

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р



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

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

Ю. И. Соловьев, В. И. Куринной

**Якоб
БЕРЦЕЛИУС**

Жизнь и деятельность

*Издание второе,
исправленное и дополненное*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1980

УДК 92 Я. Берцелиус

Соловьев Ю. И., Куринной В. И. **Якоб Берцелиус. Жизнь и деятельность.** М.: Наука, 1980. 320 с.

Книга посвящена жизни и деятельности выдающегося шведского химика Якоба Берцелиуса, 200-летие со дня рождения которого отмечалось в 1979 г. С именем Берцелиуса связано утверждение в химии атомистической теории, создание электрохимической теории. Его взгляды на природу и строение химических соединений оказали огромное влияние на развитие химии. Берцелиус — автор классических экспериментальных исследований по аналитической и неорганической химии. Он ввел в науку новые понятия и термины, которые употребляются до сих пор.

В монографии показан жизненный путь ученого, дан анализ его многогранной научной деятельности.

В Приложениях впервые на русском языке публикуются статьи Берцелиуса об изомерии, его переписка с Ю. Либихом, О. Лораном.

Книга рассчитана на широкий круг химиков, интересующихся историей развития науки, а также на преподавателей и студентов вузов.

Табл. 5. Ил. 28. Библ. 370 назв.

Ответственный редактор
профессор С. А. ПОГОДИН

Предисловие

В августе 1979 г. исполнилось 200 лет со дня рождения шведского ученого Йёнса Якоба Берцелиуса, с именем которого связана целая эпоха в развитии химии и смежных с ней дисциплин.

Когда с вершин современной науки оглядываешься назад, то вспоминаешь гигантов мысли, чьи труды, подобно мостам, соединяют нас с прошлым. К великим труженикам науки принадлежит и И. Я. Берцелиус — гордость Швеции и всего мира. Редко кому удавалось так возвысить научный престиж своей страны, как это удалось Берцелиусу. В 1820—1830-е годы Стокгольм стал центром мировой химической мысли. К голосу Берцелиуса прислушались в Париже и Берлине, Риме и Петербурге. Историки химии называют Берцелиуса «верховным судьей», чьих решений с нетерпением ждали ученые-химики.

При анализе причин ускоренного развития химии в первой половине XIX в., процесса дифференциации химии, создания условий для возникновения научных школ становится ясным огромное влияние работ Берцелиуса.

В начале XIX в. Берцелиус возглавил группу ученых, которые после А. Лавуазье активно включились в преобразование химии на новых началах. Он посвятил свои работы утверждению в науке теоретических доктрин Лавуазье и Дальтона, чтобы заря химии возвестила день большой науки.

Он встретил XIX век, когда химия лишь набирала силу; он ушел из жизни, когда химия стояла на пороге великих событий — открытия периодического закона химических элементов и создания теории химического строения органических соединений.

«Время, когда я жил, — писал Берцелиус, — особенно благоприятствовало той науке, которой я посвятил себя, а это время уже не возвратится. Когда я начал свое поприще, химия была почти в колыбели; ее объем не

истощал юношеских сил. Несмотря на постоянное ее развитие, немного требовалось времени, чтобы изучить ее во всем ее объеме. Но теперь, после сорокалетнего прогресса, она представляет для начинающего такую массу трудов, которую время, обыкновенно посвящаемое изучению науки, позволит ему усвоить только отчасти и совокупность которых, может быть, никто не будет в состоянии объять»¹.

Атомная теория Дальтона в первом десятилетии XIX в. была еще младенцем. К 1850-м годам атомно-молекулярная теория стала кардинальным учением химии и физики. Возмужала эта теория благодаря острому уму и заботливым рукам Берцелиуса.

Берцелиус стоял у истоков электрохимии. Он объединил электрохимические представления с атомистической теорией и высказал величайшей важности идею о тесной связи атомов с электричеством, идею, которая открыла химикам и физикам неограниченную возможность изучения причин образования химических соединений.

В начале XIX в. органической химии как самостоятельной науки не было. К середине века органическая химия стала уже в авангарде химии. Она блистала своими многочисленными открытиями, которые нашли важное практическое применение. Представить этот беспрецедентный рывок без Берцелиуса невозможно. Он одним из первых позвал ученых в удивительный мир катализа.

В начале XIX в. минералогия представляла собой хаос сведений о минералах. К 1850-м годам, главным образом благодаря трудам Берцелиуса, в минералогии произошли революционные преобразования. Минералогия Берцелиус провозгласил как химию земной коры.

В первой половине XIX в. химики заговорили химическим языком, разработанным Берцелиусом. На этом же языке говорят и современные химики.

Учение о химическом соединении Берцелиус обогащает новыми представлениями. Именно он открыл перед химиками многообразный мир неорганических и органических веществ, в котором проявляются удивительные явления изомерии, метамерии, полимерии, аллотропии, изоморфизма, полиморфизма.

¹ Цит. по: *Мин Д. Е.* Об успехах новейшей химии и заслугах Берцелиуса.— Москвитянин, 1853, т. 1, с. 18.

В речи «Берцелиус и мы» П. И. Вальден в 1929 г. говорил: «Берцелиус включил в свой *строительный план* неорганическую и органическую химию, аналитическую и минералогическую, физиологическую химию и электрохимию; он дал *строительный материал*, исследуя химические элементы, число которых увеличил новыми открытиями; он положил *фундамент*, расположив атомы по размеру, числу и весу, и связал их электрическими силами. Он больше, чем кто-либо до него, способствовал основанию века *количественной химии*; он оставил этому веку новый *язык символов*, ценные новые *понятия* и новых *мастеров химии*»².

Научные и человеческие качества Берцелиуса — трудолюбие, принципиальность, стремление поддержать талант — притягивали к нему молодых ученых, многие из которых стали выдающимися химиками своего времени. Достаточно назвать имена Э. Митчерлиха, Ф. Вёлера, Генриха и Густава Розе, К. Мозандера, Г. И. Гесса.

Его учебники и знаменитые «Ежегодные сообщения об успехах физики и химии» сыграли большую роль в воспитании научных кадров химиков многих стран.

Жизнь и деятельность Берцелиуса, его образ привлекали внимание историков науки различных стран. Шведский ученый Г. Сёдербаум написал капитальное трехтомное исследование, посвященное жизни и деятельности Берцелиуса (т. I—III, 1929—1931).

В 1893 г. были изданы письма И. Я. Берцелиуса и Ю. Либиха (1831—1845 гг.)³. В 1901 г. О. Валлах издал в двух томах переписку Берцелиуса с Ф. Вёлером (с 1823 по 1848 г.)⁴. Обширное эпистолярное наследие Берцелиуса, Либиха и Вёлера содержит богатый материал, характеризующий эволюцию взглядов ученых по важнейшим вопросам химии того времени, взаимоотношения Берцелиуса с различными учеными, и поэтому имеет для истории науки исключительный интерес. Систематическая публикация эпистолярного наследия была начата в 1912 г. Г. Сёдербаумом и закончена в 1941 г.

² Walden P. Berzelius und wir. Ein Gedenkwort zu Berzelius'150-Geburtstage.— Z. angew. Chem., 1930, Bd. 43, S. 325—329, 351—354, 366—370.

³ Berzelius und Liebig. Ihre Briefe von 1831—1845. München; Leipzig, 1893.

⁴ Briefwechsel zwischen J. Berzelius und F. Wöhler. Bd. I—II. Leipzig, 1901.

А. Хольмбергом; она содержит шесть томов в 14 выпусках, с двумя добавлениями. В 1933—1953 гг. Хольмберг составил также полную библиографию печатных работ, рукописей и переписки Берцелиуса, включив в нее 3250 писем Берцелиуса и 7150 писем к нему⁵.

В последнее время опубликовано немало научных и популярных книг и статей о великом шведском ученом. Из этих работ следует назвать два крупных исследования: книгу шведского историка А. Лундгрена «Берцелиус и химическая атомная теория» и диссертацию Э. Мельхадо «Я. Берцелиус: основания и развитие его химии»⁶.

Новые данные о жизни и деятельности Берцелиуса позволили существенно переработать и дополнить первое издание нашей книги о шведском ученом (см. *Соловьев Ю. И., Куринной В. И.* Якоб Берцелиус. Жизнь и деятельность. М.: Изд-во АН СССР, 1961).

Предисловие, главы V, VII и Заключение заново написаны Ю. И. Соловьевым, глава II написана совместно с кандидатом химических наук И. С. Дмитриевым, глава III — И. С. Дмитриевым. В Приложениях впервые на русском языке публикуются научная переписка И. Я. Берцелиуса с Ю. Либихом, О. Лораном, Р. Хэйем, а также представляющее большой научный интерес письмо Дж. Дальтона Я. Берцелиусу. В Приложениях помещены также впервые переведенные на русский язык фрагменты статей Берцелиуса «Заметки по поводу химических пропорций и некоторых связанных с ними обстоятельств, вместе с кратким и удобным методом их выражения», «Отличие изомерии от аналогичных состояний», реферат «Об изомерии».

Авторы выражают благодарность д-ру А. Лундгрону и д-ру Э. Мельхадо за предоставление своих ценных работ о Берцелиусе, а также д-ру М. Фрикэ за статью, посвященную историко-логическому анализу теоретической интерпретации законов Гей-Люссака.

⁵ Bibliographie de J. J. Berzelius, publiée au new l'Academie royale des sciences de Suéde, par Arne Holmberg. Stockholm, 1936, P. 1/2.

⁶ *Lundgren A.* Berzelius och den kemiska atomteorin. Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1979. 210 s.; *Evan Marc Melhado.* Jac. Berzelius: Foundations and Development of his Chemistry.—Dissertation, Princeton University (USA), 1977.

Глава первая

Биографический очерк

В южной части Швеции, близ небольшого городка Линчёпинга среди полей затерялось селение Вэферсунда. Здесь 20 августа 1779 г. в деревянном домике в семье учителя родился Йёнс Якоб Берцелиус¹.

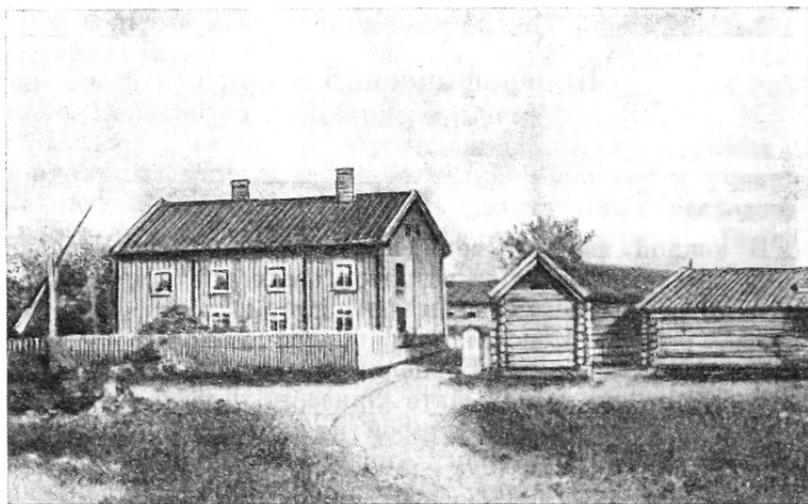
Отец Якоба Самуил Берцелиус умер через четыре года после рождения сына. Мать Элизабет Доротея Съёстен в 1785 г. вступила во второй брак с вдовцом — отцом пятерых детей — пастором Андерсом Экмарком. Когда Якобу было девять лет, умерла его мать. Маленький Якоб и его сестра Флора остались на попечении отчима. Он не был обеспеченным человеком, однако все же нашел средства, чтоб нанять домашнего учителя. Читать и писать Якоб научился в раннем детстве, а в возрасте шести лет стал вести дневник.

Экмарк поощрял любознательность детей и часто устраивал прогулки за город с чисто познавательной целью. Якоб очень любил эти экскурсии. Особенно он увлекался изучением флоры и фауны окрестных мест. Сохранились воспоминания Берцелиуса [1, с. 4] о том, что Экмарк, пораженный рвением, с которым мальчик собирал растения, и меткостью его замечаний, однажды сказал ему: «Якоб, у тебя довольно дарований, чтобы идти по следам Линнея»², имя которого стало гордостью Швеции. Многие отцы семейств мечтали о том, чтобы их сыновья пошли по стопам знаменитого соотечественника и прославились в науке.

В 1793 г. Якоб Берцелиус поступил в гимназию Линчёпинга. Учился он не особенно старательно, но сразу проявил интерес к естественным наукам и начал коллекционировать чучела птиц, насекомых и растения, а

¹ Подлинная фамилия — Берцелий (Berzelii), однако для многих шведских фамилий характерна латинизация, идущая от средневековой традиции.

² Карл Линней (1707—1778) — шведский естествоиспытатель и натуралист. Автор выдающихся трудов: «Система природы», «Основы ботаники», «Виды растений» и др. [2].



Дом, в котором родился Я. Берцелиус

также увлекался охотой, забывая строгие правила школы.

В 1794 г. юноша, чтобы улучшить свое материальное положение, прервал учебу, заняв место домашнего учителя в одной богатой семье. Но с начала 1795 г. Якоб продолжает занятия в гимназии, а под влиянием нового учителя естествознания, который только что возвратился из научной поездки в Вест-Индию, начал изучать флору и фауну Линчепинга. Гимназию он окончил с аттестатом для поступления в университет, в котором, между прочим, были отмечены «хорошие природные задатки, но и плохой нрав и сомнительные надежды» [1, с. 13]. Данный отзыв — весьма забавный пример недалёковидности учителей.

В конце сентября 1796 г. семнадцатилетний юноша приехал в Упсалу — старинный университетский город Швеции. Здесь он 18 октября сдал вступительный экзамен, и с марта 1797 г. Якоб Берцелиус — студент-медику Упсальского университета. Но средства к существованию были весьма ограничены, и ему приходилось ради мизерного заработка давать уроки. Чтобы давать уроки, он изучил французский, немецкий и английский языки, знание которых оказало ему впоследствии огром-

ную помощь в чтении научной литературы на языке оригинала и в переписке почти со всеми крупными европейскими учеными. Осенью 1798 г. студент Берцелиус получил, наконец, небольшую стипендию и 5 декабря 1798 г. сдал медико-философский экзамен. Химия пока его мало интересовала. Более того, он так плохо ее знал, что профессор химии Й. А. Афцелиус после продолжительного экзамена заявил, что если результаты и по другим предметам окажутся столь неблагоприятными, то вряд ли юноша сможет продолжать учебу. Но экзамен по физике прошел хорошо и спас положение.

Начало самостоятельного знакомства Берцелиуса с химией относится к 1799 г., когда двадцатилетний юноша стал изучать учебник немецкого химика Х. Гиртаннера «Начальные основания антифлогистической химии». Это было доступное, хорошо написанное учебное руководство, которое, по словам Берцелиуса, заставляло молодой ум обращаться к фактам, а самое главное, знакомило с идеями кислородной теории французского ученого А. Лавуазье³. Так впервые произошло знакомство Я. Берцелиуса с основными положениями учения Лавуазье, оказавшего на него огромное влияние. В дальнейшем мы увидим, что кислородная теория Лавуазье ляжет в основу большей программы химических исследований Берцелиуса, но тогда, в 1799 г., ни сам юноша, ни его учителя не могли даже предполагать это.

Более того, когда весной 1799 г. Берцелиус пожелал принять участие в практических работах химической лаборатории, Афцелиус спросил его с удивлением и раздражением, знает ли он разницу между лабораторией и кухней [4, с. 23]. Да, его ученик уже не только знал, что такое химическая лаборатория, но и мечтал начать самостоятельные химические опыты. У него появилась непреодолимая жажда исследования, которая осталась потом на всю жизнь.

Старшие студенты имели возможность работать в лаборатории только три раза в неделю. Однако Я. Берцелиуса это не удовлетворяло, и, не получив согласия Афцелиуса на более частые посещения, он подкупил служителя и проникал в лабораторию во время отсутствия

³ Академик Я. Д. Захаров, который в 1801 г. перевел учебник Х. Гиртаннера на русский язык, писал, что автор ясно «изъяснил, по умозрению Лавуазье, все в природе случающиеся, как физические, так и химические, явления» [3].

профессора через черный ход. Однажды Аффелиус застал Якоба в лаборатории в неурочный час. Стоя позади юноши в темноте, он наблюдал за его работой. Увидев Аффелиуса, Берцелиус смутился и подумал, что будет исключен из университета. Но произошло неожиданное: «Теперь вы можете пользоваться парадным входом в лабораторию и можете входить в нее с моего ведома», — сказал профессор.

Не слишком полагаясь на знания Берцелиуса, Аффелиус поручил ему самое простое — приготовить железный шафран (препарат Fe_2O_3), т. е. прокалить сернокислое железо (III) в тигле. Берцелиус выразил свое недовольство такой неинтересной и пустой работой, и профессор обещал дать в другой раз какой-нибудь опыт поинтереснее. Когда же настал этот день, он предложил ему прокалить в том же тигле кремортартар (кислую виннокалиевую соль) для приготовления поташа. «Я был так недоволен, — писал Берцелиус, — отсутствием интереса в подобных опытах, что решился не просить больше о поручении мне опытов. Впрочем, я продолжал посещать лабораторию и его лаборанту А. Экебергу весьма не нравилось то, что я работал молча и никогда не задавал им никаких вопросов; я старался объяснить себе все вопросы чтением, размышлением, опытами и не хотел обращаться к людям, которые сами, не имея практических познаний, давали мне если не уклончивые, то по крайней мере неудовлетворительные ответы о явлениях, понятных им самим только вполовину» [1, с. 26].

Хотя Аффелиус и позволил Берцелиусу пользоваться лабораторией в любое время, простые химические операции, проводившиеся там, не удовлетворяли пытливым ум любознательного студента. Вскоре он снял комнату с небольшим чуланом, который оборудовал под лабораторию и стал экспериментировать каждую свободную минуту. Два года принимал он участие в общих лабораторных опытах, а в своей домашней лаборатории ставил опыты, которые не проводились в общем практикуме.

В то время в химию на смену устаревшему учению о флогистоне внедрялась кислородная теория Лавуазье. Между флогистиками и сторонниками теории Лавуазье шла острая дискуссия [4]. Наставники Берцелиуса следовали старым взглядам, их ученик принял новое учение. Он приготовил в своей домашней лаборатории кислород

и в присутствии товарищей сжег в нем разные вещества. Для студентов Упсальского университета это были первые опыты, знакомившие их с кислородной теорией Лавуазье.

По словам С. Канницаро, «Берцелиус в то время, когда определялось направление его исследований... принимал прямое участие в подтверждении теории Лавуазье, которая поэтому сильно утвердилась в его уме и сделалась рамкой, в которую вкладывались другие познания» [5].

Каждый опыт укреплял в молодом Берцелиусе веру в кислородную теорию Лавуазье. Он настойчиво старался самостоятельно разрешать трудные вопросы, которые возникали при изучении некоторых химических явлений.

Было бы неверно думать, что студент Берцелиус все время проводил в химической лаборатории. Далеко не так. В Упсале он был членом «Якобинской хунты», принимал участие в философских спорах между сторонниками и противниками кантианства. Часто посещал библиотеку Университета.

Летом 1799 г. он работал в лавке аптекаря, где научился у одного итальянца искусству паять стекло и делать стеклянную посуду. Умение и ловкость, приобретенные им в этом деле, имеющем столь важное значение в лабораторных работах, впоследствии всегда удивляли его учеников.

Зимой 1799 г. Берцелиус одновременно с учебной работой помощником врача на Минеральных водах в Медеви. В декабре 1800 г. Берцелиус сделал анализ минеральной воды, послуживший темой для его диссертации. Степень кандидата медицины была присвоена Берцелиусу 20 мая 1801 г.

В 1800 г. Берцелиус изучал действие азотной кислоты на этиловый спирт и свойства веселящего газа (закиси азота). «Однажды,— вспоминает Берцелиус,— я был занят приготовлением азотной кислоты и заметил выделение какого-то газа. Я собрал его в бутылках, чтобы выяснить, что это за газ. Я подозревал, что это кислород, и никогда не переживал моментов столь глубокой и чистой радости, как в те моменты, когда введенная мною в газ тлеющая лучинка вспыхнула пламенем и осветила мою темную лабораторию» [1, с. 25—26]. Работу об этом исследовании Берцелиус передал Аффелиусу, чтобы тот сообщил о ней Академии наук в Стокгольме. Три года спустя

секретарь Академии возвратил ему эту работу со следующей краткой надписью: «Новая химическая номенклатура в Академии не употребляется» [1, с. 38]. Теория флогистона, таким образом, все еще господствовала в Стокгольмской Академии наук. Это несправедливое суждение огорчило молодого ученого, но не помешало ему продолжать жадно овладевать естественнонаучными знаниями.

В конце XVIII — начале XIX в. в библиотеку Упсальского университета все больше стало поступать французских энциклопедий, журналов и учебников. Именно из них частый посетитель библиотеки Якоб Берцелиус узнает о новых открытиях в химии и физике. Литература, связанная с изучением электрических явлений (работы Б. Франклина, Дж. Пристли, Г. Кавендиша, Л. Гальвани, А. Вольта и др.), привлекла к себе повышенный интерес любознательного юноши. Особый интерес вызывали опыты с «животным электричеством». Из работ Гальвани следовал вывод, что при соединении металлической дугой мышц и нервов препарированной лягушки происходит мышечное сокращение. При этом, когда дуга была составлена из различных металлов, наблюдались более сильные сокращения, чем когда дуга изготовлялась из одного металла. Аналогичные явления наблюдал и другой итальянский физик — Вольта. Однако, в отличие от Гальвани, он полагал, что сокращения мышц представляют собой вторичный эффект, все дело в контакте разнородных металлов.

По-видимому, Берцелиус обратил внимание на оживленную дискуссию о природе гальванического электричества, которая в то время широко развернулась на страницах научных журналов. Статьи Гальвани, Вольта, немецкого электрохимика И. В. Риттера и других он читал с неослабевающим интересом, естественно пока не зная, кто из этих ученых прав и к какой точке зрения нужно примкнуть. Но Берцелиус чувствовал, что исследования с «животным электричеством» таят в себе большие возможности и загадки, открыть которые предстояло науке.

Видимо, с огромным интересом Берцелиус ознакомился с письмом Вольта Президенту Лондонского Королевского общества Дж. Бэнксу. Письмо было написано 20 марта 1800 г. и опубликовано в том же году [6]. В нем сообщалось об изобретении батареи, которая состояла из 20, 40, 60 или большего числа кружков меди или серебра,

положенных каждый на кружок свинца или цинка. Между кружками меди и цинка прокладывались кружки сукна, картона или кожи, пропитанные соленой водой. В этом и заключалось все устройство вольтовой батареи. Естественно, что воспроизвести такой прибор не составляло большого труда.

В истории естествознания не так много примеров, когда до удивления простой прибор вызвал столь большие последствия. Эксперименты с вольтовой батареей легли в основу электрохимии — нового направления в развитии науки и техники. Уже в 1800 г., когда было опубликовано письмо Вольты Бэнксу, во многих странах были построены вольтовы батареи и наблюдались удивительные явления, вызванные гальваническим электричеством.

30 апреля 1800 г. Э. Карлайл⁴ построил батарею, используя серебряные и цинковые пластины. Для улучшения контакта Карлайл капнул на верхнюю пластину несколько капель воды и заметил выделение газа. Он рассказал об этом У. Николсону⁵, много лет занимавшемуся исследованием электричества, который предположил, что выделяющийся газ является водородом. Совместные эксперименты Николсона и Карлайла, проведенные 2 мая 1800 г., показали, что при пропускании электрического тока через слегка подкисленную воду последняя разлагается с выделением водорода на одном полюсе и кислорода на другом⁶.

Из наблюдений Николсона и Карлайла особое удивление вызвало выделение водорода и кислорода на разных полюсах батареи. «Этот новый факт, — писали английские исследователи, — еще ждет своего объяснения; по-видимому, он указывает на некоторый общий закон действия электричества в химических процессах» [7, с. 187]. Предстояло выяснить, чем обусловлены наблюдаемые явления — спецификой действия батареи или же природой ве-

⁴ Энтони Карлайл (1768—1840) — английский хирург.

⁵ Уильям Николсон (1753—1815) — английский химик и технолог, издатель «Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts».

⁶ Николсон и Карлайл не знали о том, что Вольт ранее наблюдал разложение солей электрическим током и окисление металлических пластинок, в частности цинковых, так как эти явления были описаны им во второй части письма к Бэнксу. Полностью письмо Вольты 1800 г. зачитано в Лондонском Королевском обществе 18 июня 1800 г.

ществ,— участников электрохимической реакции. При этом высказывались различные точки зрения, порой весьма фантастичные.

Так, французский ученый Г. Монж считал, что поскольку у отрицательного полюса собирается газообразный водород, то он должен давать соединение, содержащее больше кислорода, чем вода, т. е. должен образовывать окисленную воду. В то же время, так как у положительного полюса собирается газообразный кислород, следует допустить, что освобождающийся там водород образует гидрогенизированную воду. Эти два соединения (*l'eau oxugénée et l'eau hydrogénée*) могут сосуществовать только под действием электрического тока, и как только это действие прекращается, они реагируют друг с другом, в результате чего образуется вода. Это представление сталкивалось со многими трудностями и к тому же было недоказуемо.

У Риттера было другое мнение. Он считал, что при электролизе не происходит разложения воды на водород и кислород. По его мнению, «водород» есть все та же вода, но в соединении с положительным электричеством, а «кислород» — это тоже вода, но соединенная с отрицательным электричеством [8].

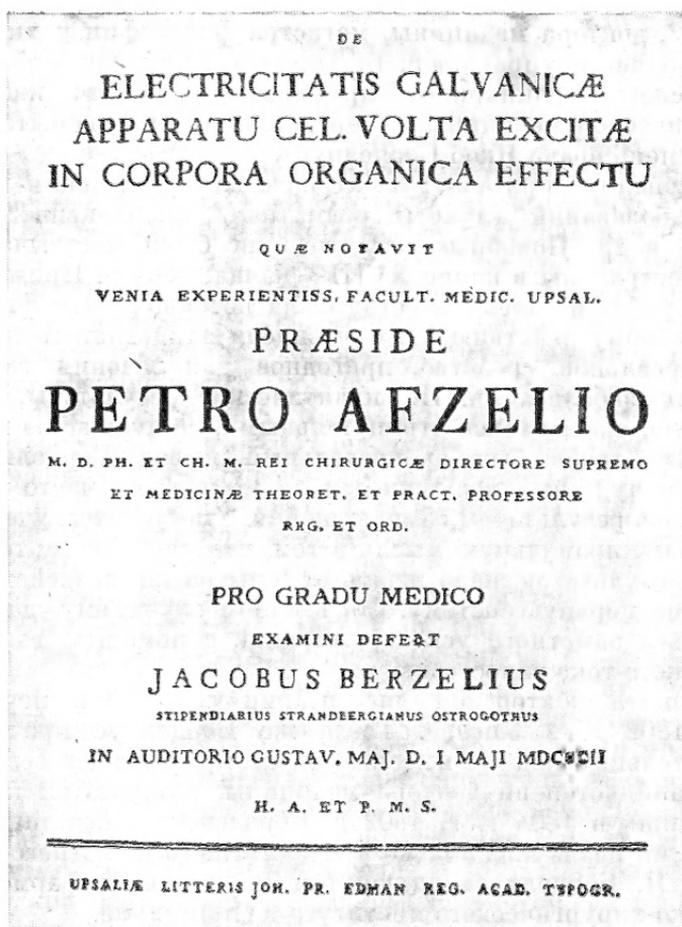
А. Фуркруа считал, что имеют место два явления: полное разложение вещества у полюсов и невидимый перенос электрическим током одного из элементов от полюса к полюсу.

Высказывались и другие точки зрения. Но постепенно все большее число ученых склонялось к мнению, что факт выделения кислорода и водорода на разных полюсах показывал различную электрическую природу этих веществ, что дало, в свою очередь, толчок к появлению многочисленных электрических теорий химического сродства⁷. К этой группе ученых примкнул и Берцелиус.

В июле 1800 г. Берцелиус построил, вероятно, не без помощи Л. Х. Экмарка⁸, электрический столб, который взял с собой в Медеву для наблюдения действия электричества на живые организмы. И хотя в силу материальных затруднений серебряные пластины пришлось заменить

⁷ Укажем на статью Николсона, опубликованную в 1795 г. [9, с. 154, статья «Attraction»].

⁸ Ларс Христовер Экмарк (1776—1808) — шведский физик, доцент Упсальского университета.



Титульный лист докторской диссертации Я. Берцелиуса

на медные,— это не привело к заметному ухудшению работы батареи.

Проведенные в Мёдеви исследования были затем продолжены в 1802 г. и легли в основу докторской диссертации Берцелиуса, опубликованной на латинском языке. На титульном листе диссертации было написано: «О действии гальванического электричества, возбужденного посредством аппарата знаменитого Вольта, на живые организмы, которое наблюдал с дозволения искуснейшего Упсальского медицинского факультета под началом Петра Аффе-

лиуса⁹, доктора медицины, магистра философии и хирургии, главного управляющего хирургической службой, королевского ординарного профессора теоретической и практической медицины, и представляет для испытания на степень врача Якоб Берцелиус».

Берцелиус применял электричество для лечения многих заболеваний: глухоты, ревматизма, апоплексического удара и др. Подобные исследования были чрезвычайно распространены в конце XVIII— начале XIX в. Примерно треть работ по электричеству была посвящена его физиологическому действию. Многие видели в гальванизме некое универсальное средство, пригодное для лечения самых разных заболеваний. Но практические результаты, как правило, оказывались отрицательными, «*galvanismus nihil effecit*» — таков был окончательный вывод Берцелиуса. Вера в чудесные возможности электричества часто оказывалась результатом самовнушения. Вместе с тем ученый высказал правильную мысль о том, что наиболее интересных результатов надо ждать от опытов по воздействию тока на нервную систему. Так, в одном случае ему удалось добиться заметного успеха, устранив с помощью гальванического тока гипостезию.

Защита докторской диссертации состоялась первого мая 1802 г. в Упсале. Тогда же Берцелиус прочитал обязательные лекции и, таким образом, выполнил все для соискания степени доктора медицины, которую он получил лишь в 1804 г. В 1802 г. Королевская медицинская коллегия назначила только что достигшего 23-летнего возраста Я. Берцелиуса адъюнктом медицины и фармации Медико-хирургического института в Стокгольме.

Проблема изучения физиологического действия гальванического электричества, однако, не увлекла молодого ученого, как не увлекла вообще медицина. Вскоре после защиты диссертации его научные интересы получили иное направление. Он понял, что особое значение могут приобрести исследования, посвященные изучению химического действия электрического тока.

В 1802 г. было опубликовано на шведском языке первое электрохимическое исследование Берцелиуса «*Aufhandling om Galvanismen of J. Jacob Berzelius. Stockholm;*

⁹ Петр А ф ц е л и у с (1760—1843) — профессор Упсальского университета, главный хирург шведской армии, пользовался репутацией лучшего врача Швеции.

1802». В этой работе он критиковал Риттера, который утверждал, что при электролизе не происходит разложения воды. Вода, по мнению Риттера, представляет собой простое тело, которое на положительном полюсе целиком превращается в кислород, а на отрицательном — в водород. Берцелиус отстаивал взгляд, согласно которому вода состоит из кислорода и водорода. Он выступал против контактной теории Вольта, считая ее не соответствующей действительности (мнение, от которого Берцелиус впоследствии отказался). Электричество Берцелиус ошибочно понимал как вещество, которое входит с телами в «химические соединения».

