150, 156, 162–
164, 244
Млодзеевский Б.К. 146
Моген Ш. 241
Мориц В.Э. 164, 166
Морозевич И.А. 17
Морозов Н.А. 209
Морозова В.А. 148
Мрозовский 21

Нарр 38
Насонов Н.В. 15
Нечаев А.В. 216
Оленина М.А. 164

- Павлов П.** 126
Палладин В.И. 15
Пашенный Н. 30
Петров В.В. 19
Петрушевский Ф.Ф. 19
Плетнев Д.Д. 156
Поленов В.Д. 50, 164, 166, 212
Поленова Е.Д. 166
Поленова (Вульф) Н.В. 164, 165, 236
Порт Г.Б. 156
Потылицин А. Л. 14
Прендель Р.А. 39
Раковский А.В. 229
Рейнитцер Ф. 59, 60
Рейш Е. 25, 26
Рентген К. 20
Ретгерс Я. 106, 107
Ринне Ф. 241
Рождественский Д.С. 218, 229
Розенбуш Г. 39
Рятс 155
Самойлов Я.В. 126, 146, 217
Сигсби С. 90
Сидоров А.А. 221
Сиома И. 116
Склифосовский Н.В. 18
Смолянинов Н.А. 218
Сомов П.О. 15, 101
Сонин Н.Я. 14
Стенон Н. 95, 229
Столетов А.Г. 23, 25
Тамман Г. 142
Татевосян Е.М. 164, 166
Терада 227
Тимирязев К.А. 146, 149, 156
Толмачев 155
Толстопятов М.А. 131
Третьяков П.М. 49
Умов Н.А. 18, 24, 146, 209
Умяков Н.П. 164
Успенский А.Н. 185–187, 238, 244
Успенский Н.Е. 157, 170, 227
Фарадей М. 208
Федоров Е.С. 32, 33, 40, 41, 53, 84, 87, 90, 103, 105, 138, 140, 141, 154, 155
Ферсман А.Е. 85, 133, 146, 154, 218, 220
Ферстер Ш. 50
Флинт Е.Е. 41, 218, 244, 249, 250
Фойгт В. 55, 103
Форлендер Д. 144
Франк С.Л. 221
Франкенгейм М. 141
Фридель Ж. 20, 144, 241
Фридрих В. 170
Ханкель Г. 20
Хапсхофер 39
Хассельбек 50
Хауэр Р. 76
Хвольсон О.Д. 24
Хилтон Х. 79
Хлопин В.Г. 229
Цветаев И.В. 164
Чаплыгин С.А. 146
Чапский С. 87
Чернышев Ф.Н. 40
Чичибабин А.Е. 229, 246
Шанявская (Родственная) Л.А. 147, 155
Шанявский А.Л. 147
Шенк Р. 142
Шенфлис А. 52
Шеррер Т. 226
Шиллер Н.Н. 24
Шитиков В.Д. 164, 238
Шовенет У. 90
Шпет Г.Г. 221
Шрауфф 63
Штебер Ф. 93
Шубников А.В. 103, 133, 150, 154–156, 197, 220, 230–232, 247, 249
Шустер А. 183
Эйхенвальд А.А. 23, 146, 208
Эренфест П.С. 159
Юон К.Ф. 221
Якунчиков В.И. 49
Якунчикова (Вульф) В.В. 49, 50, 59, 62, 116, 164, 166, 168, 169, 236–240
Якунчикова Н.В. 50
Якунчикова-Вебер М.В. 50, 116, 166, 211

Содержание

Предисловие	5
Семья	7
Варшавский университет. Годы учебы	12
Варшавский университет. Первые годы работы	23
Петербург, Мюнхен, Париж	32
Магистерская диссертация	51
Докторская диссертация	64
Работы по геометрической кристаллографии и симметрии кристаллов ...	87
Последние годы в Варшавском университете	105
В Московском университете	131
В университете им. А.Л. Шанявского	147
Работы по рентгеновской кристаллографии	170
Учебные пособия, научно-популярные книги и статьи	193
Возвращение в Московский университет. Последние годы жизни	217
Заключение	246
Библиография	251
Основные даты жизни и деятельности Г.В. Вульфа	267
Именной указатель	269

Научно-биографическое издание

Сонин Анатолий Степанович

Георгий Викторович Вульф
1863–1925

Утверждено к печати Редколлегией серии
"Научно-биографическая литература" Российской академии наук

Зав. редакцией *А.И. Кучинская*. Редактор *Л.С. Аюпова*
Художник *Т.В. Болотина*. Художественный редактор *В.Ю. Яковлев*
Технический редактор *А.Л. Шелудченко*
Корректоры *Р.В. Молоканова, А.В. Морозова, О.Е. Русакова*

Набор и верстка выполнены в издательстве на компьютерной технике
Качество иллюстраций соответствует качеству представленных автором оригиналов

ЛР № 020297 от 23.06.1997

Подписано к печати 02.07.01. Формат 60×90¹/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная
Усл.печ.л. 17,0. Усл.кр.-отг. 17,4. Уч.-изд.л. 19,9. Гип. зак. 4126

Издательство "Наука", 117997 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90

Санкт-Петербургская типография "Наука", 199034, Санкт-Петербург В-34, 9-я линия, 12

А.С. Сонин **Георгий Викторович Вульф**

НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ
ЛИТЕРАТУРА



А.С. Сонин
**Георгий
Викторович
ВУЛЬФ**

НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ
ЛИТЕРАТУРА

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НАУКА»
вышла в свет книга:

В.И. Оноприенко
ФЛОРЕНСКИЕ

28 л.

ISBN 5-02-002483-X



9 785020 024830