В 1802 г. Берцелиус совместно с В. Хизингером¹⁰ провел электрохимические исследования, которые были опубликованы на немецком языке в феврале 1803 г. Работа была посвящена изучению электролиза различных солей, серной кислоты и других веществ.

В 1807 г. в Англии Гемфри Дэви опубликовал работу, в которой сформулировал выводы, близкие к выводам своих шведских предшественников. Однако некоторые выводы Дэви шли вразрез с представлениями шведских ученых. В частности, он выступал против дуалистического взгляда Берцелиуса на химические соединения. Дэви, в противоположность Берцелиусу, считал, что в процессе электролиза не происходит разделения соли на основание и кислоту. Эти вещества образуются, согласно Дэви, лишь у электродов в результате передвижения в растворе определенных составных частей соли. В 1807 г. за электрохимические исследования Дэви была присуждена во Франции премия им. А. Вольта.

Работа Берцелиуса и Хизингера в то время оставалась в тени. Позднее, в 1819 г., Л. Н. Воклен счел необходимым написать Берцелиусу следующее: «В знак заслуженного Вами внимания мы считаем необходимым Вам сообщить, что если бы нам была известна Ваша и Хизингера работа о химическом действии столба тогда, когда Дэви получил большую премию, то мы разделили бы ее между Вами и им» [4, с. 40]. Сам Берцелиус писал в 1828 г.: «Никто из тех, кто читал статью Гемфри Дэви 1807 г., не может отклонить выдвинутые им доводы. Эта статья содержит пер-

¹⁰ Вильгельм Хизингер (1766—1852) — шведский ученый и промышленник. Автор более 40 научных работ по химии, минералогии, геогнозии и палеонтологии.

вые признаки электрохимической теории и является, конечно, одним из прекраснейших результатов, встречающихся в научной литературе этого столетия. Но ведь не пострадала бы честь этих прекрасных открытий, сделанных Дэви, оттого, что на том же пути что-то было сделано уже до него» [10].

В 1803 г. появилась еще одна совместная работа Берцелиуса и Хизингера, в которой сообщалось об открытии нового химического элемента — церия (по имени открытой в 1801 г. астрономом Пьяцци малой планеты Цереры). Этот же элемент одновременно был открыт в Берлине М. Г. Клапротом¹¹. Берцелиус и Хизингер разделили с Клапротом честь открытия церия, однако, по воспоминаниям Берцелиуса, они «торжествовали, что определили природу нового вещества точнее, чем величайший химик-аналитик Европы» [1, с. 29]. Этим открытием Якоб Берцелиус впервые прославил себя в химическом мире.

Открытие церия было сделано Берцелиусом в возрасте 24 лет, что свидетельствует о его прекрасном знании уже в то время фактического материала химии. Об этом ученик Берцелиуса Генрих Розе писал впоследствии: «Открытие нового металла является, конечно, часто делом случая. Но не каждый химик, хотя случай и благоприятствует ему, в состоянии признать новым до сих пор неизвестное при исследовании вещество. Для этого необходимо такое уверенное знание известных тел, которое может возникнуть лишь после многочисленных «прилежных» практических работ, благодаря долгому опыту. Поэтому новые элементарные вещества открываются не легко молодыми и даже немолодыми, хотя и очень талантливыми, химиками. Открытие церия свидетельствует поэтому о большом и редком умении, которое он проявил в высокой степени уже в своих первых работах» [11].

В 1806 г. Берцелиус написал первый том учебника физиологической химии (лекции по животной химии). В 1808 г. он приступил к изданию многотомного учебника химии, по которому впоследствии училось несколько поколений химиков разных стран.

В 1807 г. Я. Берцелиус был утвержден ординарным профессором химии и фармации медицинского факультета Стокгольмского медико-хирургического института.

¹¹ Мартин Генрих Клапрот (1743—1817) — немецкий химик, крупнейший специалист в области химического анализа.



Якоб Берцелиус

Здесь Берцелиус читал медицину, ботанику и фармацию. Вскоре он начал читать и курс химии.

Первоначально ббльшим успехом пользовались его лекции по фармации, в то время как на лекции по химии ходило мало слушателей. Это объяснялось тем, что лекции, как правило, не сопровождались никакими демонстрациями и поучительными опытами. Этот способ преподавания «меловой химии» был традиционным во многих университетах и институтах. Профессора только на словах рассказывали о свойствах и составе разных веществ без наглядных лекционных экспериментов. Для студентов такие лекции были весьма скучны и мало понятны.

В Медико-хирургическом институте Берцелиус делал все возможное, чтобы улучшить систему преподавания. Как член Главной преподавательской комиссии он стремился реорганизовать Институт в высшую школу с равными правами с медицинским факультетом Государственного университета. Однако его не поддержало большинство членов комиссии, и результаты его усилий были незначительны.

В 1808 г. Берцелиус избирается членом, а в 1810 г. Президентом Шведской Академии наук. С 1818 г. он непрременный секретарь Академии.

В 1810—1811 гг. Берцелиус принимал участие в задуманной шведским правительством реформе фармацевтической и химической номенклатуры. С этой целью он написал статью «Опыт химической номенклатуры», опубликованную в 1811 г.

Широте научных взглядов Берцелиуса во многом способствовали его связи с зарубежными учеными. Уже в начале научной деятельности Берцелиус установил контакт со многими учеными, в том числе с К. Л. Бертолле и Г. Дэви. Бертолле пригласил его посетить Париж, однако поездка не состоялась из-за войны. Зато Берцелиус получил разрешение на въезд в Англию, где прежде всего хотел посетить Дэви. По прибытии в Лондон летом 1812 г. он встретился со знаменитым английским ученым. Берцелиус так описывает эту встречу: «Я прибыл в Королевский институт; там меня ввели в минералогический кабинет и попросили подождать. Прошло приблизительно 10 минут, прежде чем появился сэр Гемфри Дэви... Мы сказали друг другу несколько любезностей, я передал Дэви диплом Шведской Академии наук... он сказал мне, что на первом заседании Королевского общества меня вы-

берут в члены этого общества... Он повел меня в лабораторию, представляющую довольно хорошо оборудованную комнату, одна часть которой была собственно лабораторией, а другая — аудиторией. Здесь был своего рода беспорядок, неизбежный во всякой лаборатории, в которой работают, где все должно лежать под руками, чтобы не мчаться каждый раз, когда это необходимо, к шкафу или полке... Теперь я получил радостное убеждение, которое раньше было только предчувствием, что убранный лаборатория свидетельствует о ленивом химике» [1, с. 75].

В Королевском обществе Дэви познакомил Берцелиуса со многими его выдающимися представителями: Дж. Банксом, Президентом общества, В. Гершелем, Дж. Уаттом, У. Уолластоном, С. Теннантом, Т. Юнгом и др. На следующий день Дэви пригласил его к себе, где они совместно проработали несколько часов. Берцелиус убедился в широте взглядов, ясности и глубине мысли Дэви, однако увидел, что превзошел его в знании фактического материала. На прощание Дэви подарил ему свою новую книгу «Элементы химической философии» с просьбой высказать свои критические замечания.

В Лондоне Берцелиус познакомился и с швейцарским ученым А. Марсэ, работавшим в то время в Англии. В его лаборатории они провели совместное исследование сероуглерода.

В письме к Бертолле Берцелиус писал, что его поездка в Англию «оказалась очень интересной и поучительной» [12, с. 41]. С особой теплотой Берцелиус отзывался об Уолластоне: «Он сообщил мне о своих планах, касающихся его теоретических идей по химии... Простота, ясность и высокая степень правдоподобия являются постоянными спутниками его доводов» [12, с. 41—42]. В письме к Дэви Берцелиус указывал основную тему своих бесед с английским ученым: «Я много говорил с д-ром Уолластоном об определенных пропорциях и об атомистическом способе рассматривать составы тел» [12а, с. 32].

Из Лондона 1 августа 1812 г. Берцелиус написал письмо в Манчестер Дж. Дальтону, в котором поблагодарил его за подарок — работу «Новая система химической философии» (том I, часть II, 1810 г.). В свою очередь Берцелиус послал Дальтону работу, посвященную изучению определенных соотношений и определению атомных весов элементов.

20 сентября 1812 г. Дж. Дальтон написал Берцелиусу большое письмо, содержание которого мы приводим в Приложении 1. В ответном письме от 16 октября 1812 г. Берцелиус высказал Дальтону свою точку зрения о значении для химической атомистики закона простых объемных отношений, открытого Гей-Люссаком. «Я считаю,— писал Берцелиус,— что эти опыты (Гей-Люссака.— *Авт.*) являются лучшим доказательством вероятности атомистической теории».

По-видимому, поездка в Англию дала толчок к окончательному переходу Берцелиуса на атомистические позиции. И, вероятно, не случайно именно на страницах английского журнала, издаваемого Николсоном (в февральском и мартовском номерах за 1813 год), шведский химик изложил свою электрохимическую теорию практически в законченном виде, связав идею об электрической природе химического сродства с атомной теорией вещества.

После пятимесячного отсутствия в ноябре 1812 г. Берцелиус возвратился в Стокгольм, удовлетворенный своей поездкой. Результатом поездки явилось, однако, и временное отчуждение между Берцелиусом и Дэви. Получилось так, что критические замечания Берцелиуса по книге Дэви стали известны Дэви раньше, чем о них сообщил сам Берцелиус. Вскоре Берцелиус подвергся нападкам друзей Дэви на страницах английских научных изданий, однако он не придал этому большого значения и с помощью своих коллег в конце концов восстановил научный контакт с Дэви.

Весной 1818 г. Берцелиус заболел. У него появились признаки серьезного переутомления, и, по совету своих друзей, Берцелиус предпринял длительную поездку за границу. Он посетил Англию, Францию, Швейцарию, Германию. Во время путешествия Берцелиус познакомился со многими крупными учеными Европы. Так, в Лондоне, где он находился около месяца, Берцелиус познакомился с В. Праутом и другими английскими химиками. В августе 1818 г. Берцелиус прибыл в Париж, где посетил К. Бертолле, который принял его очень дружески и познакомил с П. Лапласом, Ж. Кювье, Ж.-Л. Гей-Люссаком, Л. Тенаром, П. Л. Дюлонгом, М. Шеврелем, Д. Ф. Араго, Ж. Био, Л. Н. Вокленом, А. Ампером. Берцелиус побывал также у Р. Ж. Аюи, который показал ему свою прекрасную и богатую коллекцию минералов и подарил некоторые

редкие образцы. В Париже Берцелиус слушал лекции французских ученых, интересовался исследованиями Тенара и Шевреля, принимал участие в заседаниях Парижской Академии наук.

О лекциях французских ученых Берцелиус вспоминал: «Я с большим интересом посещал лекции Гей-Люссака, Воклена, Тенара, Аюи и Броньяра, а также Био, который прочел мне специальный курс о поляризации света на основе собственных экспериментов. Во время этих лекций, сравнивая их друг с другом, я пришел к заключению, что чтение лекций — это большое искусство. Оно требует не только естественного дара красноречия, ясного и умного выражения мысли, но также изучения его как особого рода искусства. Эти лекции значительно дополнили мой список демонстрационных опытов...» [1, с. 100—101].

Берцелиус познакомил французских ученых со своим учением о химических пропорциях и электрохимической теорией, которые в то время не были еще достаточно известны в научных кругах. В 1819 г. он издал на французском языке «Опыт теории химических пропорций», в котором подвел итог своей многолетней работы, связанной с утверждением химической атомистики.

Он близко познакомился с Дюлонгом, которого считал очень вдумчивым исследователем. Они провели совместную работу по определению атомных весов углерода, азота и водорода, а также удельных весов кислорода, азота, водорода, углекислого газа.

Берцелиус вспоминал: «Случилось однажды упомянуть Дюлонгу, что при анализах оксидов свинца и меди я получил меньше воды, чем можно было ожидать на основании чисел, принятых для двух составляющих воды. Дюлонг отвечал, что он нашел вес водорода меньшим, чем значение, полученное Био и Араго, и мы затем решили повторить наши эксперименты вместе. Это было сделано, причем наиболее важные эксперименты по определению весов газов были проделаны Дюлонгом, который умел лучше, чем я, обращаться с приборами для таких определений. В ходе этих опытов я получил много новых знаний в области, которой раньше занимался мало. Также я оценил Дюлонга как дальновидного ученого и получил в нем верного друга» [1, с. 102]. Вместе они определили количественный состав воды. Их метод заключался в пропускании очищенного водорода через определенное количество нагретого оксида меди и поглощения выделяющейся воды хлоридом кальция,

Результаты Берцелиуса и Дюлонга, переведенные в проценты (88,9 и 11,1%), очень хорошо совпадают с современными данными.

В феврале—марте 1819 г. Берцелиус гостил у К. Л. Бертолле в парижском предместье Аркее и занимался исследованиями минералов. Своему другу К. Пальмстедту, химику-технологу, Берцелиус писал в Гетеборг 6 февраля 1819 г.: «Вот я наконец здесь, занимаюсь химией так же, как у себя дома, с той разницей, что тут я располагаю гораздо более удобной лабораторией, бóльшим собранием реактивов и т. д. Мы здесь ведем патриархальный образ жизни. Старичок и старушка Бертолле — самые любезные люди, каких кто-либо когда-нибудь знал, и я рад, что могу сказать, что невозможно на закате жизни жить более счастливо, чем они.

В лаборатории я занимаюсь анализами разных минералов, а именно: эвклаза¹², вавеллита¹³, гармотома¹⁴ и некоторых других. Мне надо было провести и исследование состава закиси кобальта, так как Бертъе¹⁵ утверждает, что результаты исследования, полученные Ротгофом¹⁶, неверны. Но у меня получилось почти то же самое, что и у Ротгофа» [13].

В Париже Берцелиус приобрел значительное количество инструментов и материалов для своей лаборатории.

Берцелиус покинул Париж в июне 1819 г. с чувством глубокой благодарности французским ученым. Особенно большое впечатление на него произвели Бертолле и Дюлонг. В свою очередь, французские химики с большой теплотой вспоминали о шведском ученом. В январе 1820 г. Дюлонг писал Берцелиусу, что он с удовольствием узнал о благоприятном впечатлении, которое произвели на Берцелиуса его статьи.

После десятимесячного пребывания в Париже Берцелиус отправился в Женеву, где он встретился со своим другом Марсэ, который переселился туда из Лондона. Здесь

¹² Эвклаз — алюмосиликат бериллия $\text{Be}[\text{AlOH}]\text{SiO}_4$.

¹³ Вавеллит — основной фосфат алюминия $\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

¹⁴ Гармотом — алюмосиликат бария $\text{BaAl}_2\text{Si}_5\text{O}_{14} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

¹⁵ Пьер Бертъе — французский химик, минералог и металлург, профессор Горной школы в Париже, член Парижской Академии наук.

¹⁶ Имануил Ротгоф — шведский химик и минералог; его именем назван минерал ротгоффит (желтая разновидность граната, содержащая Fe^{2+} и Mn^{2+}).

же он познакомился с Н. Соссюром, А. де ля Ривом и др. По прибытии в Германию Берцелиус встретился с профессором химии И. С. Швейгером. В Берлине Берцелиус познакомился с Э. Митчерлихом и братьями Густавом и Генрихом Розе, которые впоследствии стали его учениками.

Возвратившись зимой 1819 г. в Стокгольм, Берцелиус почувствовал себя значительно лучше и снова приступил к научной работе.

Лето 1822 г. Берцелиус провел на курорте в Карлсбаде (ныне Карловы Вары), где познакомился с Вольфгангом Гёте¹⁷. Поэт очень интересовался исследованиями минералов. По его просьбе Берцелиус с помощью паяльной трубки определил состав минералов, собранных Гёте.

В дальнейшем Берцелиус несколько раз приезжал в Германию. При этом его сопровождал кто-либо из учеников: Ф. Вёлер, Г. Магнус, братья Розе. Во время этих поездок он посетил многих немецких ученых — Л. Гмелина, А. Гумбольдта, Ю. Либиха и др.

К концу второго десятилетия XIX в. Берцелиус становится лидером мировой химической науки. Как химик-энциклопедист, он привлекает к себе внимание широких кругов ученых. Его научная деятельность была очень многогранной и плодотворной.

В 1811—1818 гг. Берцелиус определил атомные веса 45 элементов, проанализировал и определил процентный состав 2000 соединений. Это был исполинский труд, огромный по объему выполненной работы. Эти исследования подвели прочную опытную базу под атомистическую теорию Дальтона. Чтобы облегчить понимание атомистической теории, Берцелиус ввел знаковый язык, сыгравший исключительно важную роль в развитии химии.

В 1811—1815 гг. появился ряд статей Берцелиуса, посвященный обоснованию законов постоянных и кратных отношений в органической химии. Эти работы имели решающее значение для представления о структуре и атомистической формулировке органических соединений. Берцелиус широко использовал электрохимические представления в химии. На электрохимической основе он дал классификацию элементов, попытался объяснить их реакционную способность и природу сил химического средства.

¹⁷ См.: *Канаев И. И.* Гёте как естествоиспытатель. Л.: Наука, 1970. 468 с.

О влиянии электрохимических представлений на развитие химии Берцелиус в 1819 г. писал: «Под влиянием электричества на теорию химии в науке этой произошел переворот, и обнимаемые ею пункты были расширены и исправлены в совокупности гораздо более значительным образом, чем это произведено было прежде учением Сталля или учением Лавуазье» (цит. по [5]).

Атомистические и электрохимические представления Берцелиус распространил на минералогию и создал тем самым теоретическую основу для изучения состава и структуры минералов. В работах Берцелиуса «Попытки установить чисто научную систему минералогии на основе применения электрохимической теории и химических пропорций» (1814), «Опыт чисто химической системы минералов» (1815) был заложен фундамент химической минералогии.

В 1808—1818 гг., одновременно с огромной работой по определению атомных весов химических элементов, установлению элементарного состава органических соединений и обоснованию химической минералогии, Берцелиус написал фундаментальный «Учебник химии», который вышел на шведском языке в трех томах (том I — 1808 г., том II — 1812 г., том III — 1818 г.). Второе издание, переработанное и дополненное материалом по органической химии, вышло на немецком языке (перевод Ф. Вёлера) в 1823—1831 гг. Последнее пятое, существенно переработанное, издание своего учебника (также на немецком языке) Берцелиус осуществил в 1843—1848 гг. в сотрудничестве с Вёлером. «Учебник химии» Берцелиуса стал настольной книгой для химиков 1820—1850-х годов. Помимо немецкого, он был переведен на французский, голландский, испанский и итальянский языки.

В 1821 г. Берцелиус приступил к изданию «Ежегодных сообщений об успехах физики и химии» (с 1842 г. — «Ежегодные сообщения о прогрессе химии и минералогии»). С 1822 по 1847 г. он опубликовал 27 выпусков своих ежегодных отчетов. Содержание отдельных выпусков Берцелиус докладывал Стокгольмской Академии наук.

Заметить и оценить все новое и значительное, поставить преграду для псевдонаучных изысканий — такую тяжелую и порой неблагодарную задачу взял на себя шведский ученый. Видимо, он много времени отрывал от своих собственных исследований для того, чтобы познакомиться с работой того или иного ученого. Пожалуй, это

единственный пример в истории химии, когда один ученый мог оценить почти все работы современников по физике, химии и минералогии.

В своих «Ежегодных сообщениях» он не только из года в год подводил итоги научных достижений, но и своими беспристрастными суждениями давал направление научным исследованиям.

С учеными многих стран Берцелиус вел обширную переписку. Вызывает изумление число написанных (более 6000) и полученных (7000) им писем. Берцелиус откликался почти на все просьбы. Он не отмахивался величественно от мало известного ученого, отвечал ему и, кроме того, находил время проверить данные, проанализировать присланный материал или полученное новое соединение. Еще до опубликования различных книг и статей, написанных немецкими или французскими учеными, Берцелиус уже знал основные результаты и выводы этих работ. Ему посылали из России, Германии, Австрии и других стран ценные образцы минералов, руд и растений. Это давало возможность Берцелиусу производить анализы редких минералов и руд.

Широкая известность Берцелиуса как первоклассного ученого привлекала к нему многих, особенно молодых, исследователей. Почти все иностранные ученые, приезжавшие в Стокгольм, считали своим долгом посетить лабораторию Берцелиуса, которая помещалась в большом доме на углу улицы Кирко-Гаттан. Ежегодно, в течение нескольких лет Берцелиус приглашал к себе в лабораторию для работы одного или двух химиков, получивших законченное научное образование. Это давало, конечно, возможность молодым ученым пройти прекрасную научную школу. Они учились у великого мастера эксперимента его методам химического исследования.

Берцелиус воспитал таких химиков, как Й. А. Арфведсон, Н. Г. Сефстрём, К. Г. Мозандер. Его непосредственными учениками были известные немецкие ученые — Генрих и Густав Розе, Х. Г. Гмелин, Ф. Вёлер, Э. Митчерлих, Г. Магнус, швейцарский химик Ф. Плантамур. Из русских ученых в лаборатории Берцелиуса работали Г. И. Гесс, Ю. Ф. Фрицше, Г. В. Струве и др. Для учеников, которые работали в его лаборатории, он был учителем, вникавшим во все подробности жизни своих подопечных. Берцелиус был чрезвычайно честен в отношениях со своими учениками. Он никогда не пользовался своим положением и не

претендовал на то или иное открытие, сделанное в его лаборатории под его руководством. Так было, например, в случае открытия лития Арфведсоном и ванадия Сефстрёмом.

Будучи в Берлине, Берцелиус пригласил Э. Митчерлиха приехать в Стокгольм, чтобы там в его лаборатории продолжать исследования, начатые в Берлине. В 1819—1822 гг. в лаборатории Берцелиуса и при его участии Митчерлих еще раз проверил результаты своего исследования фосфорнокислых и мышьяковокислых солей и опубликовал в первом томе трудов Стокгольмской Академии наук за 1822 г. статью «Об отношении между химическим составом и кристаллической формой солей мышьяковой и фосфорной кислот». В ней Митчерлих сформулировал основные положения учения об изоморфизме.

Берцелиус с большим энтузиазмом встретил результаты работ Митчерлиха, которые подтверждали его вывод, что кислоты фосфора и мышьяка имеют аналогичный состав. Данные исследований Митчерлиха по изоморфизму, как мы увидим далее, имели для Берцелиуса первостепенное значение при определении атомных весов химических элементов.

Одновременно с Митчерлихом в лаборатории Берцелиуса работали братья Розе. Генрих Розе занимался изучением кислородных и сернистых соединений титана, а Густав Розе — кристаллографическими исследованиями.

Фридрих Вёлер, который провел в Стокгольме зиму 1823/24 г., оставил интересные воспоминания о Берцелиусе, характеризующие его как человека и ученого. Приводим из этих воспоминаний, озаглавленных «Юношеские воспоминания химика», следующие строки: «С бьющимся сердцем я остановился у дверей Берцелиуса и позвонил. Мне открыл дверь тщательно одетый, видный мужчина со свежим лицом. Это был сам Берцелиус.

Он приветствовал меня самым дружеским образом, сказал, что давно уже ждет меня, и стал расспрашивать о моем путешествии; весь разговор происходил, разумеется, на немецком языке, которым Берцелиус владел так же свободно, как французским и английским. Когда он повел меня в свою лабораторию, я был, как во сне, спрашивал себя, действительно ли я нахожусь в этих знаменитых комнатах, у цели моих стремлений.

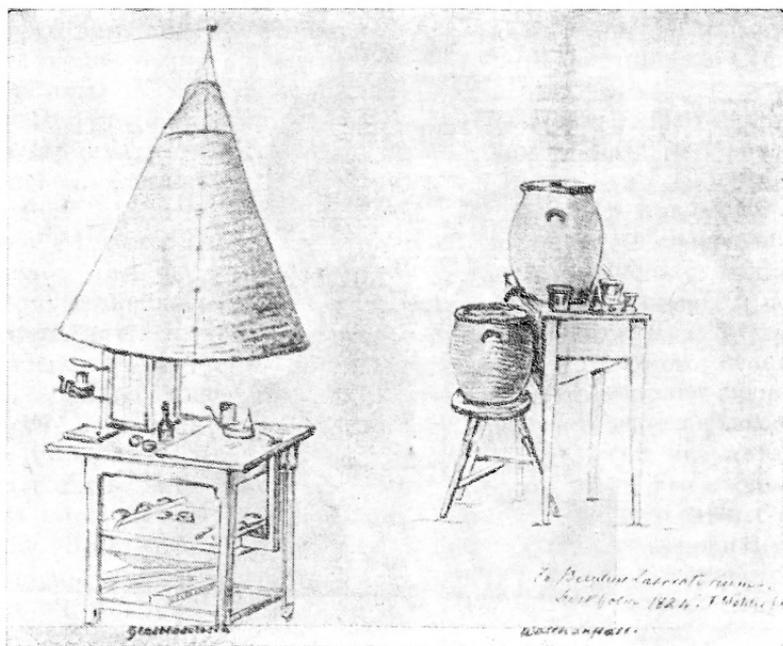
На следующее утро я приступил к работе. Я получил в свое пользование платиновый тигель, весы с разнове-



Фридрих Вёлер

сками, промывалку и сверх всего паяльную трубку, которой Берцелиус придавал большое значение. Я должен был на свои средства покупать спирт для ламп и нефтяное масло для паяльной горелки, остальные реактивы и приборы были общими, но в Стокгольме нельзя достать ферроцианида калия, который я должен был выписать из Любека. В то время я был один в лаборатории; до меня там работали Митчерлих и оба Розе, а после меня приехал Магнус. Лаборатория состояла из двух обыкновенных комнат с самыми простыми приспособлениями.

В одной из комнат стояли два простых длинных сосновых стола. За одним было место Берцелиуса, за другим — мое. По стенам стояли несколько шкапов с реактивами, а посредине — ртутная ванна и паяльный стол, над которым находилась труба, проведенная в дымоход; кроме этого, в комнате находился отлив, состоявший из каменного резервуара с краном; под ним стояло ведро, в котором суровая кухарка Анна каждый день мыла посуду. В другой комнате стояли весы и находилось несколько шкапов с инструментами и приборами, а рядом маленькая мастер-



Эскиз лаборатории Берцелиуса, сделанный Ф. Вёлером

ская с токарным станком. В соседней кухне, где Анна готовила пищу, стоял редко употреблявшийся горн и постоянно подогреваемая песчаная баня...

В несколько приемов мы приготовили такое количество калия, какое еще никогда не было получено до тех пор. Для анализов мы в то время приготавливали чистое едкое кали реакцией калия с водой. Берцелиус обыкновенно бывал весел и во время работы рассказывал анекдоты и мог сердечно смеяться над хорошей историей. Если бывал в дурном настроении, глаза его были красны, и мы знали, что он страдает от припадков периодической мигрени. Тогда он на целые дни запирался у себя в комнате, ничего не ел и никого не принимал. Новое наблюдение всегда доставляло ему большое удовольствие, и он с сияющими глазами звал меня: «Доктор, я нашел что-то интересное».

Иногда Берцелиус оставлял меня у себя на целый вечер и рассказывал о своих поездках в Англию и Францию, о Гей-Люссакке, Тенаре, Дюлонге, Уолластоне, Гемфри

Дэви и других выдающихся ученых, с которыми он был лично знаком и которых умел хорошо охарактеризовать. Наибольшим его уважением пользовались Гей-Люссак и Гемфри Дэви; он всегда выражал величайшее преклонение перед гением последнего. Он переписывался со всеми и сохранял их письма. Я с удовольствием воспользовался его разрешением прочесть их, а позже он дал мне также интересный дневник своих путешествий с подробным описанием посещения Парижа и Лондона» [14].

Летом 1824 г. Берцелиус вместе с Вёлером принял участие в геолого-химической экспедиции по Швеции и Норвегии, во время которой они встретились с Дэви. В октябре 1824 г. Вёлер возвратился во Франкфурт с чувством глубокой благодарности к шведскому учителю.

В 1828 г. в лаборатории Я. Берцелиуса работал немецкий химик Г. Магнус. Здесь он получил аммиакат платины: ярко-зеленое игольчатое вещество $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4] \cdot [\text{PtCl}_4]$, названное впоследствии «соль Магнуса». Изучая также реакцию между соединениями платины и этиловым спиртом, Магнус получил желтое вещество, которое он рассматривал как двойную соль «хлорида калия и хлорида платины с специфическим эфироподобным веществом» $(\text{K}[\text{C}_2\text{H}_4\text{PtCl}_3] \cdot \text{H}_2\text{O} - \text{Авт.})$.

В 1831 г. появилась статья датского химика В. Х. Цейзе «О взаимодействии хлорной платины и спирта и о возникающих при этом новых веществах», в которой описывалось металлоорганическое соединение (первый π -комплекс двухвалентной платины с этиленовым лигандом), полученное Цейзе в 1827 г. Когда Берцелиус ознакомился с этой работой, он убедился, что соединение, полученное Магнусом, является не чем иным, как солью Цейзе, о чем он сообщил в «Ежегодниках» за 1833 г. (т. 12, с. 300) и за 1839 г. (т. 18, с. 495).

Английский профессор Джонстон, посетивший Берцелиуса в 1829 г., так описывает встречу с ним: «Я приехал в Стокгольм 6 сентября и на следующий день отправился немедленно в Академию, где жил Берцелиус. Я застал его в кабинете; он занимался новым изданием своего «Учебника химии». Берцелиус принял меня радушным, дружелюбным образом. Он предложил мне сделать вместе с ним несколько химических опытов; это предложение я принял с величайшей благодарностью, потому что мне представлялся случай ознакомиться с его способом производить опыты; сверх того, я надеялся сделать множество весьма

занимательных наблюдений. Производя опыты, он был чрезвычайно внимателен, не желая упустить из виду малейших предосторожностей, которые могли бы повредить успешному окончанию какого-либо опыта. Он объяснял мне всю важность и необходимость этой внимательности и предусмотрительности в химических анализах.

...В лаборатории Берцелиуса ничто не оскорбляет зрения или обоняния; воздух в ней чрезвычайно чист; все удушливые, вредные для здоровья газы уносятся немедленно через трубу камина. На окне стоит чашка с ртутью, которая ярко блестит. Далее на маленьком фарфоровом столе с выгнутыми краями стоит несколько стеклянных сосудов, необходимых для опытов. Тут же помещена и большая лампа с паяльной трубкой. Вы напрасно будете искать в этой лаборатории печи из кирпича или камня. Прибор для нагревания состоит из очага, возвышающегося на один метр от полу, и накрытого крышкой, чтобы собирать пары и газы, которые отделяются. На этом очаге находится небольшая песчаная баня, нагреваемая угольями, и небольшая железная печь с отверстиями для трубок, реторт и т.п. В другой комнате вам невольно бросаются в глаза весы, накрытые стеклянным колпаком... По стенам комнаты размещены в ящиках и стеклянных шкафах различные химические приборы, они содержатся в отличнейшем порядке и безукоризненной чистоте.

Берцелиус занят постоянно: он трудится в сутки от двенадцати до четырнадцати часов; не надо, однако, думать, что он работает постоянно в своей лаборатории. Часто случается, что он, занимаясь каким-либо сочинением, не заглядывает туда в продолжение целого месяца; но если ему попадается какой-нибудь вопрос, который кажется ему темным и необъяснимым, он немедленно покидает перо, отправляется в лабораторию и занимается изысканием до тех пор, пока не дойдет до желаемого результата. Комнаты его весьма удобно расположены для того, чтобы он мог свободно переходить из кабинета в лабораторию. Его библиотека, конторка, реактивы и печи размещены в небольшом помещении, что дает возможность постоянно следить за опытами... Все содержащееся в лаборатории отличается порядком и необычайной опрятностью; всякий предмет находится на своем месте и в таком состоянии, что его можно немедленно употребить в дело. Способ Берцелиуса располагать приборы для проведения опытов заслуживает



Якоб Берцелиус

внимания своей простотой. Кроме того, он употребляет множество небольших приборов, которые сам по большей части сделал. Во всей его лаборатории видны следы той добросовестной точности, которая придает так много достоинства его анализам» (цит. по [15]).

В 1832 г. Берцелиус отказался от чтения лекций и должности профессора в Медико-хирургическом институте (оставаясь его почетным профессором), но продолжал выполнять обязанности секретаря Академии наук и члена санитарной коллегии. Сказывалось сильное переутомление. В 1832 г. он писал Вёлеру: «В работе утомляюсь уже быстрее, чем раньше, и с усталостью пропадает интерес к работе. Если я работаю по восемь часов в день над ежегодником, то настолько устаю, что становлюсь неспособным ни к какой другой работе. Тогда я должен идти в общество или читать ненаучные произведения» [16]. В 1841 г. Берцелиус писал, что не годится больше к исследованиям, кроме простых, которые могут быть окончены за несколько дней и не требуют запоминания запутанных деталей. Последнее большое экспериментальное исследо-

вание Берцелиус провел в 1842—1843 гг., когда изучал соединение фосфора с серной кислотой и селеном. При этом произошел несчастный случай, в результате которого Берцелиус отравился селенистым водородом и потерял на некоторое время обоняние и вкус. С этого времени он все чаще и чаще обращается к литературной работе: к изданию «Ежегодных сообщений» и к переработке «Учебника химии».

В 1835 г. в возрасте 56 лет Берцелиус женился на старшей дочери бывшего президента коммерцколлегии Габриэля Поппиуса — Иоганне Елизабете (Бетти). Берцелиус давно дружил с Поппиусом, в семье которого был принят как родной.

В письмах к Либиху от 13 октября 1835 г. Берцелиус писал: «Мое здоровье в течение всего лета было очень плохим. Я подвергся настоящей истерии, которая большей частью рассеялась во время моего пребывания в Бонне, но я чувствовал еще ее остатки, с тех пор как нашел успокоение у себя дома.

В декабре я женюсь и теперь занимаюсь устройством своего холостяцкого дома так, чтобы там могла поселиться жена. В связи с этим химия должна подвергнуться многим ограничениям, однако до этих пор она занимала все, и не будет злом, если она получит соперницу» [17].

В 1836 г. Берцелиус принял участие в работе Съезда естествоиспытателей в Гамбурге. Здесь он познакомился с Ю. Либихом. В письме к Ф. Вёлеру Берцелиус писал: «Как я рад, что лично познакомился с Либихом. Это был, несомненно, самый интересный результат моего пребывания в Гамбурге. Этот человек соединяет в себе совсем необычную скромную любезность с необыкновенной научной деятельностью» (цит. по [18, с. 29]).

В свою очередь, Ю. Либих делился с Ф. Вёлером впечатлением о Берцелиусе: «Его скромность и любезность совсем приворожили меня... Я теперь понимаю, почему вы, люди, так привязывались к нему» (цит. по [18, с. 29]). Генрих Розе в письме к Либиху от 11 июля 1845 г. писал о впечатлении, которое производил Берцелиус на окружающих: «Берцелиус возбудил здесь энтузиазм у всех, кто с ним знакомился... Если мы узнаем, что собственно вызвало эту всеобщую любовь, то это прежде всего была честность и прямота его характера, которая явно сказывалась уже при первом знакомстве. Это был полностью честный человек, не способный ни на какой нечестный поступок.



Бетти Берцелиус

На многие вещи, научные и политические, у него совершенно отличный от других взгляд, чем у меня, например, но его взгляды исходят из его убеждений и потому достойны уважения» [19].

Дружба между Берцелиусом и Либихом, однако, не состоялась. Уже в 1837 г. произошла их первая размолвка. «Я чувствую себя совсем несчастным,— писал Либих Берцелиусу,— когда мне приходится так резко выступать против тебя в научных вопросах. Я знаю, что без несогласия во взглядах нельзя добиться истины в науке, что все великие вопросы решались и обосновывались лишь в борьбе. Но если для науки вполне безразлично, чьи мысли подходят ближе к истине, то для людей это не так: в химии, как и в политике, несогласие во взглядах разделяет людей. У нас этого не должно быть» (цит. по [18, с. 30]).

Слишком разные характеры стремились к дружбе. Величественному, сдержанному Берцелиусу были не по душе резкие выступления честолюбивого Либиха, по меткому

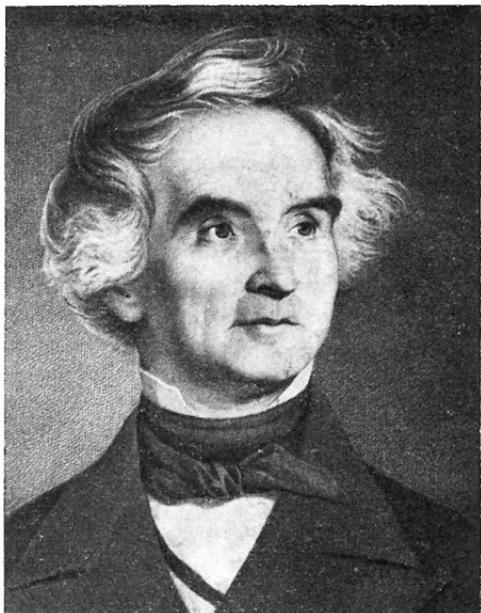
выражению Ф. Вёлера где-то граничащие с «химической истерией».

3 апреля 1838 г. Берцелиус, не без некоторого наизадания, писал Либиху: «При обсуждении вопросов науки не должно быть ни врагов, ни друзей. Если вы боретесь против того, что считаете ошибочным, не обращайтесь на личность ошибающегося. Мнения людей — это не сами люди, и мы можем отвергать мнения, не имея основания для нападков на тех, кто их высказал. Можно позволить своему перу быть резким, только когда очевиден плагиат; но даже и в этом случае надо поступать с возможно большей вежливостью, чтобы обвинения обнаруживали минимум чувств, потому что у умного читателя тотчас возникнет мысль: *audiatur et altera pars* (пусть будет выслушана и другая сторона.—*Авт.*). Пристрастие бросает подозрение на того, кто его проявляет» (цит. по [20]).

Но этому разумному совету Либих не последовал. Он не отделял автора от его научного мнения и позволял себе высказывать резкие суждения в адрес того или иного ученого. Не щадил он и самолюбие и заслуги Берцелиуса, ибо считал, что речь идет о борьбе идей¹⁸.

«Мы спорим,— писал Либих Берцелиусу,— в сущности о принципах: ты стоишь за сохранение настоящего, я — за его усовершенствование и дальнейшее развитие... Принципы, установленные тобой в теоретической и философской химии, были нашими руководителями в течение долгих лет. Все здание покоится на этой основе, для которой ты своей сильной рукой обтесал и уложил каждый камень. До известной высоты фундамент был достаточно прочным, но он не может быть таким до безграничной высоты. По мере того как он растет, необходимо усиливать основание, подводить столбы, вставлять железные связи. Ты не хочешь этих столбов и связей потому, что они портят внешность и вредят гармонии целого. Но симметрия восстановится сама собой, ибо фундамент не изменен» [18, с. 32]. Это образное письмо не успокоило Берцелиуса. Он понимал, что Либих и Дюма выступают вожжами в борьбе против его учения о строении органических соединений и против его представлений о катализе, что под знамена Либиха собираются свежие нерастраченные научные силы, которые решительно поведут наступление на научные завоевания Берцелиуса.

¹⁸ Более подробно см. Приложение 2.



Юстус Либих

В одном из писем к Либиху Берцелиус писал: «Мои взгляды на теоретизирование в опытных науках следующие. Кто хочет сделать ту или другую теорию достоянием человечества, тот должен предварительно подвергнуть ее испытанию по отношению ко всем имеющимся фактам, без всякого пристрастия к самой теории, и одинаково открыто выставить как слабые, так и сильные стороны ее. Он никогда не должен пытаться внушить убеждение там, где есть только вероятность. Ибо кто выдает вероятность за истину, тот становится, сознательно или бессознательно, обманщиком. Каждый исследователь должен в этом отношении следовать принципам Ньютона, благодаря которым этот еще не превзойденный до сих пор естествоиспытатель занимает самое высокое место, несмотря на то, что протекло уже целое столетие, в продолжение которого для естественных наук сделано больше, чем за все время до него. Кто хочет достигнуть блеска, тот может этого достигнуть только таким путем, не рискуя умереть уже для ближайшего поколения» [17, с. 250—252].

Берцелиус видел, что новое поколение все завоевания, давшиеся с таким трудом, принимало как очевидное, но не прощало ошибок и с юношеским пылом критиковало их, несмотря на авторитеты. Видимо, старейшему ученому горько было слышать от молодых ученых безжалостный приговор: «Берцелиус устарел».

Шведский ученый пережил немало огорчений, вызванных отношением к нему его бывших друзей и коллег. Он хорошо помнил, что когда-то некоторые из них с робостью переступали порог его стокгольмской лаборатории и под его руководством выполняли свои первые химические исследования. Но шли годы, и его ученики мужали, завоевывали свое место в науке и забывали, кто их научил самостоятельно ходить по неизведанным тропам науки. Более того, иногда благодарность вытеснялась антагонизмом и враждой. Тогда обращение к Берцелиусу в письмах менялось с «дорогого друга» и «глубокоуважаемого учителя» на «господин барон».

В конце жизни у Берцелиуса сложились весьма обостренные отношения с некоторыми ведущими химиками, которые выступали с критикой его электрохимической теории и дуализма. «Привычка к известному мнению приводит часто к полному убеждению в его справедливости. Она скрывает его слабые стороны и делает нас неспособными принимать доказательства противоположного» [21]. Эти слова, сказанные самим Берцелиусом еще в ранние годы, теперь можно было бы с полным правом применить к нему самому. Он продолжал верить, что истина на его стороне; нужно было только найти еще новые факты, которые подкрепили бы его взгляды. Убежденный в своей правоте, он вел решительную борьбу с противниками.

Трагедия автора электрохимической теории заключалась в том, что, как ему казалось, рушилась вся система химических знаний, основанная на электрохимических представлениях. Однако Берцелиус сам во многом содействовал рождению «строптивой» органической химии, которая не пожелала надеть на себя «хомут» электрохимического дуализма.

«В жизни Берцелиуса, — писал В. Оствальд, — обстоятельства сложились так, что ему пришлось испытать всю жестокость неизбежной участи великих людей. Та же ширь интересов и добросовестность в каждой мелочи, из-за которых весь культурный мир отдавал ему единогласно в течение целой человеческой жизни химическую



*Памятник Я. Берцелиусу
в парке им. Берцелиуса в Стокгольме*

гегемонию, мешали ему теперь признать или хотя бы даже заметить наступающее несоответствие между его личными силами и силами молодой науки. Чем дальше она уходила от него по своему собственному пути, тем больше он чувствовал себя обязанным уберечь от искажения и извращения то, что наполняло собою всю его жизнь... Но он уже стал перепутывать пределы своей электрохимической теории с пределами самой науки и, как на ненаучное, шел войной на все, что выходило за пределы его теории» [22].

Постепенно отеческий тон внушения у Берцелиуса изменился: он уже не предостерегал, а осуждал и резко критиковал тоном авторитетного ученого. В его выступлениях проскальзывало недовольство некоторыми молодыми коллегами, которые нашли мужество во имя истины выступить против его авторитета. Эти критические выступления Берцелиуса имели определенное положительное значение.

«Должны ли мы, — писал А. Вюрц, — набросить на его имя тень за тщетные споры, которые он вел в последние свои годы с последователями теории замещения? Вовсе нет; мы не имеем права жалеть об этих спорах. Они имели важное значение, и сильная оппозиция Берцелиуса во всяком случае более заслуживала благодарности, чем его молчание» [23].

Приведем слова самого Берцелиуса, относящиеся к 1843 г. : «Когда накопившийся материал наблюдений еще более увеличится, а защитники противоположных взглядов сойдут со сцены, тогда предоставим мыслителям будущего спокойно возвести здание научного знания, которое либо сохранится, либо будет от времени до времени заменяться новым, более совершенным» [24].

К 1845 г. состояние здоровья Берцелиуса значительно ухудшилось. Стали появляться случаи умственного переутомления, в результате чего Берцелиус вынужден был на время оставлять работу. К тому же, он с 23-летнего возраста страдал периодическими головными болями, которые пагубно сказывались на здоровье.

К концу своей жизни Берцелиус особенно страдал приступами подагры. Начиная с 1822 г. Берцелиус неоднократно ездил лечиться в Карлсбад, но это помогало ему ненадолго. В сентябре 1847 г. у него появились боли в спине, которые сначала приковали его к креслу, а затем настолько усилились, что он вынужден был лежать в постели. После особенно сильного приступа в декабре 1847 г. у Бер-

целиуса полностью оказались парализованными обе ноги. Он был настолько слаб, что не мог написать и несколько строк. Все же Берцелиус отдал распоряжение своим ученикам продолжать начатую работу. Ф. Вёлеру он поручил завершение нового издания «Учебника химии», Н. Сванберг должен был следить за шведским изданием «Ежегодных сообщений» и продолжать переписку с Вёлером.

Летом 1848 г. врачи и сам Берцелиус потеряли надежду на выздоровление. В ночь с 6 на 7 августа 1848 г. на 70-м году жизни Берцелиус умер. Он похоронен на маленьком кладбище близ Стокгольма.

Обоснование и развитие химической атомистики

Основным идейным содержанием научной эволюции Я. Берцелиуса, если брать ее в целом, является движение от эмпирического изучения химических отношений к теоретической разработке химической атомистики. Переход этот был не только довольно длительным, но и сложным. Во всяком случае Дж. Дальтон как автор «Новой системы химической философии» не состоял с Берцелиусом как автором «Опыта теории химических пропорций» в отношении прямого идейного родства (правильнее было бы говорить не о родстве, но об историческом и идейном соседстве двух ученых).

Между исследованиями Берцелиусом химических пропорций, относящимися в основном к 1808—1812 гг., и сколько-нибудь ясным осознанием им значения и неизбежности физической атомистики для химии лежит довольно широкая (в масштабах биографии ученого) полоса «зазора». Для этой переходной полосы в идейной эволюции Берцелиуса характерно влияние не дальтоновской атомистики на химические исследования, а совсем иное влияние — обратное воздействие химических анализов на атомистическую теорию. Исходными в работах Берцелиуса были химико-аналитические исследования. Не атомистика заставила химика Берцелиуса заниматься анализами соединений, а аналитические исследования привели его в конечном счете к атомистике. Первое же столкновение физической идеи об атомах с эмпирическими обобщениями, выведенными в ходе изучения составов соединений, привело к острому, долго не утихавшему конфликту между атомной теорией и стехиометрическими законами. Но конфликт этот родился из контакта. Исторически атомистика не была бы постоянным соблазном и одновременно камнем преткновения для химии начала XIX в., если бы логически она не являлась *alter ego* химико-аналитических работ.

В этой ситуации детальное изучение сложного и противоречивого пути Берцелиуса от химической эмпирии к атомной теории представляется особенно важным.

Знакомство Берцелиуса с атомистикой

Впервые к идеям корпускулярной философии, восходящей к XVII—XVIII вв. и прежде всего к взглядам И. Ньютона, Дж. Дальтон обратился в 1801 г., когда изучал поведение газовых смесей. Однако атомное учение Дальтона существенно отличалось от физического корпускуляризма его предшественников.

В понятии об атоме Дальтон раскрыл основную меру¹ состава и превращения вещества. Атом в трудах английского физика «является носителем всех качественно специфических свойств данного вещества, будучи его *частичей*. С другой стороны, он представляет собой предел количественного уменьшения данного вещества, будучи его *мельчайшей* частицей» [1, с. 45]. Все это дало возможность Дальтону на основе понятия об атоме как о мере состава и превращения вещества точно установить эту меру для каждого элемента, определив его атомный вес и представив каждую химическую реакцию как процесс соединения, разъединения и перегруппировки атомов.

Однако, проецируя физическую атомистику на химические проблемы, Дальтон вынужден был прибегать к некоторым произвольным допущениям, например к так называемому принципу наибольшей простоты, согласно которому, если два элемента А и В образуют некоторое соединение и «если какая-либо причина не приведет к противоположному результату», то в качестве «ведущего принципа» следует принять, что первое соединение имеет формулу АВ, второе АВ₂, третье А₂В и т. д. [2, с. 213].

Реакция не заставила себя долго ждать. Постулаты и неточности теории Дальтона быстро обнаружили свою несостоятельность, попутно скомпрометировав на какое-то время саму идею об атомах.

Не следует также забывать о том, что эмпирические и теоретические аспекты познания вещества разрабатывались до начала XIX в. как более или менее изолированные направления. По справедливому замечанию М. Боас, «почти все химики начиная с середины XVII столетия и далее принимали корпускулярную теорию как истинную, но это вовсе не обязывало их использовать ее при рассмотрении химических составов и реакций» [3, с. 501].

¹ Мы употребляем термин «мера» в его гегелевском понимании как количество, имеющее качественное значение.

Разрыв между химико-аналитическими и корпускулярно-философскими исследованиями наложил свой отпечаток на судьбу химической атомистики в XIX веке. Попытки атомистов объяснить известное из неизвестного, наблюдаемое через ненаблюдаемое, несмотря на всю точность аргументации, рассматривались как умозрительные (пусть даже и весьма правдоподобные), требующие однозначного установления достоверности. Далее мы увидим, что сказанное в полной мере относится к Берцелиусу, к работам которого мы теперь переходим.

В одной из статей шведского химика (1810), а также в его «Автобиографических заметках» есть следующее признание: «...занимаясь этими работами (т. е. изучением состава солей.— *Авт.*), я встретил в журнале Николсона (ноябрь 1808 г.) исследование Уолластона над кислыми солями, которое было связано с гипотезой Дальтона» [4, с. 164; см. также 5, с. 49]. В письме к Уолластону (1809 г.) Берцелиус замечает: «...результат (анализа свинцовых солей азотной кислоты.— *Авт.*) не может отдать предпочтение теории г-на Дальтона, которая, впрочем, мне известна только по Вашей маленькой работе» [6, с. 288].²

Эти высказывания привели многих историков химии к выводу, что атомная теория стала известна шведскому химику благодаря статье Уолластона. Тут-то, дескать, и открылась перед Берцелиусом возможность теоретически, с позиций атомистики, осмыслить весь накопленный им экспериментальный материал по составу различных соединений. Однако в действительности все было сложнее. Впервые имя Дальтона в связи с его «механической теорией смешения газов» упоминается Берцелиусом в 1807 г. в небольшой заметке, посвященной усовершенствованию гигрометра [8]. Кроме того, согласно приводимым А. Лундгреном [9, с. 90] архивным документам — заметкам и лабораторным записям Берцелиуса 1806 года, сведения об атомной теории шведский ученый получил непосредственно из статьи Дальтона о смешении газов и растворимости их в воде [10]. Записи Берцелиуса говорят о том, что он читал апрельский номер журнала Николсона за 1806 г., где была напечатана эта статья. Более того, в рукописных заметках Берцелиуса имеется также выписанная из статьи Дальтона «таблица относительных атомных весов».

² В обеих цитатах речь идет о статье [7].



Джон Дальтон

Таким образом, с основными идеями физической атомистики шведский химик познакомился задолго до появления статьи Уолластона. Но тогда возникают следующие два вопроса. Во-первых, почему Берцелиус не воспользовался дальтоновской идеей о дискретном строении вещества для интерпретации имеющихся у него данных по весовому составу соединений? Во-вторых, почему он так настойчиво указывал именно на статью Уолластона как на первоисточник своих сведений о теории Дальтона? Оба вопроса тесно связаны между собой.

Начнем с ответа на второй из них. Продолжим для этого приведенную выше цитату из статьи 1810 г.: «...согласно (гипотезе Дальтона), если тела способны соединяться друг с другом в различных отношениях, то эти отношения всегда будут простыми кратными, с кратностью 1, 2, 3, 4 и т. д. веса одного из тел. Исследования Уолластона, по-видимому, подтверждают эту гипотезу» [4, с. 163]. Здесь-то и заключена суть дела! Под «гипотезой Дальтона» Берцелиус подразумевал вовсе не идею

английского ученого об атомах, а закон кратных отношений. И когда далее, в той же работе Берцелиус писал: «...если гипотеза Дальтона окажется справедливой, ее надо будет рассматривать как огромный шаг вперед, сделанный химией как наукой в своем развитии» [4, с. 164], он имел в виду отнюдь не атомистику, а опять-таки закон кратных отношений, причем без его атомистической трактовки. Тем-то и привлекла Берцелиуса статья Уолластона, что, несмотря на многие чисто спекулятивные, с точки зрения шведского ученого, моменты (например, рассуждения о геометрическом расположении атомов в соединениях), в целом она имела ясно выраженную стехиометрическую направленность, которой, разумеется, не было и не могло быть в работах Дальтона 1805—1806 гг.

Теперь обратимся к первому вопросу — о причинах осторожного отношения Берцелиуса к химической атомистике. Для ответа на него необходимо прежде всего принять во внимание различное отношение Дальтона и Берцелиуса к принципам научного теоретизирования, что связано в первую очередь с тем, что их мировоззрение формировалось в рамках различных методологических традиций. Кризис бэконовского эмпиризма стимулировал развитие теоретического мышления. Однако процесс становления теоретического естествознания шел сложным и противоречивым путем. Созерцательные представления о познании препятствовали пониманию диалектики экспериментального и теоретического моментов. С одной стороны, отказ от «измышления гипотез» и борьба с декартовой метафизикой практически перерастали в отказ от теоретического мышления вообще, с другой стороны, попытки классифицировать факты с помощью теорий завершались созданием «онтологий», что противоречило исходным антиметафизическим декларациям.

«Эмпирики обрушивались на рационалистов-теоретиков, обвиняя последних, зачастую не без оснований, в умозрительности и догматичности их конструкций. Но вместе с тем они оказываются практически неспособными, оставаясь в рамках эмпиризма, на нечто большее, нежели критическая разрушительная работа... Ученые-теоретики, начиная нередко с деклараций, схожих с эмпиризмом... развивая теоретическую конструкцию как дедуктивное построение, постепенно теряют потребность в экспериментально-эмпирической компоненте...» [11, с. 37]. В этом

аспекте и следует рассматривать различия в подходах Дальтона и Берцелиуса к изучению вещества.

Дальтон, будучи теоретиком-рационалистом, шел от теоретической модели (гипотезы) мельчайших неделимых частиц материи к дедуктивному объяснению на ее основе разнообразных физико-химических фактов. Как и Ньютон, на корпускулярные представления которого Дальтон неоднократно ссылаясь, он часто заявлял о своей приверженности к опыту, осуждая практику «измышления гипотез», и, подобно Ньютону, он вынужден был прибегать к гипотезам как к необходимому инструменту мысли, используя подчас в качестве критерия истинности теории рационалистические методологические каноны, вроде принципа наибольшей простоты. Гипотетико-дедуктивный метод Дальтона приводил его часто к совершенно неадекватным представлениям о составе химических соединений и, как следствие, к неверным значениям атомных весов, что дало повод противникам атомистики объявить теорию английского физика чисто умозрительной конструкцией. Эту слабость учения Дальтона Берцелиус уловил еще до того, как прочитал в 1812 г. «Новую систему химической философии». Так, в 1810 г. он замечает по поводу атомной теории: «...мне, однако, неизвестно, откуда Дальтон черпает свои идеи и на каких опытах он их основывает» [4].

Взгляды самого Берцелиуса на процесс построения научной теории во многом отличались от тех, которым следовал Дальтон. Уже во время учебы в Упсале шведский химик познакомился с эмпиризмом английского философа-материалиста Дж. Локка, последователи которого преобладали среди преподавателей Упсальского университета. Тогда же Берцелиус узнал, по-видимому, от Л. Экмарка, о натурфилософских идеях И. Канта. Хотя последние оказали на него известное влияние, в целом Берцелиус не мог разделить спекулятивный образ мышления последователей немецкого философа. Выразительную характеристику немецкой натурфилософии он дал в письме к М. Понтину, написанному из Англии (21 августа 1812 г.): «...Ты спрашиваешь меня, что здесь думают о немецкой натурфилософии и что я сам думаю о ней и о ее значении для физики и химии. Слава Богу, в этом раю здравого смысла, где временами сталкиваешься с необычайной глубиной мысли, я не встретил ни одного, кто имел бы хоть малейшее представление об этой научной Арлекинаде. Я часто забавлял Уолластона, Юнга, Теннанта и многих дру-

гих отдельными лакомыми кусочками, произведенными на фабрике гениев³, принадлежащей великим немецким философам Винтерлю, Риттеру и Шеллингу. Словом, если ты собираешься следовать ходу мысли этих кудрявых умов, то этим ты польстишь англичанам так же мало, как и мне. Мы здесь никогда не согласимся с теми, кто забавляется тем, что угадывает причины и, в конце концов, выдает свои догадки за позитивное знание...» [цит. по 12, с. 447].

Наряду с антифлогистонной, Берцелиус воспринял от Лавуазье и антимеханистическую направленность «новой химии», а также присущее французскому химику негативное отношение к гипотезам. Приступая к стехиометрическим исследованиям, Берцелиус видел свою задачу прежде всего в собирании данных по составу разнообразных химических соединений и систематизации их на основе закона И. Рихтера и принципа аналогии. «Я буду излагать свои опыты,— заявлял Берцелиус,— в том порядке, в каком они наилучшим образом разъясняют предмет, и буду исключать всякое теоретизирование. Теория же, заключенная в результатах этих экспериментов, всем бросается в глаза и те понятия, к которым эти результаты могут привести, наверняка возникнут у каждого внимательного читателя без какой-либо помощи с моей стороны» [4, с. 166]. Трудно привести более выразительное свидетельство созерцательной гносеологической установки. Познание для Берцелиуса — это прежде всего наблюдение объекта. Отсюда безоглядная вера в непогрешимость «хорошо поставленных» экспериментов и «правильной манеры рассуждения», а также твердая убежденность в том, что истина сама собой, как нечто самоочевидное, должна вырастать непосредственно из опыта. Только в 1815 г., когда Берцелиус начал склоняться к «атомистической манере рассуждения в химии» как к «наилучшей» (а может быть, вследствие этого), он признал, что «в основании каждой спекуляции в точных науках всегда лежит нечто такое, что не может быть подтверждено экспериментально» [13, с. 123].

Итак, мы рассмотрели мировоззренческие аспекты отношения Берцелиуса к атомной теории. В следующем разделе этой главы будут указаны другие причины, заставившие шведского ученого на некоторое время воздер-

³ У Берцелиуса «Snillemanufactur», что в разговорном языке может также иметь значение «фабрика дураков».

жаться от принятия учения Дальтона. Теперь, возвращаясь к вопросу о первоначальном знакомстве Берцелиуса с атомистикой, остановимся на еще одном источнике его сведений об атомной теории. Речь идет о вышедшем в 1809 г. приложении к книге Д. Мюррея⁴ «Система химии» [14]. «Я не смог получить сведений о его (Дальтона.— Авт.) доктрине,— писал Берцелиус Г. Дэви 11 июня 1811 г.,— кроме как из приложения к книге г-на Мюррея...» [15, с. 29].

Мюррей изложил в своем труде основные идеи первой части первого тома «Новой системы...» Дальтона со своими критическими замечаниями. В частности, он сопоставил идеи Дальтона и Бертолле, явно отдавая предпочтение последнему. По словам Мюррея, «система мистера Дальтона основывается на допущении, согласно которому при химическом соединении тел, они (тела) соединяются в определенных отношениях» [14, с. 20]. «Точка зрения доктора Уолластона, — продолжал далее Мюррей, — более ограничена. Она касается не весов первичных частиц, но лишь относительных пропорций, в которых тела вступают в химическое взаимодействие» [там же, с. 22].

Согласно Мюррею, Дальтон пришел к атомистике, изучая весовые отношения реагирующих тел, — заблуждение, продержавшееся до появления книги Г. Роско и А. Хардена [16]. В действительности же, как мы знаем, все было наоборот. Но как бы то ни было, книга Мюррея усилила интерес шведского химика к теории Дальтона. Берцелиус неоднократно просил Дэви прислать ему сочинение английского физика, но безрезультатно⁵. И только в апреле 1812 г. он получил долгожданный труд от автора.

В письме к французскому физику и фармацевту А. Гольтье де Клобри от 27 апреля 1812 г. Берцелиус сообщает: «...на днях получил «Новую систему». Автор, познакомившись с некоторыми из моих экспериментов, опубликованных в «Annales de Chimie», оказал мне честь, прислав свой труд. Ни один подарок не доставлял мне еще такого удовольствия, какое поначалу доставил этот. Я пока лишь наспех просмотрел это сочинение, но не буду скрывать, что был удивлен, увидев, насколько его автор обра-

⁴ Джон Мюррей (? — 1820) — профессор химии и физики в Эдинбургском университете.

⁵ Сам Дэви скептически относился к атомной теории, считая ее «скорее остроумной, чем правильной» [15, с. 22].

нул мои ожидания. ...Видно, как он всюду пытается смоделировать природу по своей гипотезе. Его самая большая ошибка, быть может, состоит в том, что ничего не доказано удовлетворительным образом. Именно поэтому он и не в состоянии правильно определить состав фтористой и муриевой кислот»⁶ [6, с. 105].

Однако Берцелиус не мог принять теорию Дальтона не только по изложенным выше соображениям методологического характера, но и потому, что она в ряде моментов не согласовывалась со стехиометрическими данными, а точнее с интерпретацией их Берцелиусом, чему мы посвятим следующий раздел.

«Конфликт» между атомистикой Дальтона и законом определенных пропорций Берцелиуса

Начиная в 1807 г. систематические стехиометрические исследования, Берцелиус существенным образом опирался на работы своих предшественников — И. Рихтера, Э. Фишера, К. Венцеля, Ж. Пруста и других химиков, особенно на установленные ими эмпирические закономерности, касающиеся весовых отношений реагирующих веществ. В этой связи прежде всего следует отметить, что шведский химик придавал большое значение закону постоянства состава Пруста, согласно которому простые вещества образуют соединения всегда в точно определенных весовых отношениях. Важность этого закона определялась тем, что он указывал на наличие прерывности, скачков в количественном выражении состава веществ. Вместе с тем вывод Пруста требовал некоторого уточнения: «...до сих пор неизвестно, — писал Берцелиус, — подчиняются ли эти скачки (в составе. — Авт.) некоторому общему для всех тел закону или же существуют неопределенные, для каждого тела свои особые отношения» [4, с. 165].

Другим важным обобщением, на которое опирался Берцелиус, был так называемый закон нейтрализации Рихтера, представлявший собой по существу частный

⁶ Дальтон ошибочно полагал, что обе кислоты (плавиковая и соляная) содержат кислород.

случай закона эквивалентов. Влияние работ Рихтера на Берцелиуса трудно переоценить. Вероятно, не будет преувеличением сказать, что первым открытием шведского ученого в области учения о составе явилось «открытие» им результатов, полученных Рихтером, труды которого дотоле пребывали почти в полном забвении.

В 1792—1793 гг. Рихтер издал трехтомную монографию, озаглавленную «Начальные основы стехиометрии или искусства измерения химических элементов». Однако, как заметил Г. И. Гесс⁷, «...такая форма мало пригодна для распространения новых идей. Разве можно требовать от читателя, чтобы он, прочитав о 500 известных идеях, смог обнаружить среди них одну самобытную» [17, с. 422]. Сейчас трудно представить, сколь необычной и новой казалась мысль о том, что вещества могут соединяться только в определенных весовых отношениях. Не случайно Рихтер жаловался в 1799 г. на то, что он подвергся «имперской опале здравого смысла» и что его стехиометрию «постигла участь залежалого товара» (там же).

В 1793—1802 гг. Рихтер изложил результаты своих исследований в сочинении «О новых вопросах химии», изданном в 11 небольших выпусках. Именно с этой работой немецкого химика и познакомился Берцелиус. «Когда я перед обработкой первого издания моего учебника химии между другими, малочитаемыми, вещами проштудировал также сочинение Рихтера «О новых вопросах химии», я изумился свету, по-новому освещавшему всю аналитическую химию и, в частности, расчеты состава солей» [18, с. 17].

По этому же поводу в «Автобиографических заметках» Берцелиус писал: «Я должен был составить учебник химии, первый том которого появился в 1808 г. Когда я работал над этим учебником, мое внимание привлекли исследования Рихтера над обменным разложением нейтральных солей при сохранении полной нейтральности...

Мне казалось совершенно ясным, что установленный им закон природы должен быть правильным... Мой взгляд

⁷ 10 июля 1841 г. Гесс писал Берцелиусу: «Беру на себя смелость направить Вам экземпляр доклада о работах Иеремии Бенжамена Рихтера. Вы увидите, что многие ошибки, которые относились на его счет, были, как мне кажется, напрасно ему приписаны» (Архив Берцелиуса, Стокгольм).

я разъяснил в учебнике и при этом решил посредством точных анализов фактически доказать правильность моего убеждения. Это послужило основанием к направлению моих научных работ, продолжавшихся в течение ряда наиболее деятельных лет моей жизни, т. е. к моим работам относительно химических пропорций» [5, с. 48].

Рихтер был одним из первых, кто поставил вопрос о существовании общего математического «закона сродства», который со временем позволил бы «сделать учение о сродстве и составе соединений областью прикладной математики» [17, с. 422].

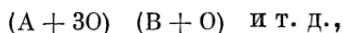
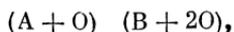
Закон нейтральности Рихтера, или в более общем виде, закон эквивалентов, привел к представлению о существовании некоторого специфического количества данного вещества, способного вступать в химические реакции с другими веществами. Разумеется, закон Рихтера не устанавливал абсолютной величины этой весовой единицы, речь шла лишь об относительных количествах реагирующих веществ. Так, выбрав произвольно некоторое количество кислоты (или основания) за единицу, можно было исходя из закона эквивалентов определить абсолютную величину весовых единиц остальных участников данной реакции. Тем самым указанный закон выразил факт прерывности химических отношений, которые выступали в данном случае как отношения целых чисел, в гораздо более определенной форме, чем закон Пруста.

Первая статья Берцелиуса, в которой были изложены результаты его анализов неорганических соединений, была опубликована на шведском языке в 1810 г. [4] и впоследствии перепечатана в немецких и французских журналах. В 1811 г. появилась вторая статья [19], где, в отличие от первой, значительное место было уделено теоретическим аспектам стехиометрии. В частности, в ней впервые был сформулирован «закон определенных пропорций» (*läran om bestämda proportioner*): «Если два тела соединяются друг с другом в нескольких отношениях, то эти отношения являются целыми кратными (весового количества. — *Авт.*) одного из тел. Если соединяются кислородные тела, то количество кислорода в том соединении, в котором его содержится меньше всего, будет общим делителем по отношению к количеству кислорода в прочих компонентах или же последнее количество будет целым кратным первому. Наконец, если соединяются горючие тела, то их соединение происходит в таком отношении, что при их

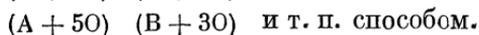
окислений кислород полученных оксидов находится в приведенных выше кратных отношениях» [19, с. 171].

По существу приведенная формулировка включает в себя два утверждения. Первое, названное А. Лундгреном «законом единицы» [9, с. 100], сводится к тому, что если вещества А и В при взаимодействии друг с другом могут образовывать ряд соединений, то одно из исходных тел, например А, должно во всех этих соединениях присутствовать в наименьшем количестве и количество вещества В следует относить к этому, принятому за единицу, минимальному количеству вещества А. При этом число весовых частей В, приходящихся на одну весовую часть А, всегда целое. Таким образом, согласно «закону единицы», могут существовать лишь составы типа А+В, А+2В, А+3В и т. д., составы же типа 2А+2В, 2А+3В и т. д.⁸ исключались.

Второе утверждение, названное самим Берцелиусом «законом оксидов», определяет количество кислорода в солях, а именно: весовое количество кислорода в одной составной части соли (например, в кислотной) должно быть целым кратным его содержанию в другой ее части (основной). Иными словами, состав солей, по Берцелиусу, мог быть выражен следующим образом:



но не



Заметим, что оба утверждения являлись эмпирическими правилами, выведенными экстраполированием на все химические соединения результатов, полученных, хотя и для широкого, но все же ограниченного круга веществ. Никаких объяснений закону определенных пропорций с позиций атомистики Берцелиус не давал. Упомянув в статье 1811 г. гипотезу Дальтона, «согласно которой некоторое количество молекул одного тела соединяется с одной или же с 2, 3, 4 и т. д. молекулами другого тела» [19,

⁸ Даже когда в 1820-х годах Берцелиус под давлением экспериментальных фактов признал существование соединений типа 2А+2В, 2А+3В и 2А+5В, он все равно оговаривал, что в 90% случаев открытый им ранее «закон единицы» справедлив.

с. 182], Берцелиус подчеркивает, что, по его данным, если металл способен образовывать несколько оксидов, то он, как правило, дает оксиды не только состава $M+O$ или, скажем, $M+2O$, но и состава $M+1,5O$, где M — некоторое, принятое за единицу весовое количество металла, а O — наименьшее количество кислорода, способное соединиться с данным металлом. Этот факт, по мнению шведского химика, указывал на то, что эксперимент «не полностью подтверждает гипотезу Дальтона» [19, с. 182]⁹. И далее Берцелиус поясняет, почему нельзя записать вместо $M+1,5O$ формулу $2M+3O$: «...если я в этом случае приму $2M+3S$ (S — от шведского *syret* — кислород. — *Авт.*), то в другом месте я должен буду принять $9M+10S$ и так далее до $999M+1000S$. Каждому, однако, ясно, что тогда все учение об определенных пропорциях придет в упадок» [19, с. 189]¹⁰.

В 1814 г. Берцелиус установил связь «закона единицы» со спецификой неорганических веществ: «...в химических соединениях один из элементов всегда должен рассматриваться как единица. Согласно корпускулярной теории, это значит, что атом одного элемента соединяется с одним или несколькими целыми атомами другого. Мы никогда не находим в неорганической природе соединений между, скажем, тремя атомами одного тела и четырьмя или пятью атомами другого. Напротив, мы находим, что один из элементов существует в состоянии одного атома. Это одно из обстоятельств, крайне характерных для неорганических соединений» [20, с. 324].

В работах 1813—1815 гг. Берцелиус подробно излагает свои возражения против атомной теории Дальтона. Особенно показателен в этом отношении второй раздел статьи [21], который начинается с восторженных слов в адрес атомистики. Берцелиус даже высказывает удивление по поводу того, что столь замечательная идея до сих пор не стала общепринятой. Но уже в следующем абзаце тон высказываний меняется, речь заходит о «...больших трудно-

⁹ Различие в подходах Дальтона и Берцелиуса к проблеме состава химических соединений проявилось и в используемой ими терминологии. Если первый употреблял выражение «относительный вес первичных частиц», то второй использовал термин «абсолютный вес тела» (*kroppars absoluta vifter*), понимая под ним вес, фигурирующий в химической пропорции.

¹⁰ Другие аргументы против формулы $2M+3O$, приведенные Берцелиусом в 1813 г., читатель сможет найти в Приложении 3.

стях, которые возникают, как только эту (атомную.— *Авт.*) гипотезу начинают применять ко многим химическим проблемам» [21, с. 445]. В первую очередь Берцелиус касается проблемы «1А : 1,5В», т. е. проблемы несоизмеримости весовых количеств реагирующих тел в целочисленном отношении при условии соблюдения «закона единицы». В качестве примера он обсуждает «полуторный оксид железа» (современная формула, если отвлечься от некоторой нестехиометричности этого соединения, — Fe_2O_3). Но здесь еще Берцелиус надеялся преодолеть затруднение, связанное с наличием полуторного количества кислорода, предположив, что Fe_2O_3 , возможно, представляет собой смесь оксидов — FeO и FeO_2 . Впоследствии он убедился в неправомерности этой гипотезы, но в 1813 г. вера в нее была достаточно велика.

Труднее было с составом некоторых солей. «Пусть О — кислород, а А и В — два горючих тела, — писал Берцелиус.— Закон (определенных пропорций.— *Авт.*) допускает соединение $A+3O$ с $1,5(B+O)$, так как $1,5 \cdot 2 = 3$ (т. е. отношение весовых количеств кислорода в реагирующих телах может быть выражено в целых числах.— *Авт.*). И мы можем непосредственно убедиться, что такие соединения действительно существуют, хотя, согласно корпускулярной теории, их появление абсурдно. С другой стороны, закон не допускает соединения $A+3O$ с $B+2O$, хотя существование таких соединений совместимо с атомной теорией» [21, с. 448].

Вывод, к которому пришел Берцелиус после разбора этой и других аналогичных трудностей, был полностью противоположен радужному началу статьи: «...было бы опрометчивым делать заключение, что в будущем мы не сможем объяснить эти кажущиеся аномалии удовлетворительным образом. Но до тех пор, пока это время не настало, гипотеза об атомах не может быть ни принята, ни рассматриваться как истинная» [21, с. 450].

Если, кроме того, внимательно изучить аналитические работы Берцелиуса первой половины 1810-х годов, то нетрудно заметить, что приводимые в них формулы вовсе не выражают даже отношения атомов (в дальтоновском смысле этого слова) в соединениях. Даже там, где у Берцелиуса идет речь об атомах (хотя чаще он употреблял термин «объем», о чем см. далее), анализ его расчетной методики говорит о другом. Рассмотрим типичный пример — определение «числа атомов» в формуле лимонной

кислоты. «...Десять частей цитрата свинца, хорошо высушенного и разложенного затем серной кислотой, дали 8,9346 частей сульфата свинца, что эквивалентно 6,582 частям его оксида. Отсюда следует, что цитрат свинца имеет следующий состав:

Лимонная кислота	34,18 100
Оксид свинца	65,82 190
	100,00

Эти 190 частей оксида свинца содержат 13,585 частей кислорода» [22, с. 93]. Далее, сжиганием кислоты и взвешиванием образовавшихся продуктов CO_2 и H_2O Берцелиус определил процентный весовой состав лимонной кислоты:

Водород	3,800%
Углерод	41,369%
Кислород	54,831%

«Мы видим,— писал Берцелиус,— что способность к насыщению этой кислоты — 13,585, но $13,585 \cdot 4 = 54,34$. Это показывает, что лимонная кислота должна содержать в четыре раза больше кислорода, чем основание, которое ее нейтрализует. ...Ее (кислоты.— *Авт.*) способность к насыщению указывает нам на то, что она должна содержать четыре объема кислорода, четыре объема углерода и четыре объема водорода» [22, с. 94], т. е. простейшая формула лимонной кислоты, по Берцелиусу, $\text{H} + \text{C} + \text{O}$ (истинная современная брутто-формула: $\text{H}_8\text{C}_6\text{O}_7$). Нетрудно заметить, что подобный расчет никак не может привести к адекватному выражению атомного состава соединения, хотя взят из работы 1815 г., когда Берцелиус значительно «подобрел» к атомистике.

В целом, характеризуя первые стехиометрические работы шведского химика, следует согласиться с выводом А. Лундгрена о том, что «важнейшие предпосылки исследований Берцелиуса по определенным пропорциям, сложившиеся к 1811 г., могут быть суммированы следующим образом: закон Рихтера, позволивший вычислить состав солей, дальнейшее развитие самим Берцелиусом всего, что касается бинарных соединений, электролитические разложения щелочей и щелочных земель, выполненные Дэви, и, наконец, закон кратных отношений Дальтона... Но сюда никак не отнесется атомная теория как физическая теория строения вещества» [9, с. 102].

**«Аммонийная гипотеза»
и понятие об абсолютном минимуме
простого вещества
в химическом соединении**

Непризнание Берцелиусом атомной теории, его стремление оставаться в рамках чисто эмпирического исследования обернулись для него другой крайностью, приведшей ученого к чисто умозрительным построениям, примером чему может служить так называемая «аммонийная гипотеза».

После блестящих опытов Г. Дэви по электрохимическому разложению щелочей и получению свободных щелочных металлов вопрос о признаках элементарности вещества встал с особой остротой. Под влиянием экспериментов Дэви в 1807—1808 гг. многие химики пытались выделить в свободном виде радикал аммония электролизом растворов его солей. Я. Берцелиусу и М. Понтину удалось в 1808 г. с использованием ртутного катода получить амальгаму аммония, и, по-видимому в том же году у шведского химика зародилась мысль о том, что аммиак может содержать в своем составе кислород. Основным аргументом в пользу такого предположения послужило сходство физико-химических свойств аммиака и едких щелочей. Последние рассматривались как соединения кислорода с металлом, что наводило на мысль о возможности представить аммиак как соединение кислорода с аммонием, который считался простым веществом и амальгама которого была получена.

В письме Й. Гана к Берцелиусу от 29 мая 1808 г. можно найти свидетельства того, что проблема состава аммиака уже тогда волновала шведского ученого. «...Но где же в аммиаке находится кислород?— недоумевал Ган.— В водороде, в азоте или, быть может, и там и там?» [23, с. 40]. Начиная с 1809 г. вопрос о составе аммиака интенсивно обсуждался в переписке между Берцелиусом и Дэви. Английский химик, склонный к выдвижению подчас самых неожиданных гипотез, высказал мысль о том, что «кислород, водород и азот могут быть различными модификациями *одного и того же вещества*, находящегося в различных электрических состояниях или в различных соединениях с невесомой материей» [15, с. 11]. Позже, в письме к Берцелиусу от 18 октября 1809 г. Дэви, не только с легкостью выдвигавший, но и без труда менявший свои гипотезы, обсуждает новую идею: «Я сильно склоняюсь

к подозрению, что металлическая материя, существующая в амальгаме, которую Вы открыли, является основанием водорода и что водород является протоксидом (a protoxide) этого основания, аммиак — дейтоксидом, а азот — триоксидом» [15, с. 16]. Иными словами, Дэви полагал, что водород, аммиак и азот — это оксиды одного и того же основания.

Берцелиус, более уравновешенный и осторожный в гипотетических построениях, отнесся к блеску фантазии своего английского коллеги весьма спокойно. «...Он (Дэви. — *Авт.*) должен тогда объяснить, почему оксиды азота никогда не восстанавливаются до газообразного водорода и почему из азотнокислого аммиака (т. е. из нитрата аммония. — *Авт.*), где кислорода еще больше, не удается получить воду?» — писал Берцелиус В. Хизингеру 9 ноября 1809 г. [23, с. 27]. И все-таки мысль о том, что аммиак содержит кислород, не оставляла Берцелиуса, твердо верившего, что аналогия в физико-химических свойствах соединений есть указание на аналогию в их составе.

В письме к К. Бертолле от 1 августа 1810 г. шведский химик крайне осторожно, но достаточно ясно высказывает свое предположение: «Мне очень хорошо известно, что это (т. е. присутствие кислорода в аммиаке. — *Авт.*) покажется абсурдным, тем более, что аммиак при анализе дает лишь азот и водород, в количествах, полностью соответствующих его весу. Но несмотря на это, аммиак, вероятно, ...содержит кислород» [24, с. 8]. Тогда же, в августе 1810 г., дискуссия о составе аммиака вышла за рамки частной переписки. В письме к Л. Гильберту от 1 августа 1810 г., опубликованном в «Annalen der Physik», Берцелиус настаивал на том, что «все солевые основания должны быть соединением кислорода с некоторым горючим металлическим телом» [25, с. 198] и, следовательно, аммиак надо рассматривать как оксид металлического основания по аналогии со щелочами, «несмотря на то, что обычные методы разложения приводят только к газообразным азоту и водороду» [25, с. 202].

Берцелиус настолько уверовал в эту идею, что сам факт количественного разложения аммиака на азот и водород интерпретировал не как доказательство ее ложности, а как свидетельство присутствия кислорода в азоте и водороде: «...Кислород (аммиака. — *Авт.*) должен быть скрыт в этих газах (т. е. в азоте и водороде. — *Авт.*) и оба газа должны быть оксидами аммония, как это и предполагал Дэви»

[26. с. 211], — писал Берцелиус в другом письме к Гильберту от 1 октября 1810 г., опубликованном в 1811 г. В этом письме он предложил количественную теорию состава азотсодержащих неорганических соединений, основанную на законе определенных пропорций и идее о сложном составе азота и водорода. Согласно Берцелиусу, 100 вес. ч. радикала аммония соединяются с 89,6 вес. ч. кислорода, образуя аммиак, при этом водород содержит $89,6 \cdot 1/8 = 11,2$, а азот $89,6 \cdot 1,5 = 134,4$ вес. ч. кислорода на 100 вес. ч. соответствующего основания¹¹. Таким образом, количества кислорода в азоте, аммиаке и водороде относятся друг к другу как небольшие целые числа ($134,4 : 89,6 : 11,2 = 12 : 8 : 1$) в полном соответствии с законом определенных пропорций (точнее, с законом оксидов).

«Мы примем то количество кислорода (в водороде. — *Авт.*) за наименьшее, которое может соединиться с основанием водорода, — писал Берцелиус, — так что все соединения этого основания с кислородом должны быть кратными упомянутому выше числу. Для краткости, я обозначу это число следующим образом: $11,2 = S$ и A будет равно 100 частям основания. Тогда $A + S$ — водород; $A + 2S$ — неизвестное соединение; $A + 4S$ — мы, вероятно, должны отнести к оливкового цвета телу, которое образуется при реакции калия с газообразным аммиаком; $A + 6S$ — неизвестно; $A + 8S$ — аммиак; $A + 12S$ — азот; $A + 24S$ ($2 \cdot 12S$) — оксид азота (NO . — *Авт.*); $A + 36S$ ($3 \cdot 12S$) — селитряный газ (NO_2 . — *Авт.*); $A + 48S$ ($4 \cdot 12S$) — возможно, что так называемая азотистая кислота (*salpetrige Säure*); $A + 60S$ ($5 \cdot 12S$) — азотная кислота (*Salpetersäure*) и $A + 76S$ — вода» [26, с. 212]¹².

Эти представления широко использовались Берцелиусом в его аналитических работах 1811—1812 гг. Касаясь вопроса о солях азотной кислоты, он настаивал в 1812 г. на необходимости рассматривать их состав исходя из предположения, что азотная кислота есть результат соединения радикала аммония с кислородом, т. е. $A + 60S$ [27, с. 173]. Однако при этом Берцелиус столкнулся с непредвиденной трудностью. Выяснилось, что безводная азотная

¹¹ Предполагалось, что азот и водород представляют собой продукты соединения некоторого радикала (основания) с кислородом.

¹² Под терминами «*salpetrige Säure*» и «*Salpetersäure*» Берцелиус имел в виду ангидриды азотистой и азотной кислот, т. е. соответственно N_2O_3 и N_2O_5 .

кислота (т. е. N_2O_5) состоит только из азота и кислорода. Может быть, в 1807 или в 1808 г. этот факт не удивил бы Берцелиуса, но в 1812 г., когда он твердо верил в справедливость «аммонийной гипотезы», его изумление было велико: «То, что азотную кислоту надо рассматривать как вещество, состоящее из азота и кислорода, причем по многу же установленным общим законам состава солей (упоминание о солях объясняется тем, что состав безводной азотной кислоты шведский химик определял, изучая разложение нитратов свинца.— *Авт.*), явилось для меня полной неожиданностью» [27, с. 178].

В этой ситуации оставалось либо придумать какую-нибудь гипотезу, либо пересмотреть прежние взгляды на природу азота, водорода, аммиака и других веществ. В конечном счете Берцелиус избрал второй путь, хотя сначала он пытался спасти «аммонийную гипотезу», предположив, что «кислород в азоте удерживается столь прочно, что перестает вести себя как кислород...» [27, с. 183].

Несмотря на ошибочность и умозрительность исходных посылок, стехиометрические исследования Берцелиуса 1810—1812 гг. имели важное значение для его творческого развития. Во-первых, некоторые составы соединений были определены или предугаданы правильно. Во-вторых,— и это особенно важно в контексте настоящей главы,— в указанных работах, в первую очередь тех, где обсуждался вопрос о составе аммиака и других соединений азота, впервые встречается понятие об «абсолютном минимуме» простого вещества, способном входить в химические соединения. По сути дела, именно на этом понятии и был основан приведенный выше «аммонийный ряд»: $A+S$, $A+2S$ и т. д., а в одной из статей 1812 г. шведский химик специально обращает внимание читателя на существование «абсолютного минимума соединения (простых) тел друг с другом, которому должны быть кратны все другие соединения» [27, с. 297].

Указанное выше понятие сыграло в эволюции теоретических воззрений Берцелиуса заметную роль, так как оно послужило переходной ступенью от стехиометрических законов к их атомистическому пониманию. Практически выделить какое-либо тело в его абсолютно-минимальном весовом количестве было, разумеется, невозможно. Понятие о мельчайшей частице вещества, способной к самостоятельному существованию и имеющей стехиометрический смысл, возникло как результат обработки данных много-

численных анализов различных химических соединений и одновременно как результат синтеза этих аналитических данных с ранее выработанными концепциями, и прежде всего с концепцией химического элемента, предложенной Лавуазье (см. подробнее [9, с. 107—110]).

Появление понятия об абсолютном минимуме вещества в статье 1812 г. не случайно. Именно в этом году начался перелом в отношении Берцелиуса к атомистике, чему в немалой степени способствовала его поездка в Англию (см. главу I). Начиная с 1812 г. ученый более или менее систематически, сначала в частной переписке, а затем в печатных работах, употребляет слова «атом», «корпускула», «частица» и реже — «молекула». Однако проделанная шведским химиком большая аналитическая работа была, естественно, не единственной причиной, заставившей его в конечном счете признать атомную теорию. Закон определенных пропорций так и остался бы эмпирическим обобщением, если бы на его автора не оказали воздействие другие факторы, на анализе которых мы остановимся в следующих двух разделах.

Открытие Гей-Люссака и его влияние на теоретические взгляды Берцелиуса

Казалось бы, к 1812 г. созрели все предпосылки для перехода Берцелиуса на атомистические позиции. Аналитические исследования шведского химика достигли того рубежа, где две методологические традиции — эмпирико-аналитическая (рихтеровская) и философско-атомистическая (дальтоновская) — легко сходились. Точка схождения — понятие об «абсолютном минимуме» вещества — легко могла стать отправным пунктом последующих теоретических построений в духе химической атомистики. Кроме того, для Берцелиуса не прошли бесследно дни, проведенные в Англии, долгие и «поучительные» беседы с Уолластоном о теории Дальтона. И тем не менее о признании шведским ученым атомной доктрины в 1812 г. говорить еще не приходится. Употребление Берцелиусом атомной терминологии не должно вводить в заблуждение, поскольку понятие об атоме соединяло у него три группы значений: структурно-физическое (атом как мельчайшая, механически и химически неделимая частица вещества),

стехиометрическое (атом как наименьшее количество вещества, фигурирующее в химических пропорциях) и «объемное» (атом как наименьший объем простого вещества, находящийся в сложном теле). При этом последнее значение в работах Берцелиуса 1813—1814 гг. оказалось преобладающим.

Пытаясь избежать трудностей атомистической интерпретации закона определенных пропорций, Берцелиус, великий мастер научного компромисса, пошел по пути отождествления понятия атома с понятием объема, занимаемого некоторым простым веществом в химическом соединении. Основой для такого отождествления послужило открытие в 1809 г. французским ученым Ж.-Л. Гей-Люссаком закона правильных соотношений объемов реагирующих газов. Согласно этому закону, объемы газов, вступающих в реакцию, а также объемы конечных газообразных продуктов относятся друг к другу как небольшие целые числа. В этом законе прерывность и кратность отношений реагирующих веществ выразились особенно наглядно. «Крайне важно отметить, — писал Гей-Люссак, — что при рассмотрении весов не наблюдаются никакие простые и конечные отношения между элементами» [28, с. 218]. В качестве иллюстрации французский ученый приводил таблицу, воспроизводимую нами с небольшими изменениями:

Весовые и объемные отношения реагирующих кислорода и азота

Формула получающегося оксида *	Процентное содержание (по весу)		Количество кислорода (по весу), приходящееся на 100 вес. ч. азота	Объемные отношения реагирующих газов	
	азот	кислород		азот	кислород
N_2O	63,72	36,28	57	100	50
NO	46,757	52,243	114	100	100
N_2O_3	34,507	65,493	190	300(NO)	100
NO_2	30,512	65,488	228	100	200

* Современное написание.

Однако это утверждение Гей-Люссака не вполне правильно. Если бы он рассчитал весовое количество кислорода, приходящееся на одно и то же весовое количество азота в его оксидах, то он заметил бы, что соответствующие числа относятся друг к другу как 1:2:3,5:4

(2:4:7:8). Но, видимо, это обстоятельство не ускользнуло от внимания Берцелиуса. По мнению А. Лундгрена, Берцелиус «не размышлял более глубоко над законом объемов Гей-Люссака, а применял лишь его результаты, пересчитанные на веса компонентов, так как они прекрасно подтверждали теорию, предложенную самим Берцелиусом» [9, с. 120].

Познакомившись (вероятно, не позднее осени 1810 г.) с открытием Гей-Люссака, шведский химик задумался прежде всего не о том, как связать это открытие с атомистикой, а о том, как противопоставить одно другому. «Из того, что мы знаем относительно распределенных пропорций, — писал Берцелиус, — следует, что он (закон Гей-Люссака. — *Авт.*) выполняется для всех тел при тех температурах и давлении, при которых они находятся в газообразной форме. Следовательно, нет других различий между теорией атомов и теорией объемов, кроме того, что первая представляет тела в твердом состоянии, тогда как вторая — в газообразном. Таким образом, то, что в одной теории называют атомом, в другой называют объемом. При настоящем состоянии наших знаний теория объемов имеет то преимущество, что она основана на хорошо установленном факте, между тем как теория атомов зиждется на предположении. В теории объемов мы можем оперировать с половиной объема, тогда как в теории атомов половина атома — абсурд» [21, с. 450].

Антиатомистическая направленность приведенного высказывания достаточно очевидна. Объем элемента в соединении, в отличие от атома, не был постоянным и неделимым образованием, что вполне устраивало Берцелиуса, ибо давало возможность решить проблему дробных пропорций. Разумеется, компромисс шведского химика не мог быть принят Дальтоном, несмотря на уверения первого в том, что опыты Гей-Люссака «являются прекрасным доказательством справедливости атомистической теории» [16, с. 156]. Кроме того, Дальтон не мог принять сам закон Гей-Люссака, на чем мы остановимся далее.

Здесь необходимо сделать небольшое отступление. У читателя, знакомого с историей развития химии прошлого века, может возникнуть вопрос: «Не слишком ли настойчиво в данной биографии Берцелиуса подчеркивается его осторожное отношение к атомизму?» Сомнение вполне обоснованное. Так, в цитированном выше письме Берцелиуса к Дальтону есть и такие строки: «Вы вполне

правы, говоря, что учение о кратных отношениях без атомистической теории оставалось бы темным. Насколько я вижу, все полученные до сего времени результаты содействуют укреплению этого учения» [16, с. 156]. Кроме того, в 1813 г. Берцелиус выступает с идеей полярного атома (см. главу III). Подобные факты дали основание многим историкам химии говорить о развитии и даже обосновании атомистики Берцелиусом в начале 1810-х годов.

С нашей точки зрения, в этом вопросе следует соблюдать крайнюю осторожность и всегда учитывать контекст, в котором использовался Берцелиусом термин «атом». Вот один пример. В работе, посвященной определению состава сероуглерода, выполненной совместно с А. Марсэ в 1812 г. [29], атомистическая терминология употреблялась довольно часто. Но что понималось под словом «атом»? В Приложении к этой статье, написанном Берцелиусом, сказано: «...когда газообразные тела соединяются в равных или в кратных объемах, я буду понимать под атомом любого другого газа (т. е. любого газа, кроме кислорода. — *Авт.*) пропорциональный вес равной меры этого газа (т. е. кислорода. — *Авт.*)» [29, с. 192].

С другой стороны, необходимо учитывать еще одно немаловажное обстоятельство: когда речь шла о чисто физических (особенно кристаллографических) явлениях, Берцелиус весьма широко и охотно пользовался понятиями корпускулярной теории вещества. Но как только дело касалось химических аспектов, он занимал по отношению к этой теории в лучшем случае весьма осторожную позицию. И это, заметим, было характерно далеко не для одного Берцелиуса.

Разумеется, такое раздвоение теоретических подходов к изучению одного и того же объекта — химического соединения — может показаться современному читателю и непонятным, и заслуживающим всяческого осуждения. Однако не будем торопиться упрекать шведского химика и его коллег. Несмотря на глубокие исторические корни, атомное учение лишь в 1820-х годах начало по-настоящему завоевывать умы химиков¹³.

¹³ Репидивы антиатомистических настроений, однако, не прекращались до начала XX века (достаточно назвать дискуссии в 1860-годах в Англии, энергетизм Оствальда и т. п. явления). Более того, разве неоправданное размежевание различных теоретических дисциплин так уж редко встречается в наши дни, в век усиленной интеграции научного знания? Разве сейчас



Амедео Авогадро

Выше мы отметили лишь один аспект влияния открытия Гей-Люссака на шведского ученого — аспект, связанный с отношением последнего к атомистике. Теперь остановимся на тех аспектах указанного влияния, которые имели место уже после окончательного признания Берцелиусом атомного учения.

Как известно, закон объемных отношений вызвал критическую реакцию со стороны Дальтона, так как приводил, по его мнению, к необходимости допустить деление атомов на половинки. Так, например, при соединении одного объема азота, содержащего n атомов, с одним объемом кислорода, содержащим также n атомов ¹⁴, должен был

нельзя, к примеру, найти учебник или монографию по общим вопросам неорганической или органической химии, где в первой главе излагаются основы квантовохимической теории строения молекул, а в последующих главах материал преподносится так, как будто этой теории или вовсе не существует, или она с 1930-х годов так больше ничего и не достигла...?

¹⁴ Дальтон полагал, что в одинаковых объемах простых газов, которые он рассматривал как одноатомные, содержится одинаковое число атомов.

бы получиться один объем оксида азота NO. В действительности же, как показали опыты Гей-Люссака, получалось два объема оксида азота, что приводило к выводу о дроблении атомов азота и кислорода надвое.

В 1811 г. А. Авогадро показал, что между учением Дальтона и открытием Гей-Люссака по сути дела нет противоречий. Согласно Авогадро, как сложные, так и простые вещества образованы «интегральными молекулами» (*molécules intégrantes*), которые состоят из двух или большего числа различных атомов (*molécules élémentaires*). «Существуют весьма простые отношения между объемами газообразных веществ и числом простых и сложных молекул, из которых они состоят, — писал итальянский ученый. — В качестве первой гипотезы в связи с этим, которая мне кажется даже единственно допустимой, является предположение, что число составных молекул у любых газов является всегда одинаковым в равных объемах или всегда пропорционально объемам» (цит. по [30]).

Но, как указывалось выше на примере реакции между азотом и кислородом, одной этой гипотезы недостаточно. Противоречие между открытием Гей-Люссака и идеей о равном числе частиц в равных объемах различных газов могло быть разрешено двояким образом.

Первый путь (путь, избранный Авогадро) заключался в признании справедливости «первой гипотезы» для *всех* газов при условии, что простые газы *двухатомны*. Вторым путем (по которому пошел Берцелиус) ограничивал область применения гипотезы о равном числе частиц в равных объемах только *простыми* газами, которые, в свою очередь, считались *одноатомными*. Как правило, в историко-химической литературе отдается предпочтение гипотезам Авогадро о равенстве числа частиц и о двухатомности простых газов, при этом авторы невольно исходят из ретроспективной оценки конкурировавших в прошлом точек зрения.

Не отрицая полезности и уместности подобных оценок, мы должны, вместе с тем, отметить, что в ситуации, сложившейся в химии первой половины XIX века, взгляды Берцелиуса имели не меньшее, а скорее большее основание, чем воззрения Авогадро.

Действительно, оба подхода, основанные на том, что отношение объемов простых газов равно отношению взаимодействующих частиц, приводили к одним и тем же фор-

мулам образующихся веществ, что видно из таблицы, взятой нами с небольшими изменениями из работы М. Фрикэ [31, с. 289]:

*Сравнение интерпретаций химических реакций в газовой фазе
А. Авогадро и Я. Берцелиусом*

Интерпретация	Реакция			
		2 объема водорода + 1 объем кислорода → 2 объема пара		
Авогадро	2H ₂	+	O ₂	→ 2H ₂ O
Берцелиус	2H	+	O	→ H ₂ O
Интерпретация	3 объема водорода + 1 объем азота → 2 объема аммиака			
Авогадро	3H ₂	+	N ₂	→ 2NH ₃
Берцелиус	3H	+	N	→ NH ₃

Кроме того, мысль Берцелиуса о том, что одинаковые объемы сложных газов могут при одинаковых условиях содержать разное число частиц, представлялась более естественной, чем идея Авогадро о двухатомности простых газов. Когда же Ж.-Б. Дюма в 1826—1832 гг. проделал эксперименты по проверке этой гипотезы Авогадро, полученные результаты не подтвердили ее. Измерения плотности паров фосфора, серы и некоторых других простых веществ, для которых атомные веса можно было определить достаточно надежно независимыми методами (например, исходя из закона Дюлонга — Пти), показали, что молекула фосфора в парах четырехатомна, серы — шестиатомна и т. д. Более того, плотность паров серы могла в некоторых пределах непрерывно меняться с изменением температуры. Вообще, до 1858 г., т. е. до работ С. Канниццаро, ситуация для гипотезы Авогадро складывалась крайне неблагоприятно (см. подробнее [31]). Теория Берцелиуса также не давала надежных критериев для написания формул. Так, например, было неясно, какова формула хлористого водорода — HCl или H₂Cl₂, азотной кислоты — N₂H₂O₆ или HNO₃ и т. д. Все это подрывало доверие к тем физическим законам, на основе которых определялись атомные веса, и создавало предпосылки для утверждения в химии учения об эквивалентах. По словам Канниццаро, «...Л. Гмелину после 1840 г. удалось убе-

дять большую часть химиков оставить систему атомных весов шведского химика» [32].

Ю. Либих, так же как и Гмелин, сомневался в том, возможно ли вообще с достоверностью определить относительные атомные веса элементов, и полагал поэтому, что лучше пользоваться эквивалентами. Неудобство эмпирического учения об эквивалентах заключалось, однако, в том, что эквиваленты непостоянны¹⁵. Если два элемента образовывали не одно, а два или более различных соединений, то приходилось или вообще отказываться от понятия эквивалент, или соглашаться с постоянством эквивалентов.

В 1840—1850-х годах определение атомных весов шло по двум главным направлениям. Первое было основано на физических методах (например, определение удельной теплоемкости простого тела с последующим применением закона Дюлонга — Пти), второе — на вычислении истинной формулы сложного соединения и его молекулярного веса. На том и другом пути ученых подстерегали определенные трудности, которые вели порой к противоречивым результатам. Ошибочные представления о составе молекул (при существовавшем смешении понятий «атом», «молекула», «эквивалент») приводили к выводу неправильных формул химических соединений. А это, естественно, вело к установлению неправильных атомных и молекулярных весов. В своих анализах Берцелиус, как правило, использовал серебряные и свинцовые соли органических кислот, например уксуснокислое серебро $C_4H_8O_4 \cdot AgO$. При этом он принимал неправильный состав оксида серебра AgO . Получался удвоенный атомный вес серебра (216,6 вместо 107,8). А это в свою очередь приводило к удвоенному молекулярному весу органических кислот, например, для уксусной кислоты $C_4H_8O_4$.

В 1841 г. А.-В. Реньо установил, что атомный вес серебра равен только половине атомного веса, принятого Берцелиусом. Поэтому оксид серебра должен иметь формулу Ag_2O .

Ш. Жерар принял правильный состав оксида серебра Ag_2O и уменьшил вдвое молекулярный вес органических соединений. Уксусная кислота приобрела истинную формулу: $C_2H_4O_2$. Вместо формул H_2Cl_2 , H_2Br_2 , NH_2O_6 Жерар

¹⁵ Если, например, эквивалент хлора относительно $H = 1$ будет 35,5, то относительно кислорода он будет равен 71 (35,5·2).

писал: HCl , HBr , HNO_3 . Формула оксида щелочных металлов, по Жерару, R_2O вместо формулы RO Берцелиуса, правильная формула едкого кали KOH , а селитры KNO_3 . Тем самым Жерар на материале неорганической химии показал ошибочность дуалистических формул.

К концу 1850-х годов основные законы и понятия атомно-молекулярного учения были открыты и сформулированы. Требовалось только убежденно доказать химикам теоретическую и практическую ценность системы взглядов Авогадро. Эту миссию взял на себя Канниццаро. Он убедительно доказал, что учение Авогадро правомерно и необходимо для всей химии, что понятия «атом» и «молекула» можно распространять как на органические, так и на неорганические вещества.

Но вернемся, однако, к 1810-м годам и продолжим наше рассмотрение эволюции взглядов Я. Берцелиуса и его отношения к атомной теории.

Окончательный переход Берцелиуса на атомистические позиции

Какие же причины заставили шведского химика в конечном счете признать атомистику, пусть даже и не в том виде, какой ей придал Дж. Дальтон? На наш взгляд, таких причин две. Первая связана с кристаллографическими и минералогическими работами Берцелиуса, вторая — с выявлением случаев неприменимости закона определенных пропорций. Рассмотрим эти причины по порядку.

Как уже отмечалось нами, в первой половине XIX в. часто складывалась парадоксальная ситуация, когда один и тот же исследователь, рассматривая вопросы кристаллографии, широко использовал корпускулярные представления о строении вещества, тогда как обсуждая химические проблемы, предпочитал воздерживаться от применения такого подхода. Примером могут послужить взгляды Г. Дэви. Будучи крайне скептически настроенным по отношению к атомистике, он, когда речь заходила о кристаллических формах, писал: «Если частицы вещества полагаются сферическими или что они действуют в сферах притяжения и отталкивания, то легко объяснить их (кристаллов.— *Авт.*) формы, допуская несколько независимых первичных расположений. Так, четыре части-

цы могут составить тетраэдр» [33, с. 124]. Подобных примеров можно привести немало.

В то же время некоторые ученые, такие, как В. Ж. Аюи во Франции и Т. Бергман в Швеции, пытались связать кристаллографические и химические представления на общей, корпускулярной, основе. Эти попытки, разумеется, были хорошо известны Берцелиусу, который много сил и времени уделял изучению состава и классификации минералов.

В апреле 1814 г. Берцелиус закончил работу над монографией «Попытка установить чисто научную систему минералогии на основе применения электрохимической теории и химических пропорций», вышедшей в том же году на шведском и английском языках [34]. В этой работе понятия и представления корпускулярной теории вещества (Берцелиус избегал слов «атомная теория», так как не был вполне согласен с атомистикой Дальтона) используются довольно широко. В Приложениях к этой монографии шведский химик отмечает, что корпускулярное учение «наилучшим образом согласуется с нашей обычной манерой рассмотрения и понимания тел и их составов» [34, с. 81]. Там же, пытаясь предвидеть свойства «элементов в их первоначальном изолированном состоянии», Берцелиус анализировал два возможных состояния элементов в зависимости от агрегатного состояния макротела. В первом случае элементы могут входить в состав твердых тел, «составленных из бесконечно малых частиц, которые располагаются друг возле друга и занимают ограниченное пространство», во втором случае элементы встречаются «в виде газов, состоящих из частиц, которые избегают друг друга, находясь на как можно большем расстоянии одна от другой, и которые, таким образом, распределены одинаково во всех направлениях» [34, с. 80].

Эти положения, по мнению Берцелиуса, следует принять за основу, рассматривая «механическую причину кратных пропорций» [34, с. 81]. Мы видим также, что ученый выдвигает более адекватное представление о газах, чем ранее. Атомная теория становится тем самым рабочей теорией (или, лучше сказать, рабочей гипотезой) для шведского химика.

К 1815 г. Берцелиус практически оставил идею замены понятия атома понятием объема, что с наибольшей ясностью выразилось во втором варианте трактата по мине-

ралогии «Опыт чисто химической системы минералов», законченном 17 апреля 1815 г. [35]. Здесь Берцелиус обсуждает составы химических соединений практически только в терминах атомной теории. Но несмотря на это, некоторые возражения в адрес учения Дальтона все еще остались. «Вероятно,— это правда, что на дальтоновой, чисто механико-атомистической основе, предмет этот (т. е. стехиометрия.— *Авт.*) может быть довольно легко понят, ибо, действительно, из данного числа атомов можно построить сложный атом так, как строят дом, лишь бы это построение было математически правильным. Но в то же время нигде неправильность такой односторонней позиции не обнаруживается яснее, чем тут, ибо так можно прийти к бесконечному ряду соединений с бесконечным числом пропорций. Опыт, однако, показывает, что такого не происходит, и ряд весьма веских обстоятельств указывает нам на то, что нельзя проходить мимо сил, благодаря которым существуют соединения» [35, с. 37]. Таким образом, хотя сомнения по отношению к теории Дальтона у Берцелиуса остались, центр тяжести разногласий между ними сместился. Не без основания предупреждал шведский химик об опасности чисто механистического подхода к химическим вопросам, настаивая на необходимости познать природу химических сил.

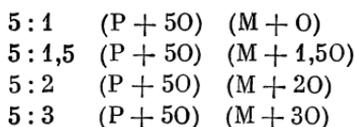
Оценивая отношение Берцелиуса к атомной теории Дальтона, следует также учитывать, что восприятие ее шведским химиком и его современниками в корне отличалось по своему характеру от восприятия этой теории последующими поколениями ученых и историков науки. Химик наших дней, обращаясь к истории химической науки, видит в учении Дальтона две части. Первую часть учения, его рациональное зерно, составляют идея об атомах и родственные ей концепции (атомного веса, существования простых и сложных атомов, т. е. молекул, и т. д.). Вторая часть включает в себя все остальное, т. е. все то, что с развитием науки было либо отброшено, либо исправлено. В эту вторую часть атомного учения входят прежде всего дальтоновские соображения о составе химических соединений, т. е. как раз то, что в прошлом веке могло быть как-то проверено экспериментально. Для Берцелиуса и его современников вторая часть атомистики была едва ли не важнее первой, априорной, части. Во всяком случае именно соответствие или не соответствие

дальтоновских представлений о составе соединений с экспериментом решало судьбу всей атомной теории.

Поэтому, несмотря на важность минералогических и кристаллографических исследований Берцелиуса, несмотря на глубокое влияние, оказанное на него кристаллографической, корпускулярной традицией, для окончательного перехода на атомистические позиции следовало так или иначе разрешить рассмотренное выше противоречие между атомистикой и законом определенных пропорций и прежде всего проблему дробных пропорций. Решающую роль в решении этой проблемы сыграли исследования состава фосфорных кислот и их солей, законченные Берцелиусом летом 1816 г. и опубликованные в том же году [36].

Это было одно из самых трудных и изнурительных исследований для шведского ученого. «Я влип с этой фосфорной кислотой, которая совершенно не отвечает закону соединения окисленных тел» (т. е. закону оксидов.— *Авт.*),— писал Берцелиус Й. Гану 15 апреля 1816 г. [23, с. 135]¹⁶.

Берцелиус изучал состав четырех солей фосфорных кислот. В силу многообразия форм кислородных кислот фосфора и сложности равновесий, существующих между ними в растворе, ретроспективная интерпретация анализов Берцелиуса крайне затруднена. По-видимому, он имел дело с метафосфатами, тетраполифосфатами, диполифосфатами и ортофосфатами. Отношения весовых количеств кислорода в кислой и основной части солей были найдены следующими:



т. е. во всех случаях, кроме первого, закон оксидов не выполнялся. Вначале, чтобы «спасти» закон, Берцелиус предположил, что фосфор не является простым веществом, а состоит из одного атома кислорода и радикала, т. е. использовал прием, который ранее пытался применить при изучении соединений азота. Тогда получалось, что

¹⁶ Как следует из подстрочного примечания к статье [36], окончательный вид эта работа получила во время пребывания в Швеции немецкого химика Л. Гмелина в августе 1816 г.

в кислотной части фосфорных солей число атомов кислорода увеличивалось на единицу и вместо приведенных выше пропорций следовало принять другие, отвечающие закону оксидов:

$$\begin{aligned}6:1 & \quad (P + 6O) \quad (M + O) \\6:1,5 = 4:1 & \quad (P + 6O) \quad (M + 1,5O) \\6:2 = 3:1 & \quad (P + 6O) \quad (M + 2O) \\6:3 = 2:1 & \quad (P + 6O) \quad (M + 3O)\end{aligned}$$

Однако эксперимент не подтвердил этого предположения, что заставило Берцелиуса признать ограниченный характер закона определенных пропорций и принять атомистическое решение проблемы дробных пропорций (вместо, скажем, $1A : 1,5B$ принять $2A : 3B$) как наилучшее.

Таким образом, мы видим, сколь сложен и противоречив был путь Берцелиуса к химической атомной теории.

Рассматривая возможные пути открытия химической атомистики, Б. М. Кедров выделил четыре основных, характеризую их по двум признакам — исходному методу и первоначальному объекту исследования [1, с. 175—177].

«Первый путь — путь Бойля—Ломоносова... вел от представления о химических атомах к признанию, что атомы соединяются путем непосредственного контакта в кратных отношениях. ...Это был путь химико-теоретический.

...Второй путь — путь Ньютона — Дальтона... вел от анализа физической проблемы зависимости между объемом и давлением газов, а у Дальтона — от анализа проблемы смешения газов к установлению понятия атомного веса и последующему открытию закона кратных отношений. Это был путь физико-теоретический.

...Третий путь — путь Рихтера—Уолластона ... на этом пути вначале предпринималось химико-аналитическое исследование, лишенное теоретического, атомистического освещения ...Это был путь химико-эмпирический.

...Четвертый путь — путь Гей-Люссака — Берцелиуса ...это был путь физико-эмпирический, он вел от эмпирического исследования объемных отношений газов к открытию Гей-Люссаком закона кратных отношений в его объемном выражении. В дальнейшем требовалось теоретическое освещение сделанного открытия при помощи атомистики, что дали Берцелиус, Авогадро и Ампер...» [1, с. 176—177].

Разделяя в целом точку зрения Кедрова, мы хотим уточнить ее в историческом плане. И по исходному методу, и по первоначальному объекту исследования работы Берцелиуса, как мы видели выше, следует отнести к третьему направлению — химико-эмпирическому, берущему свое начало от эмпирического изучения дискретных химических отношений.

Эволюция систем атомных весов и химических формул

В 1814 г. Берцелиус изложил свои методы определения атомных весов элементов [37]. Считая, что плотности элементов в газообразном состоянии должны быть пропорциональны их атомным весам, он применил закон объемных отношений Ж.-Л. Гей-Люссака для определения «веса элементарных объемов», как он назвал в то время атомные веса. «Гей-Люссак, — писал Берцелиус, — открыл, что газы соединяются или в равных частях, или количество одного будет кратным к количеству другого... Если в этих наблюдениях заменить слова «объем» и «масса» словами «атом» или «частица», а вместо соединяющихся газов мыслить соединяющиеся тела, то в этом найдут непосредственное доказательство верности гипотезы Дальтона. Гей-Люссак, между тем, из этого в высшей степени важного открытия не сделал всеобщего применения, но довольствовался открытием общих законов для соединения газообразных тел» [18, с. 15].

Берцелиус одним из первых использовал закон объемных отношений Гей-Люссака для определения атомных весов элементов. В качестве единицы сравнения атомных весов Берцелиус выбрал вес атома кислорода ($O = 100$). Обосновывая этот выбор, он писал: «Сравнение веса атома с весом водорода не дает никаких преимуществ, а пожалуй, скорее причиняет много неудобств, ибо водород является слишком легким телом и встречается реже в органических соединениях. Напротив, кислород объединяет в себе все преимущества и является, так сказать, центром, вокруг которого вращается вся химия. Он входит в состав всех органических и большинства неорганических тел»¹⁷.

¹⁷ Много лет спустя, уже в XX столетии, кислород стали использовать как основу для сравнения ($O = 16$).

В 1814 г. Берцелиус опубликовал первую таблицу атомных весов простых веществ. В 1818 г. в третьем томе шведского издания «Учебника химии» он изложил теорию химических пропорций, а в 1819 г. опубликовал на французском языке в виде отдельного сочинения «Опыт учения о химических пропорциях и о химическом действии электричества». Немецкий перевод этой работы появился в 1820 г. [18]. Эта небольшая книга представляет огромный научный интерес. В ней автор дал интересный исторический очерк развития учения о химических пропорциях, кратко изложив основные выводы работ Т. Бергмана, И. Рихтера, К. Бертолле, Ж. Пруста, В. Хиггинса, Дж. Дальтона, Ж.-Л. Гей-Люссака и своих собственных.

В «Опыте» Берцелиус обобщил все экспериментальные исследования за 10 лет упорной работы. Эти исследования подвели прочную экспериментальную базу под атомистическую теорию Дальтона. Берцелиус определил атомные веса 45 элементов, проанализировал и определил процентный состав 2000 соединений. Это был исполинский труд, огромный по объему выполненной работы.

Однако Берцелиус отчетливо сознавал, что на произвольной основе нельзя определить атомный состав соединений и атомный вес элементов. «До тех пор,— писал Берцелиус,— пока мы не будем в состоянии определить вес каждого тела при температуре, при которой оно становится летучим, газообразным, по сравнению с равным объемом, например, кислорода, до тех пор у нас будет отсутствовать прямой способ для суждения об этом. Мы должны поэтому ограничиваться косвенными исследованиями» [18, с. 120].

Особенно большие трудности возникли при определении атомных весов металлов, так как нелетучие соединения металлов не позволяли применять объемный метод. Поэтому Берцелиус вынужден был исходить из предлагаемой формулы оксидов металлов. При этом правильная формула вела к правильному атомному весу, а неправильная — к ошибочному. Аргументированных критериев для установления правильных формул в 1814—1818 гг. Берцелиус не имел. Он вынужден был исходить из определенных постулатов, например, что кислотные соединения содержат всегда один атом окисленного элемента (CuO, HgO и т. д.), оксиды всех энергичных «оснований» имеют формулу RO₂ (K₂O, Na₂O и т. д.), для

оксидов алюминия, хрома и железа он применял формулу RO_3 . Постулат об одном типе оксидов RO_n привел к тому, что в системе 1818 г. атомные веса металлов имели удвоенные, а щелочных — учетверенные значения.

Процентные составы оксидов, кислот, солей и оснований, полученные Берцелиусом, очень близки к современным. Значительные ошибки в атомных весах, относящиеся к тому времени, возникали за счет неправильных формул соединений, подвергавшихся анализу для вывода атомного веса. Например, количественный анализ соединений натрия привел Берцелиуса к очень точному для того времени процентному составу оксида натрия 74,4% Na (совр. 74, 2% Na). Однако данный Берцелиусом атомный вес натрия был в четыре раза больше современного, так как для оксида натрия он в 1819 г. принял формулу NaO_2 . О точности анализов, проведенных Берцелиусом, свидетельствует таблица, в которой сопоставлены результаты, полученные Рихтером, Дальтоном, Берцелиусом, с современными данными:

	Рихтер (1792)	Дальтон (1808)	Берцелиус (1819)	Современные данные
<u>Оксид серебра</u>	$\frac{3728}{3592} = 1,038$	$\frac{100+7}{95+7} = 1,049$	$\frac{2903,2}{2789,0} = 1,041$	$\frac{231,8}{223,2} = 1,039$
<u>Оксид свинца</u>				
<u>Оксид бария</u>	$\frac{2222}{793} = 2,80$	$\frac{68}{23} = 2,96$	$\frac{1913,86}{712,06} = 2,69$	$\frac{153,4}{56,07} = 2,74$
<u>Оксид кальция</u>				
<u>Оксид кальция</u>	$\frac{793}{615} = 1,29$	$\frac{23}{20} = 1,15$	$\frac{712,06}{516,72} = 1,38$	$\frac{56,07}{40,3} = 1,39$
<u>Оксид магния</u>				
<u>Оксид натрия</u>	$\frac{859}{793} = 1,09$	$\frac{28}{23} = 1,22$	$\frac{781,84}{712,06} = 1,089$	$\frac{62,0}{56,07} = 1,10$
<u>Оксид кальция</u>				

В дальнейшем работа Берцелиуса по определению атомных весов шла по двум направлениям. С одной стороны, по мере совершенствования количественного анализа уточнялся процентный состав соединений, на основе которых выводился атомный вес химических соединений, с другой — сами атомные веса уточнялись в связи с изменением формул химических соединений.

Система атомных весов 1826 г.

Я. Берцелиус понимал, что им, так же как и Дальтоном, приняты произвольные предпосылки определения атомных отношений в химических соединениях. Поэтому он вынуж-



Эйльхард Митчерлих

ден был пользоваться косвенными соображениями и аналогиями. До 1819 г. Берцелиус не знал, как выйти из создавшегося положения.

1819 год стал важным рубежом в разработке новой системы атомных весов. В этом году П. Л. Дюлонг и А. Т. Пти опубликовали статью «Исследования относительно некоторых важных пунктов теории теплоты», в которой определили теплоемкости большого числа простых тел и обнаружили, что произведение атомного веса элемента на удельную теплоемкость образуемого им простого тела в твердом состоянии есть величина постоянная. На основе закона атомных теплоемкостей Дюлонг и Пти правильно определили формулы FeO , Fe_2O_3 для оксидов железа, Cu_2O , CuO для оксидов меди.

Берцелиус был первым, кто широко применил закон Дюлонга — Пти для определения атомных весов. Он также воспользовался явлением изоморфизма, открытым Э. Митчерлихом в 1819—1821 гг. В результате своих исследований Митчерлих пришел к выводу, что одинаковое количество атомов, соединенных одним и тем же способом, дает

одну и ту же кристаллическую форму, которая не зависит от химической природы атомов, а зависит лишь от их числа и положения. Одна соль как бы «копирует» форму другой.

Митчерлих писал: «...Каждому арсенату соответствует «свой» фосфат, образованный согласно тем же пропорциям, соединенный с тем же количеством воды и имеющий приблизительно равную растворимость в воде и кислотах; фактически две серии солей различаются лишь тем, что в одной в качестве радикала кислоты присутствует мышьяк, а в другой — фосфор... Некоторые элементы обладают способностью образовывать одинаковые кристаллические формы, когда они соединены с равным числом атомов одного или более элементов, и, с этой точки зрения, данные элементы могут быть выделены в определенные группы. Для удобства я назвал элементы, принадлежащие к одной и той же группе... изоморфами» [38].

Затем он сформулировал фундаментальный вывод: «...равное число атомов, соединенных одним и тем же способом, образует одинаковые кристаллические формы, которые не зависят от природы атомов, но только от их числа и способа соединения».

Митчерлих установил, что правильная формула оксида хрома — Cr_2O_3 , а не CrO_3 , как принимал Берцелиус. Следовательно, формулы оксидов алюминия, марганца, железа, изоморфные с оксидом хрома, надо писать не AlO_3 , MnO_3 , FeO_3 , а Al_2O_3 , Mn_2O_3 , Fe_2O_3 .

Сопоставление окислительных рядов азота и хлора, марганца и хрома привело Берцелиуса к выводу, что надо отказаться от мнения о существовании только простейшего типа оксидов RO_n , что надо признать окислительный ряд типа R_2O_n . Принятие формулы R_2O_n сыграло важную роль в усовершенствовании системы атомных весов элементов.

Из закона изоморфизма Берцелиус вывел следующее правило: если одно вещество изоморфно другому, в котором число атомов известно, то можно определить число атомов в обоих веществах, так как изоморфизм есть лишь следствие одинакового атомного состава. Закон Митчерлиха дал возможность по известному составу одного соединения (в твердом виде) определить атомный состав изоморфных с ним соединений.

Опираясь на эти законы, Берцелиус в 1826 г. предложил новую систему атомных весов (см. таблицу на с. 81), по словам А. Вюрца, — «вечный монумент, который Берце-

Таблица атомных весов по Дальтону и Берцелиусу

Элемент	Дальтон (1810)	Берцелиус		Современные данные
		1818	1826	
Водород	1	1,06	1	1
Кислород	7	16	16	15,99
Азот	5	14	14,2	14,006
Углерод	5,4	12	12,2	12,011
Сера	13	32	32,2	32,064
Фосфор	9	31	31	30,9738
Хлор	—	35	35	35,453
Золото	60	187	199	196,967
Платина	73	195	197,10	196,09
Серебро	90	108	217	107,868
Ртуть	84 или 168	201	203	200,59
Медь	28 или 56	64	63,3	63,54
Железо	25	56	54,2	55,847
Олово	52	118	118	118,69
Свинец	90	208	207	207,19
Цинк	29	65	65	65,357
Сурьма	40	122	129	121,75
Мышьяк	21	75	75	74,921
Марганец	25	55	55	54,938
Калий	—	39	79	39,102
Натрий	—	23	47	22,98
Кальций	—	40	41	40,08
Магний	—	24	25	24,312
Барий	—	137	137	137,34
Стронций	—	—	88	87,62
Алюминий	—	—	27	26,9815
Кремний	—	—	44	28,086
Фтор	—	—	19	18,99
Бор	—	—	22	10,811

лиус воздвиг науке и своей собственной славе» [39]. В ней большинство атомных весов элементов соответствуют современным.

Исследования Ж.-Б. Дюма и Ж. Стаса (1841) показали, что при определении атомного веса углерода ($C = 12,26$) Берцелиус ошибся примерно на 2%. Это совершенно неожиданное заключение вызвало недоверие к данным Бер-

целиуса. Началась их тщательная проверка, в результате которой оказалось, что эта ошибка была у него самой большой.

Из 54 элементов, известных к концу жизни шведского химика, неправильными были атомные веса только 9: бора, бериллия, кремния, ванадия, циркония, урана, церия, иттрия и тория; многие из них были исправлены лишь в результате открытия периодического закона Д. И. Менделеева.

В исследованиях по определению атомных весов элементов приняли участие и русские ученые, работы некоторых из них оказали влияние на Берцелиуса при установлении им системы атомных весов [40]. Так, в 1829 г. русский химик и минералог Р. И. Герман установил очень близкий к современному процентный состав оксида лития в отличие от ошибочного состава, принятого Берцелиусом. Исследование Германа было высоко оценено шведским химиком, который в том же году повторил опыты и убедился в справедливости выводов русского ученого.

При выводе атомного веса бериллия Берцелиус исходил из неправильных процентного и атомного составов оксида этого металла. В 1842 г. горный инженер и химик И. В. Авдеев исправил обе эти величины и на этом основании вычислил правильный атомный вес бериллия. Берцелиус не принял формулы оксида бериллия BeO , предложенной русским химиком, но вынужден был согласиться с процентным составом оксида бериллия, определенным Авдеевым. Однако из-за ошибочного атомного состава оксида бериллия (Be_2O_3) во всех таблицах атомных весов, опубликованных Берцелиусом, атомный вес бериллия был неверным. Последующие определения атомного веса бериллия показали справедливость мнения русского химика. Процентный состав многих оксидов металлов более точно был определен русскими учеными. В 1843—1844 гг. Герман получил очень точный состав оксида церия и диоксида циркония. В 1846 г. П. И. Эйnbrодт¹⁸ определил «эквива-

¹⁸ В 1836 г. Эйnbrодт показал, что кремнезем должен иметь формулу SiO_2 [41]. Берцелиус считал, что он должен иметь состав SiO_3 . В связи с этим шведский химик подверг работу Эйnbrодта критике. Он писал: «Эйnbrодт сообщил свои взгляды по столь спорному вопросу, касающемуся числа атомов кислорода в кремнекислоте. Он полагает, как и Л. Гмелин, что кремнезем содержит 2 атома кислорода, и если в его доказательствах не хватает решающих аргументов, то он заменяет их многословием. Герман

лент» азота точнее, чем это сделал Берцелиус. В 1850 г. Г. Струве получил близкий к современному атомный вес меди.

При установлении атомных весов и формул химических соединений Берцелиус пользовался совокупностью всех химических знаний: стехиометрическими законами, законами Дюлонга—Пти, изоморфизма химических соединений, закономерностями, связанными с изменением объема в газовых реакциях, химическими аналогиями. Но даже совокупность этих закономерностей не давала надежного однозначного решения вопроса о правильности определения атомного веса многих элементов. Только внимательное изучение всех химических и физических свойств элементов, сопоставление их друг с другом и свойствами других элементов позволили Берцелиусу создать систему атомных весов элементов и формул химических соединений.

Система химических знаков

С атомной теорией был связан такой важнейший шаг в развитии химии, как введение языка химических формул и уравнений.

Основой символов Дальтона был круг. Для обозначения отдельных элементов служили: 1) условный знак внутри круга, например для кислорода чистый круг \circ , для водорода точка \odot , для азота вертикальная черта $\textcircled{\mid}$, для углерода затемненный круг \bullet , для серы крест \oplus и т. д.; 2) начальные прописные буквы английских названий элементов, помещенные внутри круга, например для железа (Iron)

$\textcircled{\text{I}}$, для меди (Copper) $\textcircled{\text{C}}$, для олова (Tin) $\textcircled{\text{T}}$ и т. д.

Каждый символ выражал вес одного атома элемента. Для обозначения соединений из двух или трех атомов их

также продолжил решение этого вопроса и пришел к заключению, что как кремнекислота, так и борная кислота содержит только 2 атома кислорода. Известные до сих пор опыты не решают вопроса, многие из них говорят за 2 атома кислорода в кремнекислоте, но некоторые — за 3 атома кислорода; среди последних находится состав силикатов, который не объясняется удовлетворительно при помощи гипотезы о двух атомах. В пятом издании моего учебника химии, т. III, с. 1200, я обсудил этот предмет с различных сторон и предлагаю желающим решить этот вопрос, если они это могут» [42]. Вопрос о составе кремнезема был решен не в пользу точки зрения Берцелиуса, правильным оказался состав SiO_2 .

символы ставились рядом. Например, вода $\odot\odot$, аммиак $\odot\odot$, оксид углерода $\odot\bullet$, спирт $\bullet\bullet\odot$ и т. д.

Система символов Дальтона не получила широкого применения. Так, ни А. Авогадро (1811), ни А. Ампер (1814) не пользовались его символами.

Дальнейшее развитие и усовершенствование системы химических знаков принадлежат Берцелиусу. После большой работы по определению атомных весов, после развития представлений о силах, действующих между атомами, Берцелиус подошел к решению проблемы способа обозначения атомов и соединения атомов. Он писал: «Если мы примем вес кислородного газа, этого центра всей химии, за единицу и выразим вес всех других простых тел в газобразном состоянии при одинаковом объеме с кислородным газом посредством определенного знака, то мы получим совершенно простые формулы для выражения состава тел. Знаки, которыми я пользуюсь при этих формулах,— это первоначальные буквы латинских названий простых тел».

Берцелиус разработал простую и легко понятную систему химических знаков для четкого, наглядного выражения и объяснения атомного состава химических соединений. Он стремился дать в руки химиков всех стран такую систему химических знаков и формул, которая не требовала бы изменения этих знаков для каждого языка. По мысли Берцелиуса, формула должна совершенно точно выражать, из каких элементов состоит соединение, и показывать относительное число атомов каждого из элементов. Химические знаки Берцелиуса соответствовали определенным относительным количествам элемента и позволяли поэтому составлять формулы химических соединений. Он писал, что «посредством формул он дает наиболее краткое и ясное теоретическое описание состава сложного тела, позволяющее мгновенно уяснить то, что трудно столько же просто объяснить многострочным словесным текстом».

Впервые химические знаки были опубликованы Берцелиусом в 1813 г. в статье «Опыты о природе азота, водорода и аммиака» [43].

В 1815 г. в работе «О причине химических пропорций и о некоторых сюда относящихся вопросах вместе с простым способом изображения последних» Берцелиус более подробно изложил этот вопрос. «Химические знаки должны

быть буквами, чтобы объяснить написанное, а не обезобразить напечатанную книгу,— писал он,— поэтому я при-
му в качестве химических знаков начальные буквы латин-
ских названий каждого элементарного вещества, например,
S — sulphur, Si — silicium, Sb — stibium, Sn — stannum,
C — carbonicum, Co — cobaltum, Cu — cuprum, O — oxy-
genium, Os — osmium и т. д. Химический знак всегда вы-
ражает один объем вещества (атом.— *Авт.*). Если необхо-
димо выразить многие объемы, то это делают, указывая
их число, например oxidum cuprosum (закись меди.— *Авт.*)
состоит из одного объема кислорода и одного металла, по-
этому его знак Cu+O. Oxidum cupricum (оксид меди.—
Авт.) состоит из одной части металла и двух кислорода,
его знак, следовательно, Cu+2O. Соответственно знаки
серной кислоты S + 3O, угольной кислоты C + 2O, воды
2H+O и т. д.» [44].

Если названия нескольких элементов начинались с од-
ной и той же буквы, то за ней Берцелиус ставил вторую
или одну из следующих букв их названий, так чтобы зна-
ки, начинающиеся с одной и той же буквы, не совпадали.
Например, C — углерод, Ca — кальций, Cr — хром, Cu —
медь, Co — кобальт.

Вот знаки атомов элементов, предложенные Берцелиу-
сом в последнем издании его учебника:

O — кислород	Fe — железо	Au — золото
H — водород	Mn — марганец	Ir — иридий
N — азот	U — уран	R — родий
S — сера	Zn — цинк	Pt — платина
P — фосфор	Co — кобальт	Pd — палладий
Cl — хлор	Ni — никель	Hg — ртуть
Br — бром	Zr — цирконий	Ag — серебро
J — иод	Th — торий	Cu — медь
F — фтор	Y — иттрий	Bi — висмут
C — углерод	Ce — церий	Sn — олово
B — бор	D — дидам	Pb — свинец
Si — кремний	Ln — лантан	Cd — кадмий
Se — селен	Al — алюминий	G — глиций (бе- риллий)
Te — теллур	K — калий	Mg — магний
As — мышьяк	Na — натрий	Ca — кальций
Cr — хром	Sb — сурьма	Sr — стронций
V — ванадий	Ta — тантал	Ba — барий
Mo — молибден	Ti — титан	Lt — литий
W — вольфрам	Os — осмий	

Число атомов в соединении указывалось цифрами. Цифра, помещенная слева, перемножает все атомы, стоящие от нее справа, до следующего знака или до конца формулы (2NaCl). Цифра справа сверху в виде алгебраического показателя степени перемножает атомный вес, стоящий перед нею слева (Al^2O^3)¹⁹.

Для изображения кислорода в соединениях Берцелиус предпочитал пользоваться точками над символами. Например, углекислый газ (CO_2) выражался формулой C. Число точек над символом соответствовало числу атомов кислорода. Оксид кальция, например, обозначался формулой $\overset{\cdot\cdot}{\text{Ca}}$, оксид калия $\overset{\cdot\cdot}{\text{K}}$, азотная кислота $\overset{\cdot\cdot}{\text{N}}$, серная кислота $\overset{\cdot\cdot}{\text{S}}$ и т. д. Для обозначения двух атомов водорода или двух атомов азота Берцелиус писал не 2H или 2N , а ставил черту поперек символа H или N .

В 1826 г. в связи с изменением системы химических знаков перед Берцелиусом встал вопрос об обозначении двух атомов металла или неметалла в соединении при сохранении системы точек. Вот как сам Берцелиус объясняет новое обозначение, предложенное им: «Во всех тех случаях, когда два атома радикала соединяются с 1, 3 и 5 атомами кислорода... ясность формул будет увеличена, если иметь специальное обозначение для двойного атома. Наиболее естественным знаком было бы удвоение начальных букв, но таким образом, чтоб они остались связанными вместе и выражали бы не два знака, а один. Для выражения этих формул я, однако, счел, что это можно осуществить легче и так же четко, пользуясь начальными буквами, но проводя прямую черточку на расстоянии одной трети от нижней части буквы, для изображения двух атомов: так, P обозначает один атом, а P — двойной атом фосфора, As — простой атом мышьяка, а $\overset{\cdot\cdot}{\text{As}}$ — двойной» [45].

По поводу введения двойных атомов Берцелиус писал в «Учебнике химии»: «Многие мои друзья во Франции и Германии настаивали, чтобы я отказался от своего взгля-

¹⁹ Надстрочные цифры Al^2O^3 использовались некоторыми учеными до конца XIX в., например во всех восьми изданиях «Основ химии» Д. И. Менделеева. Принятое в настоящее время указание числа атомов подстрочными цифрами Al_2O_3 предложил в 1834 г. Ю. Либих.

да из-за неудобства, с которым они сталкивались в формулах с водородными атомами, так как число последних, по моему представлению, было вдвое большим, чем по Дальтону. Но удобство, действительное или искусственное, никогда не может быть основанием для научной теории. Нужно искать истину и основываться на фактических доказательствах постольку, поскольку они имеются» [46].

«До нашего сознания едва ли доходит огромное значение этого языка,— пишет Э. Штрекер,— который мы, современные люди, используем как нечто само собой разумеющееся... С современной химической точки зрения, полностью пронизанной этим языком, лишь с трудом удастся возвратиться к тому доформульному химическому мышлению, на фоне которого только и можно понять смысл и значение создания нового языка» [47, с. 184].

Буквенные химические знаки не были использованы Берцелиусом для написания химических уравнений. Этому, по-видимому, препятствовали два обстоятельства. Первое заключалось в том, что берцелиусовские формулы химических соединений уже выражали реакцию образования вещества, например, формула сернокислого натрия $\text{NaO} \cdot \text{SO}_2$ показывала, что один сложный атом сернокислого натрия получается при соединении одного атома оксида натрия и одного атома серной кислоты. Вторым обстоятельством, препятствовавшим введению химических уравнений, была дуалистическая система, которая противоречила многим из них. Особенно большие трудности возникали при выражении реакций замещения [48].

Одним из первых, кто применил уравнения для выражения химических реакций и для решения стехиометрических задач, был профессор Дерптского университета Г. В. Озанн. В 1827 г. он опубликовал «Учебник теоретической химии», где использовал химические уравнения.

Широко стал применять химические уравнения Г. И. Гесс в своем известном учебнике «Основания чистой химии». Например, получение аммиака из хлорида аммония и оксида кальция и образование мочевины он выражал так:



Учебная химическая литература 1840—1850-х годов уже не мыслилась без химических уравнений.

Химическая символика Берцелиуса оказалась удивительно емкой и информативной. Творчески думающий химик способен был почерпнуть из химических формул значительно больше сведений, чем, казалось бы, в них было заключено. Особенно ярко это проявилось тогда, когда химики стали оперировать структурными химическими формулами. Совершенно прав был Нильс Бор, когда сказал, что «ни одна область науки, кроме химии, не располагает обозначениями, которые суммировали бы в столь краткой форме такое множество точных сведений».

Химическая номенклатура

В связи с новыми открытиями в химии и развитием химической атомистики Берцелиус внес изменения и в химическую номенклатуру, разработанную французскими учеными и прежде всего А. Лавуазье.

В первую очередь шведский химик отказался от принципа построения номенклатуры на каком-либо национальном языке. Он считал, что для этой цели более всего подходят латинский и греческий языки как международные. По этому поводу он писал в 1839 г., что название следует выводить из мертвых языков — греческого или латинского. Это имеет большое преимущество, так как такая номенклатура применима без перевода во всех странах. Главным в названии является его краткость.

Для определенных классов химических соединений Берцелиус применил соответствующие приставки, суффиксы и окончания. В основу была положена антифлогистическая номенклатура Лавуазье с изменениями, вызванными новыми открытиями, происшедшими со времени смерти французского ученого. Свою номенклатуру Берцелиус опубликовал в 1811 г. на французском языке в «Journal de physique», в 1812 г. — на шведском языке в «Докладах Шведской Академии наук» и на немецком в «Gilbert's Annalen». С этих пор Берцелиус широко применял эту номенклатуру в своих работах.

Берцелиус разделил все химические элементы на две группы: электроотрицательные неметаллические вещества и электроположительные металлы. Первые он не совсем удачно назвал металлоидами. При образовании названий химических соединений Берцелиус исходил из своей электрохимической теории (см. главу III). Двойные соединения имели название, состоящее из двух слов — существи-

тельного и прилагательного. Существительным было название более электроотрицательного вещества с определенным окончанием — *idium* или *-etum* (*oxidum, sulfuratum* и т. д.), прилагательным — название более электроположительного вещества с окончаниями — *icum, -osum* (например, *oxidum sulfuricum* — SO_3 , *oxidum sulfurosum* — SO_2). Подобным образом составлялись названия и других веществ.

Предложенная Берцелиусом латинская номенклатура была переведена на многие языки. Она легла в основу современной химической номенклатуры.

Гипотеза Праута и отношение к ней Берцелиуса

Гипотеза В. Праута, опубликованная в 1815—1816 гг., привлекла к себе пристальное внимание многих ученых. Она сразу нашла активных сторонников и не менее активных противников [49].

Основная идея гипотезы Праута заключалась в том, что атомы водорода являются первичной материей всех веществ. Поэтому атомные веса элементов должны быть кратными атомному весу водорода и выражаться целыми числами.

«В допущении, что объем водорода равен атому, — писал Праут, — заключается та выгода, что в этом случае удельные веса большинства, а может быть, всех элементарных веществ (принимая водород за 1) будут точно совпадать с весами их атомов или будут их кратными; если же принять за единицу объем кислорода, то веса атомов большинства элементарных веществ, за исключением кислорода, будут вдвое больше их удельных весов, определяемых по водороду...

Если взгляды, которые мы решились высказать, правильны, то мы почти можем считать, что (против) древних воплощен в водороде; точка зрения, впрочем, не совсем новая...» [50].

Для Берцелиуса, занимавшегося многие годы определением атомных весов химических элементов, гипотеза Праута представлялась ошибочной²⁰. Он считал, что эта

²⁰ В системе атомных весов, опубликованной Берцелиусом в 1826 г., большинство величин атомных весов элементов не являлись кратными атомному весу водорода.

гипотеза находит сторонников, особенно среди английских ученых (Г. Дэви, Т. Томсон и др.), главным образом потому, что «во время ее возникновения большое количество анализов еще не обладало такой точностью, что увеличение или уменьшение найденного числа до точного кратного атомного веса водорода лежало бы вне границ обычных ошибок опыта» [49].

Берцелиус выступил с резкой критикой работ английского химика Томсона. Речь прежде всего шла об учебнике Томсона «System of Chemistry of Inorganic Bodies» и его статьях, в которых пропагандировалась гипотеза Праута. Как писал Берцелиус, «любовь к истинному прогрессу в науке обязывает изобличать шарлатанство и выставлять его на суд каждого, как оно того заслуживает» [51]. Томсон, конечно, не был «шарлатаном». Поэтому такого рода высказывания Берцелиуса обижали не только Томсона, но и многих английских ученых [52].

Можно понять раздражение Берцелиуса, когда он встречал в научных статьях и учебниках числовые данные, которые не были экспериментально проверены. Сам он приложил огромные усилия, чтобы получить точные значения атомных весов химических элементов. Он знал, как трудно достаются эти данные. Поэтому легковесный подход к определению атомных весов и публикация ошибочных данных не могли не вызвать суровой критики со стороны Берцелиуса. Не всегда, правда, у Берцелиуса хватало выдержки, и он выходил за рамки строго научной критики, переходя на обсуждение личности ученого, который руководствовался мотивами и принципами столь же чистыми, сколь и его собственные.

Суровая критика Берцелиуса сыграла тем не менее свою положительную роль. Такие ученые, как А.-В. Реньо, Ж. Стас, Ж. Мариньяк, выросли в «атмосфере» этой критики. Своими работами они продемонстрировали высокий класс точных измерений величин атомных весов химических элементов.

В 1845 г. Берцелиус опубликовал интересное письмо-заметку «О гипотезе Праута и определении атомных весов», выдержки из которой мы приводим далее:

«В научных вопросах ошибок можно избежать, только делая эксперименты основой для выводов. Праут, выдвигая свои идеи, основывал их, напротив, на предположении неточности в экспериментах по определению атомных весов. Ему показалось, что для науки удобно и выгодно,

чтобы атомные веса могли выражаться малыми целыми числами. И поскольку вес водорода сравнительно намного ниже других атомных весов, он предложил обеспечить такую простоту, считая их все кратными атомному весу водорода. Чтобы реализовать свою мысль, он считает необходимым немного изменить установленные веса, не более, чем это считалось допустимым в ошибках анализа.

Итак, за основу своей гипотезы Праут берет неточность эксперимента. Кажущееся соответствие, полученное для кислорода и углерода, он счел оправданием для введения поправок к другим атомным весам таким образом, чтобы они согласовывались с его гипотезой. Гипотеза же, однако, не подтвердилась опытом в большом числе случаев...

Д-р Томсон пытался подтвердить гипотезу Праута рядом экспериментов, но его исследования не выдержали даже поверхностной проверки. Все же они внесли большой вклад в дело популяризации идей Праута как в Англии, так и в других странах. В результате этого для разрешения вопроса Британская ассоциация поручила проф. Тэрнеру определить атомные веса некоторых элементов... Его труд дал лишь отрицательные результаты, и этот способный химик в конце концов отказался от этой гипотезы...

Просмотрев таблицу атомных весов, вы найдете множество исключений из гипотезы Праута. Правда, большинство этих примеров было получено в опытах, проведенных около 30 лет назад, в период начала развития химических пропорций. Они не могут быть поэтому столь точны, сколь это возможно теперь с помощью новых аналитических методов, открытых с тех пор. Но я уверен, что они будут найдены за небольшим исключением, чтобы помочь максимально приблизиться к истине. Недопустимо, чтобы гипотеза Праута требовала столь обширных поправок» [53].

В заключение нам остается сказать, что изучение научного творчества Берцелиуса заставляет видеть в нем не просто механического посредника между Дальтоном и последующими поколениями химиков-атомистов, а ученого, который, исходя из эмпирического исследования дискретных весовых отношений реагирующих веществ, через концептуальный синтез стехиометрии и корпускулярной

теории материй, самостоятельно пришел к атомистике как к «наилучшей гипотезе, объясняющей строение и химическое поведение тел». Вместе с тем, Берцелиус пошел дальше Дальтона не только в отношении уточнения количественных стехиометрических соотношений, но и в том, что поставил перед атомистикой более широкую задачу — найти причину, заставляющую атомы взаимодействовать друг с другом, соединив тем самым атомную теорию с учением о химическом средстве.

Система атомных весов и формул химических соединений, предложенная шведским химиком, была самой совершенной в первой половине XIX в. Атомные веса Берцелиуса с незначительными исправлениями Ренью очень близки к современным, а формулы большинства химических соединений совпадают с современными.

На основе атомистической теории Берцелиус пересмотрел всю современную ему химию. Огромный экспериментальный материал, накопившийся к тому времени, получил на основе атомистических представлений правильное освещение. Не говоря уже о неорганической химии, где систематизация и освещение материала производились целиком на основе атомистической теории, большую роль стала играть атомистика и в органической химии. Развитие теории органической химии стало целиком базироваться на атомистических представлениях того времени.

В первой половине XIX в. никто не сумел так связать атомистическую теорию с обширными разрозненными химическими знаниями, как это сделал Берцелиус.

Электрохимическая теория

Первые исследования химического действия электричества

Кислородная система Лавуазье дала возможность создать первую научную классификацию химических соединений. Химическая атомистика Дальтона раскрыла внутреннюю природу химических элементов и их соединений. Возникшая на этой основе новая химия нуждалась в познании причин взаимодействия атомов и элементов. Старые теории почти не касались вопроса о *природе* сил, действующих между веществами при их взаимодействии. Попытки химиков XVII и XVIII вв. ответить на этот вопрос не увенчались успехом.

Стремление объяснить притяжение атомов друг к другу существованием сил, подобных всемирному тяготению, натолкнулось на ряд затруднений. Если всемирное тяготение универсально и зависит только от массы и расстояния, то химическое притяжение — специфично, избирательно и зависит не только от массы частиц, но и от каких-то иных, неизвестных в то время, причин. Применение теории Ньютона к учению о химическом средстве требовало стольких оговорок и поправок, что по существу к концу XVIII в. в химии остались лишь общие представления о силах притяжения и отталкивания, действующих между частицами реагирующих веществ.

Какова природа этих сил, как они меняются в зависимости от расстояния между атомами и от условий проведения реакции — эти и многие другие вопросы оставались невыясненными.

Во второй половине XVIII в. была замечена взаимосвязь между электрическими и химическими явлениями. Однако ученые поначалу воздерживались от отождествления химического средства с электрическим притяжением, так как это значило бы объяснять одно неизвестное явление другим, еще более неизвестным. Да и экспериментальных данных для такого объяснения было явно недостаточно.

Примерно с 1745 г. появляются первые теории электричества Ф. Эпинуса, Ж. Нолле, У. Уотсона, Б. Франклина,

Дж. Беккариа, Р. Симмера и других ученых. Одни из них опирались на представление об электрическом флюиде (или флюидах) как особом типе вещества (подход, характерный для картезианской философии), другие полагали, что электричество представляет собой особый вид сил (подход, уходящий своими корнями в механику Ньютона). Но несмотря на все усилия, решить вопрос о природе электричества не удалось вплоть до начала XX в.

Большое влияние на развитие электрических исследований оказали опыты с животным электричеством, из которых наибольшую известность получили эксперименты Дж. Уолша, Л. Гальвани и А. Волта. В ходе многочисленных дискуссий о природе гальванического электричества было сделано много разнообразных наблюдений и открытий, что в итоге привело к созданию в 1799 г. первого источника постоянного тока, «искусственного электрического органа», названного позже вольтовым столбом, или электрической (гальванической) батареей. Эксперименты У. Николсона и Э. Карлайла, проведенные 2 мая 1800 г., показали, что при пропускании электрического тока через слегка подкисленную воду, последняя разлагается с выделением водорода на одном полюсе и кислорода на другом. Эти эксперименты были в том же году повторены У. Круйкшанком, У. Генри и В. Холдейном. Опыты английских ученых вызвали широкий резонанс в научных кругах Европы и Америки.

Сам по себе факт разложения веществ, в том числе и воды, под действием электричества был не нов. Достаточно указать на опыты Дж. Беккариа, Дж. Пристли, Г. Кавендиша, М. ван Марума, А. ван Трооствика, выполненные в 1760—1790 гг. Так, ван Трооствик разложил воду пропусканием через нее около 600 электрических искр. Пристли считал, что исследование действия электрического разряда даст ключ к пониманию внутренней структуры вещества. Кавендишу, продолжившему эксперименты Пристли с искровым разрядом, удалось получить некоторые оксиды азота. Перечень подобного рода примеров можно продолжать и далее. Однако, возвращаясь к проведенным Николсоном и Карлайлом опытам, в которых вода разлагалась электрическим током, а не искровым разрядом, следует заметить, что наиболее удивительным в них явилось выделение водорода и кислорода на *разных* полюсах батареи. «Этот новый факт,— писали английские исследователи,— еще ждет своего объяснения; по-види-

тому, он указывает на некоторый общий закон действия электричества в химических процессах» [1, с. 187]. Прежде всего требовалось выяснить, чем обусловлены наблюдаемые явления — спецификой действия батареи или же природой веществ — участников электрохимической реакции. Большинство исследователей склонялось к мнению, что факт выделения кислорода и водорода на разных полюсах свидетельствовал о различной электрической природе этих веществ, что дало, в свою очередь, толчок к появлению многочисленных электрических теорий химического сродства¹.

По словам Г. Дэви, «вольтова батарея послужила набатным колоколом, разбудившим исследователей во всех концах Европы; она оказалась полезной не только для демонстрации новых свойств электричества, ...но и как инструмент для открытий в других областях знания, демонстрируя взаимосвязи между явлениями и предметами, до сих пор казавшимися не связанными, и объединяя тем самым химию и физику» [3].

Гальванические исследования вошли в моду, и работы с гальваническим током сделались на некоторое время любимыми. Наполеон, в то время избранный в члены Французской Академии наук, подарил Институту (физико-математическому отделению Академии) вольтов столб громадных размеров, состоящий из 600 элементов. С этим столбом впоследствии работали Ж.-Л. Гей-Люссак и Л. Тенар. В 1802 г. в Париже было основано «Гальваническое общество» (*Société Galvanique*), издавался «*Journal du Galvanisme*», в 1804 г. вышел в свет «Учебник по гальванизму» («*Manuel du Galvanisme*») Ж. Изарна. В Англии журналом, публиковавшим основную массу работ по электрохимии, стал издаваемый Николсоном «*Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*». Интерес к электричеству проник и в Швецию, где развитие науки и культуры в значительной степени определялось английским и французским влиянием.

«В начале марта 1802 г., — писал Я. Берцелиус, — Общество шведских естествоиспытателей предприняло ряд опытов с электричеством вольтова столба. Это общество имело большое число батарей, которые соединялись в

¹ Еще в 1795 г. Николсон высказал мысль о том, что силы, связанные с химическим сродством, являются полярными [2, с. 154, статья «*Attraction*»].

одну, и ее действие сравнивали с действием обычного (т. е. статического.— *Авт.*) электричества. Я также принимал участие в этих экспериментах и должен сказать, что ни в одном из известных нам в то время опытов иностранных ученых идентичность этих действий не была доказана столь окончательным образом» [4, с. 2].

Характеризуя электрохимические исследования в начале XIX в., можно выделить три магистральных направления, по которым они проводились, дифференцируя их по трем основным проблемам, стоящим перед исследователями: выяснение причин появления электрического тока в батарее, установление механизма разложения химических соединений гальваническим током и определение влияния последнего на биологические процессы, в частности, необходимо было рассмотреть возможности применения вольтова столба в медицинских целях. Успешное решение этих проблем могло быть осуществлено только на базе конструктивной концепции относительно природы химического средства и его связи с электричеством. Не случайно поэтому химическое средство становится в начале XIX в. объектом как теоретических, так и экспериментальных исследований таких выдающихся ученых, как Г. Дэви, Я. Берцелиус, А. Авогадро, М. Фарадей и др.

Химическое взаимодействие как электрическое явление

В 1802 г. вышла в свет книга Я. Берцелиуса «Трактат о гальванизме» [4], написанная на шведском языке. Обычно историки химии уделяют этой монографии незаслуженно мало внимания, предпочитая связывать начало электрохимических исследований ученого с опубликованной в 1803 г. работой, выполненной совместно с В. Хизингером [5]. Однако из Предисловия к «Трактату», где выражена благодарность Й. Гану, Й. Афцелиусу и особенно «...господину В. Хизингеру, чьей доброте и любви к науке автор обязан теми таблицами и описаниями необходимых приборов, которые содержатся в этом труде», а также из содержания «Трактата» следует, что совместные опыты Берцелиуса и Хизингера в 1802 г. уже были начаты и дали первые результаты. Более того, для понимания генезиса электрохимической теории изучение «Трактата» оказывается весьма полезным, так как интер-

претация экспериментальных данных носит в нем не столь рафинированный и осторожный характер, как в работе 1803 г. Содержание этой монографии многообразно, здесь можно найти и детальный обзор работ А. Вольта, Д. Фабброни, Х. Пфаффа, А. фон Гумбольдта, И. Риттера и других ученых, и фрагменты диссертации самого Берцелиуса, и обсуждение физической природы электрических явлений. Но в контексте нашей темы особый интерес представляют рассуждения шведского химика о разложении водных растворов солей под действием электрического тока.

«...То, что нейтральные соли, будучи растворенными в воде,— отмечал Берцелиус,— разлагаются под действием батареи,— известно, но не настолько, чтобы этот вопрос можно было бы изложить с уверенностью» [4, с. 86]. В первую очередь следовало выяснить, чем обусловлены явления, происходящие при прохождении тока через раствор,— разложением воды с образованием водорода и кислорода и их последующим взаимодействием с растворенными веществами или же «непосредственным» воздействием тока на последние.

«Металлы,— писал Берцелиус,— осаждаются из их солей в кристаллической форме у водородной проволоки (т. е. у катода.— *Авт.*). Это осаждение является результатом действия не только использованных проводников, но и водорода, который при этом испытывает химическое превращение, так как он может восстанавливаться на наиболее окисляемых металлах, например цинке, или выделяться на золоте или платине. Однако указанное действие мы можем приписать не только водороду, так как в наших опытах осаждаются и те металлы, которые вне электрической цепи восстанавливаются лишь частично, как, например, железо, или которые при обычной температуре разлагают воду» [4, с. 88—89].

Указанные обстоятельства, по мнению Берцелиуса, свидетельствовали о том, что в электрических процессах раскрываются общие для всех соединений свойства сил химического сродства. Как и большинство его современников, Берцелиус, по крайней мере в ранних своих работах, рассматривал электричество как некую субстанцию, наделенную способностью вступать в «химическое соединение» (*chemiska sammansättningar*) с другими телами, из которых при соответствующем изменении условий оно может вновь «выделяться» [4, с. 135]. Так,



Вильгельм Хизингер

например, при разложении воды «электрическая субстанция соединяется у проволоки (электрода.— *Авт.*) с одной из составных частей воды, тогда как другая часть — освобождается» [4, с. 134—135]. Ниже мы обсудим взгляды Берцелиуса на природу электричества более детально, а сейчас обратимся к его пониманию самого процесса электролиза².

«Из опытов, которые я уже приводил,— пишет Берцелиус,— можно сделать следующий вывод: так как электричество способно выделяться из химического соединения, оно, безусловно, должно обладать некоторым сродством (*förvandtskap*) к нему, поэтому состав тел при определенных обстоятельствах может изменяться и тела эти будут представлять собой уже новые химические соединения. Этого, однако, не происходит, если электричество встречается с телами, посредством которых его

² Для удобства изложения мы будем использовать термины «электролиз», «электролит», «электрод» и т. п., введенные М. Фарадеем только в середине 1830-х годов.

равновесие вновь быстро восстанавливается, или же с телами, в которые оно не может проникнуть. Соединение образуется только с веществами, где электричество немного задерживается, т. е. с полупроводниками, как, например, с водой и водными растворами, а также с проводниками, количество вещества в которых меньше проходящего через них количества электричества... В обоих последних случаях происходит изменение тел... В первом случае разлагаются только жидкости и полупроводники, при этом взаимное сродство их элементов изменяется под действием электричества, которое они не могут отводить от себя достаточно быстро... Во втором случае состояние проводника тоже изменяется» [4, с. 135—136].

Итак, чтобы произошло разложение, электричество должно вступить во взаимодействие с химическим соединением, ослабив силу сродства его компонентов друг к другу. Отсюда один шаг до признания электрической природы химического сродства. Но Берцелиус не торопится сделать этот шаг, полагая, что данных для такого вывода еще недостаточно. И тем не менее из приведенных цитат видно, что уже в 1802 г. у него сформировались представления, которые впоследствии легли в основу электрохимической теории. К их числу относятся: идея о взаимосвязи электричества и химического сродства; представление об электричестве как о континуальной субстанции; предположение о различном сродстве к электричеству разных компонентов химического соединения. Эти идеи легли в основу интерпретации экспериментов по электролизу, поставленных Берцелиусом и Хизингером и описанных ими в работе [5]³. Основные результаты авторы сформулировали в следующих тезисах:

«1. Если электрическая батарея разряжается через жидкость, то компоненты жидкости отделяются друг от друга; при этом одни из них собираются около отрицательного полюса, а другие — около положительного.

2. Компоненты, собирающиеся около одного и того же полюса, имеют между собой некоторое сходство. Так, все горючие тела, щелочи и земли притягиваются к отрицательному полюсу, тогда как кислород, кислоты и окисленные тела — к положительному.

³ Эта статья была опубликована на шведском языке в 1806 г., а затем в 1807 г. — на немецком.

3. В сложных жидкостях относительная величина химического разложения сложным образом зависит от степени сродства компонентов друг к другу и от величины поверхности, на которой происходит контакт с проводником. Так что часто оказывается возможным разложение прочных соединений, тогда как менее прочные не разлагаются в силу того, что они не соприкасаются с проводником на достаточной поверхности. Чем сильнее сродство компонентов друг к другу, тем больше должна быть поверхность контакта, и наоборот...

4. Абсолютная величина разложения пропорциональна количеству электричества... Величина разложения прямо пропорциональна количеству электричества и обратно пропорциональна его интенсивности...

5. Чем труднее электричество проходит через жидкость, тем сильнее она сопротивляется разложению...

6. Явления, происходящие при разложении, определяются следующими обстоятельствами: во-первых, сродством компонентов жидкости к проводникам, в результате чего могут даже образовываться новые соединения, например оксиды металлов, на положительном конце, во-вторых, взаимным сродством компонентов, когда некоторые из них выделяются вместе. Так, например, водород, отделившийся от воды в растворе селитры, и азот, отделившийся от азотной кислоты, соединяются вместе, образуя аммиак; и, в-третьих, сцеплением (Cohäsion) новых соединений, что приводит, например, к тому, что водород может выделяться в виде газа, щелочи растворяются в жидкости, а затем и металлы осаждаются в виде твердых тел...» [5, с. 142—146].

На первый взгляд, эти результаты носят чисто эмпирический характер, да и сами авторы заявили, что они не рискуют обсуждать вопрос о том, «как происходят все эти разложения» [5, с. 148]. Однако при более внимательном чтении статьи Берцелиуса и Хизингера становится заметной концептуальная опосредованность ее выводов. Так, например, электрохимический характер соединения — способность выделяться на определенном полюсе — авторы связывают с наличием в нем кислорода (см. выше п. 2), который рассматривается как наиболее электроотрицательный элемент. Далее, выводы 3 и 4 также не являются чисто эмпирическими, они опосредованы теоретическими представлениями, для анализа которых необходимо более детально остановиться на взглядах Берцелиуса как на

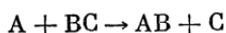
природу электричества, так и на характер его взаимодействия с веществом.

Вопрос о природе электричества рассматривался многими учеными, в том числе и шведскими. Так, А. Экеберг, один из учителей Берцелиуса, считал, что электричество представляет собой нематериальную субстанцию — флюид, который, однако, недоступен для более глубокого изучения. Такой же точки зрения придерживались З. Нордмарк и Й. Ган. Другие ученые, как, например, К. Сьёстен, полагали, что электричество материально и обладает некоторыми свойствами вещества [6]. Сам Берцелиус очень осторожно высказывал свое мнение по этим вопросам, всякий раз подчеркивая, что «природа электричества нам известна так же мало, как природа света и теплоты» [7, с. 69]. Однако это не означает, что его позиция была полностью позитивистской. Как уже отмечалось выше, Берцелиус поначалу склонялся к мнению, что электричество представляет собой субстанцию, сходную в ряде отношений с веществом. Он даже использовал специальный термин для обозначения электрической материи: *Electricum*. Этой точки зрения ученый придерживался довольно долго. Так, в 1833 г. в первом томе «Учебника химии» (немецкое издание) сказано: «...во всех телах... присутствует некая субстанция (*ein Stoff*), которая может быть названа *электрической материей* (*Electricum, Electrogenium*) и которая составлена из обоих простых электричеств. Эта субстанция не обладает свойствами, делающими ее доступной для наших внешних органов чувств; она проявляется только при разложении на свои компоненты» [8, с. 71].

Но впоследствии Берцелиус отказался от этого представления. «В течение некоторого времени,— писал он в 1845 г. во втором французском издании «Учебника химии»,— их (электричество, магнетизм, свет и теплоту.— *Авт.*) рассматривали как особые вещества, а так как весом они не обладали, то их называли невесомыми телами (*corps impondérables*). Но, поскольку они по существу лишены материального характера, это название включает в себе противоречие и по этой причине должно быть оставлено... Принимая во внимание их аналогию с силами, мы будем называть свет, теплоту, электричество и магнетизм динамидами» [7, с. 14]. Обосновывая изменение своей точки зрения на электричество, Берцелиус писал: «...ранее находили аналогию между электричеством и веществом,

опираясь на тот факт, что при быстром и сильном прохождении электричества через непроводящие тела (т. е. при пробое диэлектрика.— *Авт.*) оно оставляет за собой канал, как если бы какое-то материальное тело, обладающее объемом, пробило себе путь... Однако мы ничего не знаем о том, что в действительности при этом происходит, чтобы делать выводы о материальности электричества, к тому же прохождение его через металлы, по-видимому, противоречит такому выводу. Более того, опытным путем оказалось невозможным обнаружить увеличение веса тела в электрическом состоянии» [7, с. 72]. Но как бы ни менялись взгляды Берцелиуса на электричество, оно всегда представлялось ему как нечто континуальное: «континуальная субстанция» — в работах 1800—1830 гг., или (пользуясь терминологией Фарадея) континуальное «силовое поле» — в более поздних трудах ⁴.

Среди свойств электричества Берцелиус особо выделял его способность вступать во взаимодействие с веществом, что, по его мнению, можно было уподобить взаимодействию химических соединений. В свою очередь, взгляды Берцелиуса на химическое взаимодействие сформировались под сильным влиянием учения К. Бертолле о действии масс. По мнению французского химика, силы химического сродства тождественны ньютоновским силам всемирного тяготения. При образовании соединения силы сродства уравниваются. Так, например, реакции типа



происходят лишь в случае, когда сродство вещества А к веществу В преобладает над сродством А к С и В к С. Но этого мало, необходимо учесть отношение масс реагирующих веществ. Особая заслуга Бертолле, по мнению Берцелиуса, как раз и состоит «в убедительном доказательстве того, что интенсивность химического действия тел друг на друга определяется не только степенью их сродства, но зависит также от количества взаимодействующих тел...» [9, с. 527—528]. Указанная выше реакция не произойдет даже при благоприятном соотношении сил сродства, если масса вещества А будет мала.

⁴ Подобные представления об электричестве были в начале XIX в. наиболее распространенными, и лишь немногие исследователи высказывали догадки о его дискретной, атомистической природе.

Аналогично рассуждал Берцелиус и при обсуждении процесса взаимодействия электричества с веществом, что следует как из выводов 3 и 4 (см. с. 100), так и из заключительного замечания к работе [5]: «...по-видимому, наиболее естественно объяснить его (электрохимическое разложение.— *Авт.*) притяжением электричества к одним веществам и отталкиванием от других» [5, с. 148], при этом «...под отталкиванием понимается малое сродство, а не истинное отталкивание» [там же]. Это существенный момент — характер разложения определяется конкуренцией сил сродства различных компонентов соединения к электричеству. Уже в этом маленьком замечании, если вникнуть в него, обнаруживается ряд допущений и идеализаций, которые впоследствии были развернуты в целостную теоретическую систему. Вот некоторые из этих допущений: вещество обладает сродством к электричеству, следовательно, оно содержит в себе некое «электрическое начало»; в соединениях существуют фрагменты, наделенные различной способностью взаимодействовать с веществом.

Таким образом, мы можем сказать, что экспериментальная по своему характеру работа Берцелиуса и Хизингера, авторы которой заявили о сознательном намерении избегать пространных теоретических построений и гипотез при осмыслении ее результатов, выводов, характера постановки проблем, при сопоставлении ее с другими исследованиями Берцелиуса начала 1800-х годов, например с «Трактатом о гальванизме», выявляет свой концептуальный каркас, теоретическую опосредованность. По нашему мнению, узловыми элементами этого концептуального каркаса являются следующие допущения:

1. В химическом соединении существуют фрагменты, обладающие различным сродством к электричеству.

2. При электролизе электричество присоединяется к тому фрагменту соединения, который имеет к нему большее сродство, при этом его связь с остальными фрагментами ослабевает.

3. В зависимости от количества кислорода тот или иной фрагмент соединения будет притягиваться к положительному или отрицательному полюсу батареи.

Эти допущения в модифицированном и дополненном виде вошли впоследствии в электрохимическую теорию Берцелиуса. Так, второе и третье допущения содержат в себе зародыш будущей электрохимической теории срод-

ства, тогда как первое допущение в своем развитии привело к электрохимической, дуалистической концепции состава соединений. Остановимся подробнее на первом допущении.

Берцелиус рассматривает химическое соединение как состоящее из определенных, изначально присутствующих в нем, а не под действием тока образуемых фрагментов, своего рода преформативных групп (так, например, предполагалось, что кислородсодержащие соли состоят из кислотных и основных оксидов, и т. д.)⁵. Электрический ток лишь способствует преодолению сил химического сродства между этими группами, являясь, по выражению Г. Дэви, «инструментальной причиной» электролиза. Забегая вперед, отметим, что в принципиальном отношении для дальнейшего развития химии (вплоть до настоящего времени) концепция преформативности оказалась не менее важной, чем, скажем, химическая атомистика. И не потому только, что в ней кроется зародыш понятия функциональной группы (хотя и это важно), но и потому, что в ней затаены истоки и определяющие черты генезиса основных идеализаций структурной химии. Чтобы познать строение (конституцию) химического соединения, необходимо представить его и как единое целое, каждый компонент которого имеет смысл только в контексте этого целого (химические свойства соединения не сводятся к «сумме» свойств его компонентов), и одновременно — как если бы оно было изначально составлено из отдельных функциональных единиц, так или иначе проявляющих себя в характерных для данного вещества химических реакциях. При этом предполагалось, что только изучение реакций, т. е. изучение причин и характера изменения химического сродства, может дать информацию о соединении «как таковом», о его «внутреннем устройстве». Именно в столкновении указанных противоречивых требований и заключена, как нам представляется, тайна многих теоретических коллизий структурной химии XIX—XX вв.

Концепция преформативных групп могла играть роль методологического регулятива только при условии принятия следующих двух допущений:

1) конституция соединения однозначно определяет и определяется его реакциями;

⁵ Концепция преформативных групп принадлежит не Берцелиусу, но именно у него она стала одним из ведущих теоретических принципов [10].

2) в ходе реакций конституция, как правило, претерпевает минимальные изменения, а потому для ее определения наибольшего доверия заслуживают превращения, происходящие либо при мягких условиях⁶, либо под влиянием избирательного внешнего фактора, способного преодолеть только сродство между преформативными группами.

Однако ситуация сильно осложняется тем, что одно и то же вещество в зависимости от условий, а часто и при одних и тех же условиях, может разлагаться (и соответственно образовываться) различными путями, в силу чего неясно, какой из его фрагментов следует принять за преформативную группу.

Кроме того, — и здесь начинается уже действительно непреодолимая для XIX в. трудность — химик, изучавший химические реакции и пытавшийся по ним установить конституцию соединений, оказывался перед дилеммой: или принять концепцию преформативности (K_2SO_4 , как полагал Берцелиус, состоит из K_2O и SO_3 , потому, что эти оксиды получаются при электролизе раствора этой соли), или предположить, что образующиеся в ходе реакции вещества есть результат внешнего воздействия (под влиянием батареи атомы в K_2SO_4 приходят в движение, разделяются и снова соединяются, образуя оксиды K_2O и SO_3 , более стабильные при данных условиях, чем любые другие комбинации K , S и O), как полагал, например, А. Бодримон [11].

Как известно, признание получила точка зрения Берцелиуса (далее мы рассмотрим почему), она возобладала даже среди тех химиков, которые отвергали электрохимическую теорию и теорию сложных радикалов. Более того, именно в теории химического строения концепция преформативности, со всеми своими дополнительными требованиями, соглашениями и трудностями, получила одностороннее, а потому и наиболее последовательное выражение.

Однако мы слишком забежали вперед. Вернемся к истокам, к началу 1800-х годов, когда основное внимание было направлено на выяснение связи между электричеством и химическим сродством. Поначалу, в ранних работах Берцелиуса, о причине химического сродства не было ре-

⁶ В явном виде это положение было сформулировано Ю. Либихом в 1840-х годах, но оно использовалось химиками и ранее.

чи. Предполагалось, что она обусловлена природой компонентов соединения и как таковая является областью спекуляций, а не эмпирической наукой. Поэтому причина сродства оказалась отщепленной, отдифференцированной от причин изменения сродства, которые и стали объектом исследования. В то же время Берцелиус понимал, что, в отличие от теплоты и света, электричество как фактор, вызывающий химическую реакцию, обладает рядом особенностей. Во-первых, оно полярно и разноименные электричества притягиваются друг к другу. Во-вторых, оно способно посредством разряда порождать теплоту и свет и в этом смысле первично. В-третьих, оно обладает специфическим воздействием на вещество, в результате чего последнее разлагается на определенные компоненты, одни из которых выделяются на положительном, а другие — на отрицательном полюсе. Иными словами, все говорило о том, что сродство вещества к электричеству и сродство веществ друг к другу имеют далеко не чисто внешнюю аналогию. Эта мысль ясно просвечивается в контексте статьи Берцелиуса и Хизингера. Работа эта получила высокую оценку многих химиков. Л. Воклен поставил ее результаты в один ряд с открытиями Г. Дэви.

В 1806—1807 гг. появились две работы Я. Берцелиуса, посвященные природе гальванического электричества и его воздействию на химические процессы, происходящие в батарее [12, 13]. В первой из них ученый предложил использовать различные индикаторные бумаги «как электроскопическое средство». Влажная лакмусовая бумага или бумага, пропитанная другими веществами растительного происхождения, помещалась на цинковую и медную пластины батареи. Наблюдая изменение окраски индикаторов до и после замыкания цепи, Берцелиус пришел к выводу, что именно химические процессы, в частности различная способность металлов окисляться на воздухе, а также их различное отношение к раствору, являются «главной причиной электрического заряда в батарее» [12, с. 55].

Таким образом, отношение между химическим превращением и электричеством стало двусторонним: с одной стороны, электричество оказывалось причиной изменения химического сродства, с другой — химический процесс оказывался причиной электричества. Берцелиус пытался разрешить это противоречие, предположив, что сродство имеет электрическую природу и что носителем электриче-

ства (как положительного, так и отрицательного) является элементарный атом. Но тогда необходимость в химической теории гальванического электричества отпадала, более того, она (теория) противоречила электрохимическому пониманию сродства, ибо, согласно такому пониманию, любой химический процесс, в том числе и окисление металлов, обусловлен перераспределением электрически заряженных полярных атомов, что приводит к установлению нового «электрического равновесия». Действительно, принятие указанных выше предположений и отказ от химической теории вольтова столба произошли практически одновременно, в начале 1810-х годов, но путь к ним был предопределен ранее. Для окончательного перехода на электрохимические позиции требовалось прежде всего конкретизировать роль положительного и отрицательного электричества по отношению к веществу. Первая попытка такого рода была сделана еще в «Трактате о гальванизме» и продолжена в работе [13].

По мнению Берцелиуса, вследствие «окисления, сопровождающего растворение», электрическая материя (Electricum) распадается на две части — положительное и отрицательное электричество, что и приводит к появлению электрического тока. Так, например, если один электрод изготовлен из цинка, а другой из серебра, то при погружении их в слабокислый раствор цинк начинает растворяться. Вследствие «окисления и растворения» цинка электрическая материя распадается, т. е. равновесие между положительным и отрицательным электричеством нарушается, причем последнее собирается у цинкового электрода, а первое — у серебряного, так что раствор «приобретает нечто вроде электрической полярности» [13, с. 19]. Если же оба электрода сделаны из цинка, то подобной поляризации не происходит, равновесие между обоими видами электрической материи сохраняется. И наконец, когда оба электрода сделаны из металлов, способных растворяться в кислом растворе, но в различной степени, то указанное выше равновесие также может нарушаться вследствие «различной окисляемости металлов» [13, с. 20]. Эти выводы, согласно Берцелиусу, справедливы и для процессов, проходящих внутри батареи. При этом он особо подчеркивал уникальный электрический характер кислорода, его «der Ladungs-Intensität», которая различна в разных жидкостях.

Кроме того, в работе [13] Берцелиус изложил новые

представления о протекании электрохимических процессов, делая акцент на различной роли, которую в них играют положительное и отрицательное электричество. «...Не только электрическая материя делится, но и компоненты жидкости также оказываются разделенными, причем химическое сродство большинства растворенных тел преодолевается: каждое тело переносит отвечающее его природе электричество к противоположному полюсу, где эти тела собираются... а их электричество насыщается. ...Таким образом, есть отрицательное электричество, которое окисляет вещества и превращает их в кислоту, и есть положительное, обладающее восстановительной способностью и дающее щелочи, это представление совершенно противоположно нашим прежним гипотезам» [13, с. 28—29] ⁷.

В чем же заключалась противоположность взглядов Берцелиуса, высказанных им в 1807 г., и его «прежних гипотез»? По нашему мнению, различие связано с принятием иной, по сравнению с более ранними работами, гипотезы о взаимодействии электричества и вещества. Согласно этой гипотезе, разложение происходит не в силу большего притяжения электрической материи к одному компоненту соединения и меньшего — к другому, а в силу сродства одного компонента к положительному, а другого — к отрицательному электричеству, т. е. в силу различного электрического характера преформативных групп. Эта идея открывала путь для интерпретации химического сродства как электрического феномена, обусловленного притяжением противоположно заряженных фрагментов соединения, что в конечном счете привело к концепции электрохимического дуализма. В этом, на наш взгляд, состоит главное значение данной работы, а не только, как полагает Г. Сёдербаум [14, с. 57—64], в выдвижении новых аргументов против контактной теории Вольта, хотя написана она была в первую очередь с целью опровержения этой теории.

Электрохимические исследования Дэви и их влияние на Берцелиуса

Г. Дэви, как и Берцелиус, начал электрохимические исследования сразу же после знакомства с изобретением Вольта [15]. Первые опыты были поставлены в Клиффтоне,

⁷ Сходные мысли были высказаны И. В. Риттером еще в 1801 г.



Гемфри Дэви

в Пневматическом институте Т. Беддоиса⁸ и продолжены затем в Лондонском Королевском институте. Уже в Клифтоне Дэви высказал мнение, что возникновение тока (galvanic influence) в батарее обусловлено в первую очередь контактом различных металлов⁹. Но одного контакта мало — необходимо учесть также химические процессы, происходящие на поверхности контактирующих пластин [15]. В сентябре 1801 г. Дэви уточняет свою позицию: контакт металлов обуславливает появление тока, но для его поддержания необходимо «определенное воздействие... химического сродства». К такому выводу Дэви пришел, заметив, что наибольший гальванический ток появляется при использовании металлов, заметно отличающихся по

⁸ Т. Беддоис (1760—1808) — английский медик. В 1798 г. основал в Клифтоне Пневматический институт, где изучалось влияние газов на человеческий организм. В институте Беддоиса Дэви открыл физиологическое действие оксида азота(I) N_2O , названного «веселящим газом».

⁹ Электрохимическая теория Дэви подробно рассмотрена К. Расселом [16], Т. Левером [17] и Дж. Партингтоном [18].

своему сродству к кислороду. Сродство же, по Дэви, есть результат преодоления сил отталкивания между частицами при определенных условиях, например при сжатии. Именно так, судя по некоторым архивным документам, он интерпретировал опыты Ж. Био по синтезу воды путем сжатия кислородо-водородной смеси: «частицы, сближенные друг с другом, перестают взаимно отталкиваться и оказываются в пределах действия избирательного сродства» [3]¹⁰.

В ноябре 1806 г. Дэви прочитал в Лондонском Королевском обществе свою первую Бэкериянскую лекцию, текст которой был опубликован в следующем году [21]. Берцелиус назвал работу английского ученого «одной из лучших, когда-либо обогащавших химическую теорию» [7, с. 164]. Остановимся на докладе Дэви более подробно. Полученные им экспериментальные результаты в целом не отличаются от результатов Берцелиуса, различна их трактовка. По мысли Дэви, «составные части тел под действием электричества заново перестраиваются» [21, с. 15]. Эта перестройка, а также перенос частиц через раствор к тому или иному электроду вызваны тем, что «силы притяжения и отталкивания оказываются достаточно энергичными, чтобы расстроить и свести на нет обычное действие избирательного (химического) сродства» [21, с. 29], при этом электрическая сила передается в растворе от одной частицы к другой, в результате чего в жидкости устанавливается своего рода «проводящая цепь» (conducting chain) [21, с. 29], т. е. имеет место следующая последовательность: разложение растворенных частиц — их соединение — снова разложение и т. д. Точка зрения Дэви во многом совпадает с теорией Гротгуса, опубликованной в 1806 г. [22].

Заметим, Дэви говорил об электричестве не как о субстанции (электрическом флюиде), а как о силе (иногда как об энергии). Назвав как-то на лекции в Королевском обществе электричество веществом, он тут же сделал оговорку, что это вещество является скорее «изящным творением интеллекта, нежели обычным веществом»

¹⁰ Идеи Дэви сходны со взглядами английского физика Дж. Роуинга, полагавшего, что вокруг частиц вещества существуют концентрические сферы действия сил притяжения и отталкивания: «...частицы всех тел поочередно притягиваются и отталкиваются друг от друга на разных расстояниях...» [19, с. 5—6]. Аналогичные мысли высказывал также Р. Бошкович [20].

[23, с. 239]. И это при том, что в начале 1800-х годов Дэви придерживался флюидных, или, точнее, эфирных теорий тепла, электричества и света, полагая, что они «пригодны для понимания всех явлений» [23, с. 61]. Более того, начиная опыты с вольтовым столбом, он надеялся пролить свет на природу эфирных флюидов. Однако впоследствии его точка зрения изменилась. Внимательное изучение трудов И. Ньютона, Р. Бошковича и других ученых, а также собственные наблюдения заставили Дэви усомниться в справедливости флюидных теорий.

Здесь, по нашему мнению, один из важных источников последующих разногласий между Дэви и Берцелиусом. Хотя Дэви более чем скептически относился к атомизму Далтона, его представления о строении материи в известном смысле можно назвать атомистическими. Но это был атомизм совсем иного рода, нежели дальтоновский, он был ближе к представлению об атомах как о центрах сил, действующих на расстоянии. Указанное представление явилось, в свою очередь, результатом разработки ньютоновских концепций первичности силы и доминирующей роли «силовой» интерпретации свойств материи при объяснении различных явлений природы¹¹. В начале XIX в. идеи «динамического атомизма» получили распространение и развитие в работах П. Лапласа, согласно которому атом можно рассматривать как бесструктурный источник центральных сил. Именно к этому атомизму и тяготел Дэви. В его записных книжках и печатных работах можно часто найти ссылки на Ньютона (особенно на его знаменитый 31-й «Вопрос» из «Оптики»), Бошковича и Роунинга.

«Допуская, — писал Дэви в 1814 г., — что некоторые молекулы наделены полюсами или точками притяжения и отталкивания, как это делал Бошкович, а также придавая им (свойство) тяготения и форму, т. е. весовую меру, можно объяснить все явления химии» [25]. По справед-

¹¹ В середине XVIII в. возник и получил в последующие десятилетия довольно широкое распространение некий вид «обтекаемого ньютонианства, у которого все глубоко существенные недосказанности творца теории, возникшие из-за его личного взгляда на встречаемые трудности, были выглажены его менее тонко чувствующими предмет эпитонами» (цит. по [24, с. 219]). Каждый из исследователей трактовал ньютоновское идейное наследие по-своему. Дальтон акцентировал корпускулярные идеи своего великого предшественника, Дэви — его мысль о примате сил в природе.

ливому замечанию Т. Лёвера, «атомизм Дэви в его динамическом аспекте был вообще говоря связан с британской ньютоновской традицией» [17, с. 62]. И хотя теоретические взгляды Дэви отличались некоторой неопределенностью и даже эклектичностью («независимо от того, состоят ли вещества из неделимых частиц или физических точек, наделенных силами притяжения и отталкивания, можно прийти к одним и тем же выводам относительно способности их к взаимодействию и количеству, в которых они соединяются» [26, с. 56]), тем не менее в них четко проявляется силовая концепция природы и, как следствие, резкое неприятие флюидных теорий: «вульгарная идея — подобная идее крестьянина, делающего все по весне и потому представляющего каждую вещь непременно жидкой. В древности был эфир, затем появился флогистонный флюид, теперь — магнитный, стеклянный, судяной и т. д. — все это вздор» [23, с. 348].

В какой-то степени позиция Дэви оказала влияние на Берцелиуса. Так, в работах последнего, относящихся к 1811—1814 гг., уже улавливается нота сомнения в справедливости флюидной теории. «Я не буду касаться вопроса о том, следует ли их (электричество, магнетизм, тепло и свет. — *Авт.*) называть «веществом», «силой» или «явлением», — писал он в 1811 г., — этими исследованиями занимались и до сих пор занимаются наши философы¹², чьи наиболее оригинальные идеи на этот счет так же трудно доказать, как и опровергнуть» [28, с. 256]. В 1819 г. Берцелиус снова отмечает, что «ни одна из гипотез не проливает свет на природу электричества и каждая имеет свои слабые стороны» [29, с. 92]. И только в начале 1840-х годов он отнес «невесомые субстанции» к «динамидам» (см. выше).

Но гораздо более важны различия во взглядах Берцелиуса и Дэви и прежде всего — различие в понимании смысла и задач атомистики. По мнению Дэви, «все природные тела состоят из нескольких простых частей или элементов, по-разному расположенных и связанных; именно на знании неизменных свойств и сил, присущих этим элементам, основывается вся доказательная часть науки» [23, с. 168]. Атомы, или, если пользоваться терми-

¹² По-видимому, Берцелиус имеет в виду прежде всего немецких философов И. Канта и Ф. Шеллинга, идеи которых получили довольно широкое распространение в Швеции, хотя часто встречали там критическое отношение [27].

нологией Дэви, частицы (particles, simple parts, elementary matter и т. д.) наделены определенным весом и электрическим состоянием (электрической энергией), в соответствии с которыми они взаимодействуют между собой посредством полярных электрических сил.

Иными словами, свойства соединения как целого, в том числе и его электрическое состояние (электрическая энергия), определяются в первую очередь величиной и характером электрических сил, действующих между «элементарными частицами» вещества и геометрическим расположением последних. В химическом соединении электрические силы уравновешены, но при контакте различных веществ равновесие может нарушаться, тогда происходит химическая реакция, в результате которой устанавливается новое равновесие сил, отвечающее новому взаимному расположению частиц и сил (новой конфигурации силового поля, как мы сейчас сказали бы). «Допуская, — отмечал Дэви в Бакерианской лекции, — что соединение определяется равновесием естественных электрических энергий тел, легко понять, что может быть установлена мера искусственной энергии (т. е. энергии батареи. — *Авт.*), способной разрушить это равновесие; такая мера даст нам шкалу электрических сил, соответствующих степеням сродства...» [21, с. 43]. Важный момент, — Дэви говорит не о шкале электроотрицательности атомов (последняя могла появиться только в другом контексте, в рамках которого носителем электрических свойств был бы сам элементарный атом), а о шкале электрических сил! Именно соотношение сил, по мысли Дэви, определяет в конечном счете свойства вещества.

Обнаружив, что безводные кислоты и щелочи после контакта с металлами приобретают определенный электрический заряд (первые — отрицательный, вторые — положительный), Дэви пришел к выводу, что химические соединения находятся в определенном электрическом отношении друг к другу, при этом одни тела обладают положительной электрической энергией, а другие — отрицательной. Но говоря об электроположительных и электроотрицательных телах (и даже элементах!), Дэви приписывал эти характеристики не атомам, в дальтоновском смысле этого слова, а некоторому количеству вещества. «При взаимодействии масс электрические действия оказывают те тела, частицы которых при взаимодействии вызывают химические явления» [30, с. 164], т. е. частицы

тел действуют друг на друга химически, тогда как сами тела («как массы») взаимодействуют посредством электрических сил. Иными словами, целое, по Дэви, не есть арифметическая сумма своих частей, а зависит от силового взаимодействия между последними. Английский ученый настойчиво подчеркивал необходимость различения электрических и химических сил.

В историко-научной литературе часто можно встретить утверждение, будто Дэви одним из первых высказал идею сводимости химического сродства к электрическому притяжению (см., например, [18, 31]). Это не совсем точно, ибо сам Дэви высказывался на этот счет весьма осторожно. «При настоящем состоянии наших знаний бесполезно строить какие-либо догадки о конечной природе электричества и о причине, по которой разные тела, будучи в контакте друг с другом, оказываются по-разному наэлектризованными; однако связь электричества с химическим сродством достаточно очевидна. Не являются ли они (электричество и сродство.— *Авт.*) идентичными друг другу...?» [21, с. 39]. Дэви избегал давать на этот вопрос безоговорочно утвердительный ответ, полагая, что электричество и сродство скорее являются двумя проявлениями некой общей силы притяжения.

Теоретические концепции английского ученого далеко не всегда имели четкий и законченный характер, что было замечено Берцелиусом: Дэви «мог бы продвинуть химию на целое столетие вперед, но, увы, он оставил лишь блестящие фрагменты» (цит. по [32, с. 74]).

Однако несмотря на осторожность Дэви некоторые его современники, и в первую очередь Берцелиус, заняли в этом вопросе более решительную и определенную позицию, исходя из собственных представлений о природе материи, но ссылаясь часто на работы своего английского коллеги. «...Дэви получил удивительные результаты, — вспоминал впоследствии Берцелиус, — он пришел к выводу, что соединительная сила есть не что иное, как действие тел, находящихся в противоположных электрических состояниях» [7, с. 113].

Столь часто отмечаемое в литературе сходство во взглядах Берцелиуса и Дэви на природу химического сродства (в целом не отрицаемое нами) иногда оказывается чисто внешним. Наиболее глубокое отличие между ними обусловлено, на наш взгляд, разным пониманием атомистической теории. Берцелиус, хорошо знакомый еще со студенческих

лет с английским «динамическим атомизмом» («динамическим корпускуляризмом»), в итоге не стал его сторонником. Если Дэви отводил элементарным частицам вещества пассивную, в сравнении с электрическими силами, роль, рассматривая атомы прежде всего как объект приложения активных, действующих сил, то Берцелиус, наоборот, исходил из представления о первичности вещества, свойства которого определяются в первую очередь природой составляющих его атомов. Именно атом, по Берцелиусу, является «единичным носителем» всех свойств — гравитационных, электрических, магнитных и других. В этом аспекте он пошел не только дальше «динамического атомизма» Дэви, но и дальше «атомистики бильярдных шаров» Дальтона.

В чем же тогда состоит влияние идей Дэви на Берцелиуса? По нашему мнению, прежде всего в том, что эксперименты, а также некоторые теоретические концепции английского ученого, независимо от осторожной и часто расплывчатой формы их выражения, окончательно убедили шведского химика в электрической природе сил химического сродства. В остальном же их взгляды, как правило, существенно расходились, что с наибольшей ясностью проявилось в отзыве Берцелиуса на книгу Дэви «Элементы химической философии», послужившем причиной к временному охлаждению отношений между ними (см. главу I).

Создание электрохимической теории

К концу первого десятилетия XIX в. уже имелись важные предпосылки для создания электрохимической теории. В ее основу была положена идея о глубокой связи и даже тождестве химических и электрических сил и концепция существования в химических соединениях преформативных групп, отличающихся друг от друга по составу и электрическим свойствам.

В 1811 г. Я. Берцелиус дает первое последовательное изложение основ электрохимической теории в статье «Опыт химической номенклатуры» [28]. В этой работе ученый предложил классификацию химических соединений (как органических, так и неорганических) в соответствии с их электрохимическими свойствами. «Открытия, — писал Берцелиус, поясняя выбор критерия своей классификации, — к которым нас привела электрическая батарея... заставляют видеть в электричестве столь мощную си-

лу, что мы начинаем подозревать, что эта сила идентична с химическим средством. Различные отношения тел к электричеству впредь станут основой всех химических систем» [28, с. 256]. По убеждению ученого, систематическая номенклатура должна иметь в своей основе четкую классификацию химических соединений, последняя же должна базироваться на законах химического средства, которое, в свою очередь, имеет электрическую природу. «... Два вещества, вступающие в соединение, обладают противоположными электричествами, возрастающими по мере приближения к точке соединения, и как только последняя будет достигнута, эти электричества оказываются в равновесии, производя, в зависимости от своей интенсивности, химические действия, теплоту и даже огонь» [там же].

Здесь уместно снова вернуться к вопросу о логической природе идеи тождественности электрических и химических сил. Вывод Берцелиуса об идентичности сил химического средства и электрического притяжения основан на анализе аналогии отношений между положительным и отрицательным электричеством, с одной стороны, и взаимодействующими химическими соединениями — с другой¹³.

Таким относительно познанным отношением для Берцелиуса было отношение (но не природа!) противоположных электричеств, а именно — способность их полного взаимного «насыщения», нейтрализации при взаимодействии в эквивалентных количествах. Качественное тождество

¹³ В логике аналогия отношений рассматривается как одна из разновидностей аналогии, характеризующаяся «переносом» на соответствующие элементы объекта или явления-прототипа (в данном случае химического средства) одного из нескольких отношений, существующих между элементами модели (в роли которых в данном контексте выступают противоположные электрические заряды), что символически можно представить так:

$$F \vdash \frac{R(a)}{R(b)},$$

где F — основание вывода по аналогии; $R(a)$ — посылка; $R(b)$ — заключение; a — символ модели; b — символ прототипа; \vdash — символ, отражающий отношение F к выводу; R — символ отношения.

Разумеется, модель может играть роль основания вывода по аналогии лишь благодаря тому, что она является носителем старого знания, представляет собой относительно познанный объект или процесс, т. е. познанный по крайней мере в аспектах, выступающих основанием сравнения (см. подробнее [33, с. 37 и сл.]).

во отношений в рассматриваемой форме аналогии определяется не соотношением физических характеристик сравниваемых совокупностей объектов или явлений, а равенством величин, «составленных» из этих характеристик и называемых критериями подобия [33, с. 76]. Правомерность вывода поэтому определяется отношением между элементами модели и прототипа.

Таким критерием подобия для Берцелиуса послужило подобие между процессами нейтрализации (частичной или полной) противоположных электрических зарядов при их взаимодействии и «нейтрализации» свойств соединений при химической реакции. Причем компаративное отношение было двусторонним¹⁴. С одной стороны, сопоставлялись сами указанные выше взаимодействия, как в качественном (в обоих случаях взаимодействовали противоположные по некоторым признакам объекты), так и в количественном аспектах. С другой стороны, сопоставлялись не только отношения между элементами модели и прототипа, но и сами элементы, опять-таки как в качественном, так и в количественном плане. Основанием для такого сопоставления послужили результаты опытов по электролизу, которые указывали на существование сродства данного химического соединения к определенному виду электричества. Более того, было установлено, что «электричество

¹⁴ В символическом виде указанные две стороны компаративного отношения могут быть представлены так:

$$\left(\textcircled{A} R_1 \textcircled{B} \right) \sim \left(\ominus E R_2 \oplus E \right) \quad \wedge$$

$$\wedge \quad \left(\textcircled{A} R \ominus E \right) \sim \left(\textcircled{B} R \oplus E \right)$$

где \wedge — символ конъюнкции; А и В — реагирующие химические соединения; Е — символ электричества.

Эти сопоставления послужили основой для отождествления самих отношений R_1 и R_2 по следующей схеме:

$$\begin{aligned} \left(\textcircled{A} R_1 \textcircled{B} \right) \sim \left(\ominus E R_2 \oplus E \right) \wedge \left(\textcircled{A} R \ominus E \right) \wedge \left(\textcircled{B} R \oplus E \right) \Rightarrow \\ \Rightarrow \left(\oplus E \subset \textcircled{A} \right) \wedge \left(\ominus E \subset \textcircled{B} \right) \perp \left(R_1 \equiv R_2 \right) \end{aligned}$$

где \subset — символ включения, означающий здесь, что А имеет электроположительный характер, а В — электроотрицательный; \perp — символ каузальной импликации.

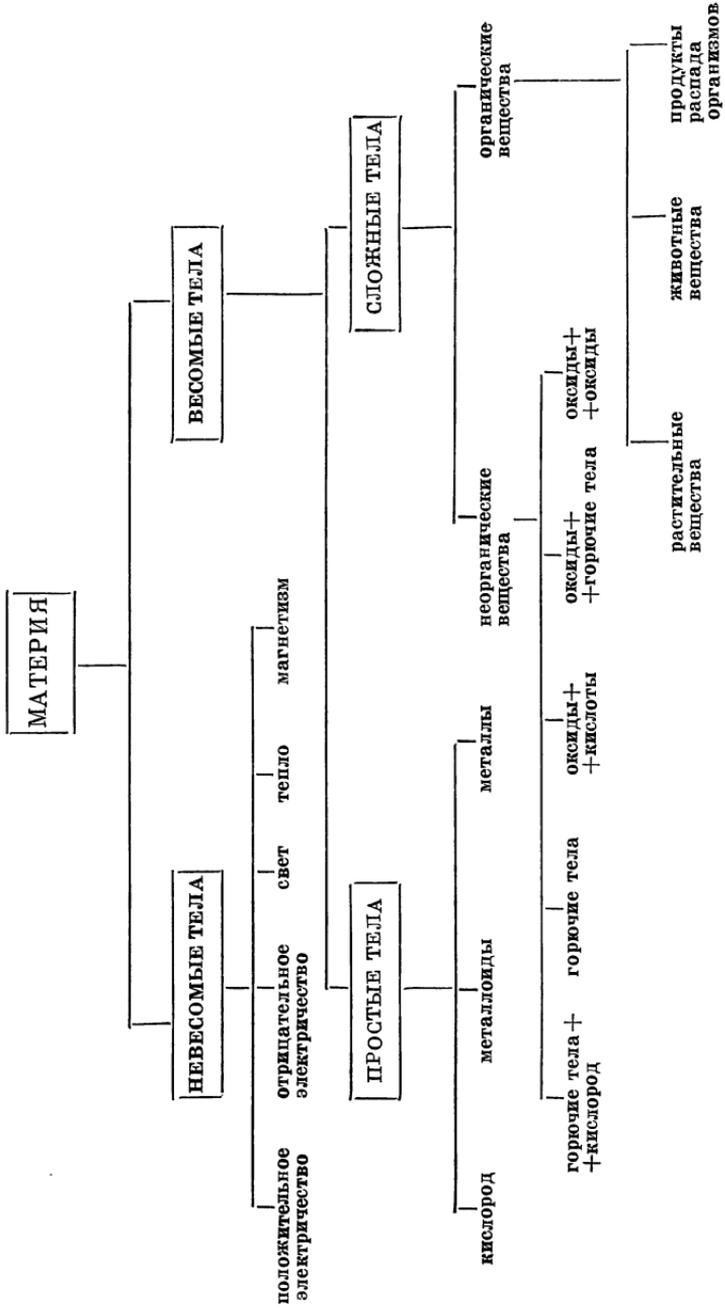
подчиняется тем же законам, что и весомая материя в смысле пропорций, согласно которым оно соединяется с телами» [34, с. 194].

Разумеется, этот вывод справедлив лишь при условии, что частицы соединения обладают определенной электрической природой, являются носителями электрической полярности, — именно это обстоятельство и выражает вторая часть приведенной логической цепочки и именно здесь, как было уже сказано, коренится различие во взглядах Берцелиуса и Дэви на природу химического сродства. Надо добавить, что Берцелиус рассматривал однопорядковость величин электрического и химического взаимодействия как дополнительный и достаточно веский аргумент в пользу электрической интерпретации сродства.

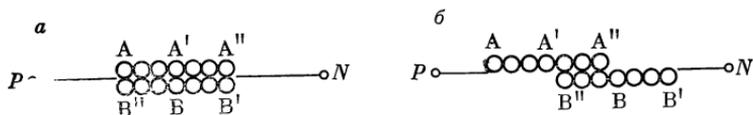
Вернемся теперь к работе [28]. Берцелиус выделял два типа материальных объектов в природе: *Ponderabilia* — подчиняющиеся закону тяготения, и *Imponderabilia* — ему не подчиняющиеся (см. схему). Особенно подробно ученый останавливается на «весомых телах». По отношению к электричеству последние были разделены на электроположительные и электроотрицательные. «Я называю электроположительными, — писал Берцелиус, — такие вещества, которые при действии электрической батареи собираются около положительного полюса, а электроотрицательными — те, которые собираются около отрицательного полюса» [28, с. 257]. В примечании к этому определению Берцелиус поясняет выбранную терминологию: «...положительное электричество (+E), проникающее из проводника в разлагаемую жидкость, не может разряжаться через последнюю, оба вида электричества разряжаются химическим путем» [28, с. 278]. При этом положительное электричество, исходящее от положительного полюса, «соединяется с телами в контакте с проводником... и выделяет частицу кислоты. Отрицательное электричество разряжается с выделением частицы щелочи...» [там же]. Впоследствии, однако, Берцелиус изменил свою точку зрения, приняв соглашение о знаках, установленное ранее Дэви и используемое в настоящее время ¹⁵.

¹⁵ Впрочем, Берцелиус не настаивал на своих определениях: «...если однажды будет доказано, что я ошибаюсь в выборе обозначений электроположительных и электроотрицательных тел, то поменяются местами лишь эти два слова, все остальное останется тем же» [28, с. 279].

Классификация материальных объектов по Берцелиусу



В пространственных примечаниях ученый изложил также свою модель электрического разложения, используя схему, приведенную на рисунке. Шарики А и В на рисунке



Модель электрического разложения соединения

А и В — две составные части соединения АВ; P, N — положительный и отрицательный полюса батареи

«представляют собой две составные части (Берцелиус пока избегал дальтоновской терминологии. — *Авт.*), например, воды. Пока эти шарики располагаются один около другого, соединение нейтрально. При работе батареи избыток положительного электричества, имеющийся в положительном проводнике, притягивает шарик кислорода, что будет способствовать исчезновению избытка положительного электричества, тогда как отрицательное электричество то же самое будет проделывать с водородом на отрицательном полюсе (см. рисунок, б)... так что кислородный шарик будет смещаться к положительному полюсу батареи, а водородный — пойдет в противоположном направлении... В ходе этой игры электрических сил нейтральность между концами проводников полностью сохраняется» [там же]. В этом рассмотрении нетрудно увидеть многие идеи, высказанные в более ранних исследованиях ученого.

В этой же работе Берцелиус предложил свой первый ряд электроотрицательности простых тел¹⁶. Основная трудность при составлении этого ряда состояла в том, что «только кислород является абсолютно электроположительным телом, тогда как все другие вещества по отношению к нему оказываются электроотрицательными, но так как это свойство (электроотрицательность. — *Авт.*) относительно и так как вещества, электроотрицательные по отношению к кислороду, могут быть электроположительными по отношению к другим веществам, например сера отрицательна по кислороду, но положительна в соединениях с металлами, я буду считать электроположительными все вещества, которые, будучи соединенными с кислородом, собираются около положительного полюса батареи...

¹⁶ Говоря о простых телах, Берцелиус всякий раз подчеркивал, что речь идет о тех веществах, которые «при современном состоянии науки представляются простыми» [28, с. 258].

Различие между электроположительными и электроотрицательными веществами состоит в том, что большая часть последних, даже перенасыщенная кислородом, все-таки не притягивается положительным полюсом... примером чему могут служить окисленные тела, которые я буду называть супероксидами» [28, с. 258]. Исходя из этих определений, Берцелиус составил ряд электроотрицательности, открывающийся кислородом, за которым следовали металлоиды («электроположительные относительно большинства других веществ») и далее металлы — сначала «те, которые образуют кислоты», затем «электрохимически индифферентные, не дающие ни кислот, ни оснований», потом «те, которым отвечают как кислоты, так и основания», и наконец, «металлы, дающие только основания» [28, с. 258—259]. Берцелиус не придавал своему ряду абсолютного характера: «трудно составить такой ряд правильно, но нетрудно будет исправить ошибки по мере увеличения наших знаний» [28, с. 259]. Действительно, ученый не раз вносил изменения и дополнения в свою шкалу электроотрицательности, как о том свидетельствует таблица из статьи К. Рассела [35, с. 130—131] (с. 122).

Берцелиус не описывал детально ни процесса составления этих рядов, ни причин, побуждавших его вносить в них изменения. Он ограничился лишь указанием общего принципа: «простые вещества располагаются в соответствии со своими электрохимическими свойствами и свойствами их сильнейших оксидов» [9, с. 569]. По-видимому, определяя место простого вещества (а фактически — элемента) в электрохимическом ряду, ученый учитывал целый ряд факторов: поведение различных соединений данного элемента при электролизе, контактные явления, энергетику реакций между простыми веществами, относительную силу соответствующих кислот (определяемую по способности одной из них вытеснять другую из солей), относительную стабильность соединений (вещества, по Берцелиусу, соединяются с силой, пропорциональной степени различия электрохимической природы их ингредиентов), кислотно-основной характер оксида и т. д. Последний фактор играл особенно важную роль: «...хотя различные степени окисления разных тел дают некоторые исключения, в целом электрический порядок горючих тел согласуется с порядком их оксидов» [там же].

Что послужило основанием для такого вывода? Как уже было сказано, Берцелиус начиная со своих первых

*Электрохимические ряды элементов по Берцелиусу **

1811 г.	1814 г.	1819 г.	1831 г.	1845 г.
oxygen sulphur	oxygen sulphur	oxygen sulphur	oxygen sulphur	oxygen sulphur selenium
phosphorus muriatic rad.	nitrogen muriatic rad.	nitrogen muriatic rad.	nitrogen fluorine	nitrogen fluorine
fluoric rad.	phosphorus fluoric rad.	fluoric rad.	chlorine bromine	chlorine bromine
boron	boron		iodine	iodine
carbon	carbon	phosphorus	selenium	phosphorus
arsenic	hydrogen arsenic	selenium	phosphorus	
	chromium	arsenic	arsenic	arsenic
molybdenum	molybdenum	molybde- num	chromium	chromium
chromium		chromium	molybde- num	vanadium
tungsten	tungsten	tungsten	tungsten	molybde- num
		boron	boron	tungsten
tellurium	antimony	carbon	carbon	boron
osmium	tellurium	antimony	antimony	carbon
tantalum	silicon	tellurium	tellurium	antimony tellurium
silicon	tantalum	tantalum	tantalum	tantalum
titanium	titanium	titanium	titanium	titanium
zirconium	zirconium	silicon	silicon	silicon
antimony	osmium	osmium		
bismuth	bismuth	hydrogen	hydrogen	hydrogen
tin		gold	gold	gold
iridium	iridium	iridium	osmium	osmium
platinum	platinum	rhodium	iridium	iridium
gold	gold		platinum	platinum
rhodium	rhodium	platinum	rhodium	rhodium
palladium	palladium	palladium	palladium	palladium
mercury	mercury	mercury	mercury	mercury
silver	silver	silver	silver	silver
lead	lead	copper	copper	copper
nickel	tin	nickel	iranium	
	nickel	cobalt		

1811 г.	1814 г.	1819 г.	1831 г.	1845 г.
copper	copper	bismuth tin zirconium lead cerium uranium	bismuth tin lead cadmium cobalt nickel iron	bismuth tin lead cadmium cobalt nickel iron
uranium	uranium			
zinc	zinc	iron cadmium zinc	zinc	zinc
iron	iron	manganese	manganese	manganese
manganese	manganese			
cerium	cerium	aluminium	cerium thorium zirconium aluminium	uranium cerium thorium zirconium aluminium didymium lanthanum
yttrium	yttrium	yttrium	yttrium	yttrium
beryllium	beryllium	beryllium	beryllium	beryllium
aluminium	aluminium			
magnesium	magnesium	magnesium	magnesium	magnesium
calcium	calcium	calcium	calcium	calcium
strontium	strontium	strontium	strontium	strontium
barium	barium	barium	barium	barium
sodium			lithium	lithium
potassium	sodium	sodium	sodium	sodium
ammonium	potassium	potassium	potassium	potassium

* В электрохимическом ряду элементов отсутствуют «невесомые флюиды» (теплород, свет), которые до этого всегда вводились в таблицы элементов в учебниках химии, например в учебниках А. Лавуазье, Л. Гмелина. В системе Берцелиуса они не могли найти себе места, так как не имели атомного веса.

электрохимических работ последовательно проводил мысль о тесной взаимосвязи между кислотно-основными и электрохимическими свойствами соединений: основания и основные оксиды рассматривались им как электроположительные, а кислоты и кислотные оксиды — как электроотрица-

тельные тела, в соответствии с их поведением при электролизе. Иными словами, «кислотно-основному антагонизму» ставился в соответствие антагонизм электрохимический. В то же время анализ различных соединений показал, что кислород, поскольку он входит и в кислоты (кислотные оксиды), и в основания (основные оксиды), нельзя рассматривать в качестве единственного носителя кислотных свойств. Кислотно-основная, а вместе с ней и электрохимическая характеристика оксида должна определяться в первую очередь природой связанного с кислородом элемента (радикала): «...именно радикал, а не кислород определяет, будет ли оксид кислотой или основанием» [36, с. 163—164]. Разумеется, характер оксида зависит также и от его количественного состава: «иногда оказывается, что положительный оксид обладает в высокой степени окисления менее электроположительными свойствами, которые похожи на свойства электроотрицательные, как, например, оксид олова и кислоты марганца» [9, с. 579—580]. При этом чем более электроположителен металл, тем больше, согласно Берцелиусу, требуется кислорода для изменения характера его оксида.

Этот принцип построения электрохимического ряда в 1813 г. подверг критике А. Авогадро, по мнению которого «порядок радикалов» может отличаться от порядка их оксидов, «ибо свойства окисленных веществ в электрохимическом отношении обязательно зависят как от радикала, так и от кислорода» [37, с. 290].

В принципе Авогадро был, разумеется, прав. Но практически составить электрохимический ряд исходя из наблюдаемых свойств отдельных атомов в то время было невозможно. Так или иначе, элемент характеризовался либо по свойствам соответствующего простого вещества, либо по свойствам соединений [38, с. 98—102].

Здесь уместно более детально остановиться на вопросе о влиянии электрохимических концепций Авогадро на Берцелиуса. В отечественной литературе получило распространение мнение, впервые, по-видимому, высказанное М. Г. Фаерштейном, что «Авогадро, будучи одним из предшественников Берцелиуса, оказал известное влияние на формирование его электрохимической теории в окончательном виде» [39, с. 125] и что «Берцелиус позже (1813—1818), развивая идею Авогадро о двойственной электрической природе элементов, выдвинул гипотезу о «готовых» полярных атомах» [39, с. 124].

С нашей точки зрения, подобные утверждения несколько преувеличены.

Действительно, Авогадро высказывал интересные и глубокие идеи, близкие электрохимическим концепциям Берцелиуса, причем независимо и раньше последнего [38, 40]. Следует согласиться и с тем, что, при ретроспективной оценке, Авогадро, по крайней мере в принципе, был часто ближе к истине, чем Берцелиус. Но весьма сомнительно, чтобы взгляды Авогадро оказали влияние на шведского химика. Во всяком случае ни в обширной переписке, ни в научных работах Берцелиуса на это нет никаких указаний.

После появления в 1812 г. статьи Берцелиуса [41], в которой было дано достаточно подробное изложение (а не «первый набросок», как утверждает Фаерштейн) основ электрохимической теории сродства, Авогадро выступил с ее критикой [37]. Кроме упомянутого выше замечания о принципах составления электрохимического ряда, возражения итальянского ученого сводились к следующему: 1) индифферентных соединений в полном смысле слова нет, 2) характеристика кислорода как абсолютно электроположительного элемента неприемлема, так как в будущем может быть открыт еще более электроположительный элемент, 3) разбивка элементов на группы хуже, чем расстановка в непрерывный ряд, и 4) термины «электроположительный» и «электроотрицательный» желательно использовать так, как это принято большинством ученых.

Разумеется, замечания вполне резонные, но на «формирование электрохимической теории Берцелиуса в окончательном виде» они влияния не оказали. В самом деле, статья Авогадро появилась в августе 1813 г. в «*Annales de Chimie*». Познакомился же с ней Берцелиус скорее всего в конце 1813 г. (или даже в 1814 г.), что следует из его письма к А. Марсэ от 24 октября 1813 г.: «Получаете ли Вы в настоящее время в Англии «*Annales de Chimie*»? Если Вы просматривали его с начала этого года, то Вы меня очень обяжете, вкратце рассказав о том, что там было замечательного» [42, с. 80]. Далее, в письме к Л. Гильберту, редактору «*Annalen der Physik*», от 8 октября 1814 г. [43] Берцелиус упоминает о статье Авогадро. Соглашаясь с ним относительно терминологии, но никак не реагируя на остальные замечания, Берцелиус ограничился отсылкой к своей ранней работе с

Хизингером [5] и к статьям, опубликованным в Англии в начале 1813 г. [36] (т. е. до написания заметки Авогадро!), в которых электрохимическая теория была изложена уже полностью¹⁷.

Электрохимическая теория и атомное учение

Как правило, историки химии, прослеживая формирование электрохимических воззрений, цитируют статью Я. Берцелиуса 1812 г., опубликованную в журнале И. С. Швейгера [41] и переведенную затем во Франции [44]. (Эта статья представляет собой несколько переработанный вариант доклада в Стокгольмской Академии наук (1812 г.) [45].) С нашей точки зрения, более важным является упомянутый выше английский вариант этой работы [36]. В основном тексты всех четырех публикаций — на шведском, немецком, французском, и английском языках — очень близки, иногда тождественны. Однако в английской редакции содержится пространное и принципиально важное примечание, в котором впервые изложена идея полярного атома¹⁸, в связи с чем целесообразно рассмотреть эту работу более детально.

Берцелиус начинает с формулировки ряда общих положений о химическом средстве, суть которых сводится к следующему:

1. Как правило, тело обладает определенным средством к другим телам, что является причиной химического взаимодействия; тела, не обладающие средством, называются индифферентными.

¹⁷ Кстати, в английской статье 1813 г. Берцелиус изменил и терминологию, слова «электроположительный» и «электроотрицательный» употребляются им отныне общепринятым образом [36, с. 156].

¹⁸ По словам А. Марсэ, обращенным к Берцелиусу, во Франции многие ученые «с большим именем говорят, что Ваши статьи полны гипотез и что Вы занимаетесь систематизацией химии, подчиняя ее воображаемому закону. Повторяю, Вас совершенно не знают в Париже» [42, с. 127]. Да и сам Берцелиус жаловался Л. Гильберту, что его электрохимическая теория «до сих пор не признана ни в Германии, ни во Франции» [43, с. 337]. По мнению Т. Левера, это обстоятельство заставило Берцелиуса воздержаться от опубликования концепции полярного атома во французских и немецких журналах [17, с. 151].

2. В результате химического взаимодействия образуется новое вещество, находящееся «в состоянии покоя», т. е. «не проявляющее какого-либо дополнительного стремления к соединению» [36, с. 142].

3. Состояние покоя, однако, не является абсолютным, так как свет, теплота и электричество постоянно нарушают его, чему способствует также и то, что «разные элементарные тела обладают химическим средством неодинаковой силы» [36, с. 143].

4. При взаимодействии веществ, как и при взаимном проникновении разноименных электричеств, «в месте электрического разряда» происходит выделение теплоты и света.

5. Эксперименты с электрической батареей указывают на глубокую связь между электричеством и химическим средством: «нет таких проявлений средства, с которыми бы не было связано электричество» [36, с. 145].

6. «...Два тела, обладающие средством друг к другу и вступающие во взаимный контакт, находятся в противоположных электрических состояниях» [там же]; кроме того, при образовании соединений выделяется теплота, откуда следует, что в момент соединения тел происходит разряд их электричеств. И далее повторяются сформулированные в 1811 г. определения электроположительного и электроотрицательного элемента, но уже в рамках общепринятого соглашения о знаках.

Однако синтез электрохимической теории средства и атомистики, как и всякий концептуальный синтез, не мог быть чисто механическим. Электрическая теория средства, отстаиваемая Берцелиусом, была дуалистична, и дуализм ее имел две стороны: 1) образование химического соединения объяснялось притяжением противоположно заряженных тел, т. е. в конечном счете обуславливалось существованием двух видов электричества, способных притягиваться друг к другу, и 2) допускалось, что все простые тела, кроме кислорода, обладают двойственной электрохимической природой, т. е. могут быть как электроположительными, так и электроотрицательными¹⁹. В этой ситуации принятие Берцелиусом атомной теории не только должно было привести (и привело) к выводу

¹⁹ В констатации этого обстоятельства некоторые исследователи справедливо усматривают истоки представления о двойственной реакционной способности [46].

об электрической природе атома (вывод этот был необходимым, но недостаточным условием указанного концептуального синтеза), оно требовало также адекватного выражения в рамках атомистических представлений обеих сторон дуалистического понимания химического сродства, что в итоге вело к идее полярного атома. Вопрос о том, был ли выбранный Берцелиусом путь слияния атомизма с электрохимией через концепцию атома-диполя единственным, мы обсудим ниже, а сейчас обратимся к тексту работы [36], точнее, к тому самому примечанию к ней, где впервые эта концепция была сформулирована.

«Допуская, что тела состоят из частиц или атомов, расположенных друг около друга в соответствии с их способностью соединяться в отношениях их кратностей, мы можем считать, что атомы обладают электрической полярностью, от интенсивности которой зависит сила их сродства. В этом случае химическое сродство оказывается тождественным электричеству, или, точнее, электрической полярности. Для того чтобы объяснить различные электрохимические характеры, следует добавить к общей полярности некую специфическую униполярность (*Erman P.—Ann. Chim. Phys.*, 1807, vol. 67, p. 115)²⁰, вследствие которой один из полюсов содержит положительное или отрицательное электричество в количестве большем, чем необходимо для насыщения противоположного электричества другого полюса. Тела, в которых преобладает положительный полюс, т. е. тела, содержащие избыток положительного электричества, являются электроположительными и наоборот» [36, с. 154].

Рассматривая предыдущие электрохимические работы Берцелиуса, мы видели, что их основным теоретическим результатом явилось введение следующих предположений: 1) вещества состоят из атомов, соединенных силой химического сродства, и 2) химическое сродство тождественно электрическому притяжению. Оба допущения представляли собой и *итог* осмысления шведским химиком обширного экспериментального материала по составу и свойствам тел, и одновременно *начальную точку* форми-

²⁰ Пауль Эрман (1764—1851) — немецкий физик, открыл явление «однаправленного прохождения электрического тока в веществах», что привело его к концепции униполярности или электрической «односторонности» [47]. Идея униполярности использовалась также Дэви [30, с. 167].

рования исходных идеализаций теории химических соединений. Далее Берцелиусу необходимо было снова вернуться к эмпирии, с тем чтобы на основе выработанных идеализаций переосмыслить и переформулировать изначальные опытные понятия как теоретические, априорные, что, в свою очередь, требовало создания конкретной, «механизменной», модели химического сродства. Строить такую модель можно было по-разному — допустить, например, что в атоме есть дискретные носители электрического заряда, или же, что атом окружен некоей электрической атмосферой, и т. д.

Берцелиус принял, пожалуй, оптимальный для своего времени вариант модели химического взаимодействия, учитывающий и двойственность электрической природы атома, и электрический характер химического сродства, — он ввел представление о полярном атоме. И хотя концепция эта была им введена как гипотеза, т. е. как вероятностное знание о химическом соединении, значение ее (в логическом плане) абсолютное, она имеет статус а priori существующего мира — мира атомов-диполей. Иными словами, речь шла не об экспериментальном «выявлении» (ибо Берцелиус подошел к исторически обусловленной границе экспериментально возможного), а о целенаправленном *создании* определенного идеального объекта (атома-диполя) с определенными свойствами, что в итоге дало возможность перейти к объяснению явлений реального мира. Кстати, именно поэтому в приведенном выше отрывке, где сформулирован конечный результат (но не процесс!) построения идеального мира полярных атомов и одновременно указана исходная точка обратного движения от этого идеального мира к реальным химическим соединениям, наблюдается столь странная (если учесть изложенный в главе II путь Берцелиуса к атомистике) взаимосвязь «причин» и «следствий»: «допуская, что тела состоят из атомов... мы можем считать, что атомы обладают электрической полярностью...», и т. д.

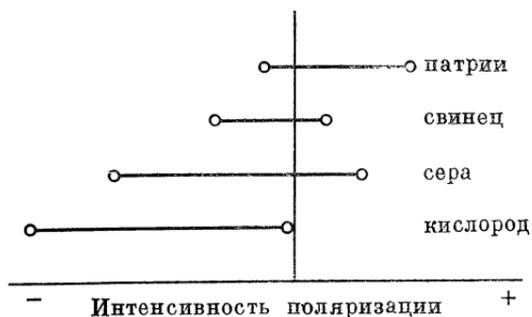
Вводя понятие полярного атома, Берцелиус абстрагировался от его внутренней сложности (структурности) — как идеальный объект атом-диполь не подлежал дальнейшему расчленению. Причина и степень полярности атома при таком подходе всецело определяются его природой, тогда как причины изменения полярности оказываются (для атома) внешними. Таким образом, идея

атома-диполя была не дополнительной гипотезой *ad hoc*, как это считают С. Капур, Дж. Партингтон и некоторые другие историки химии, а неизбежным следствием концептуального синтеза атомистики и электрической теории химического сродства, проведенного в рамках представления о двойственной электрохимической природе атома. Это понимал и сам Берцелиус, он отнюдь не считал концепцию полярного атома единственно правильной, ее значение ученый усматривал в другом: атом-диполь был тем идеальным (и потому не обязанным во всех отношениях совпадать со своим реальным прототипом) объектом, посредством которого можно было реализовать указанный концептуальный синтез, не прибегая к дополнительным спекуляциям о структуре материи. «Я вовсе не считаю, — писал Берцелиус в ответе на критические замечания Дальтона, — высказанные мною предположения об электрохимической полярности атомов очень важными. Я почти не считаю их чем-то отличным от идеальной спекуляции, выведенной с некоторой вероятностью из того, что нам известно о химических действиях электричества. Кроме того, идеи об отношении атомов к их электрохимическим свойствам, по моему мнению, должны составить существенную часть корпускулярной теории химии... я полагаю, что долг ученого — стремиться обогатить основы науки, даже если в данный момент достичь этого невозможно» [48, с. 123].

Концепция полярного атома позволила Берцелиусу объяснить некоторые особенности химического взаимодействия тел, в частности способность многих соединений реагировать только при повышенной температуре. Тепло, по мысли ученого, может «увеличить полярность тел и... этой причиной, по-видимому, обусловлено различие в активности одного и того же сродства при разных температурах» [36, с. 154]. Принципиально важным моментом явилось введение Берцелиусом понятия об электрическом состоянии атома, способном изменяться при изменении условий, определяя тем самым реакционную способность тел: «Когда соединяются гетерогенные атомы (независимо от того, сводится ли соединение просто к их сорасположению или, что труднее понять, к частичному или полному проникновению), они (атомы) примыкают друг к другу или располагаются так, чтобы касаться друг друга противоположными полюсами, электричества которых разряжаются, что и приводит к возрастанию темпе-

ратуры... частицы остаются соединенными до тех пор, пока их разряженные полюса не восстановят тем или иным способом „своего первоначального электрического состояния“» [36, с. 154—155].

Различием электрических состояний атомов Берцелиус впоследствии объяснял многие явления: отличие органических соединений от неорганических, аллотропию, изомерию и даже физиологическое действие веществ. При этом электрохимическая индивидуальность атома определялась, согласно Берцелиусу, его униполярностью, т. е. избытком того или иного вида электричества. Но тогда возникла следующая трудность: как объяснить способность к соединению тел одного и того же электрохимического типа? По мнению ученого, это происходит вследствие того, что «сила сродства зависит скорее от интенсивности общей полярности, чем от специфической униполярности» [36, с. 155]. Так, например, атом серы, в котором преобладает отрицательный полюс, может соединяться не только с электроположительными элементами, но и с электроотрицательными, так как его положительный полюс содержит больше положительного электричества, чем, скажем, атом свинца, и потому может в большей степени нейтрализовать отрицательное электричество кислорода. Схематически это можно представить в виде диаграммы, предложенной К. Расселом.



Относительная электроотрицательность некоторых элементов по Берцелиусу

Появление концепции полярного атома явилось завершением круга идей, лежащих в основе физической части электрохимической теории. В дальнейшем Берцелиус дорабатывал некоторые аспекты, уточнял формулировки, но

принципиальная сторона теории оставалась практически неизменной²¹. Оглядываясь назад, на долгий и противоречивый путь ее создания, следует отметить, что она формировалась прежде всего как теория химического сродства, причем природа последнего объяснялась, по меткому замечанию Т. Лавера, в терминах его *modus operandi* [17, с. 147]. С некоторой долей условности, процесс создания физических основ электрохимической теории можно разбить на два этапа, каждый из которых связан с выявлением и утверждением двух отмеченных нами ранее сторон электрохимического дуализма.

На первом этапе (1802—1811) был осуществлен синтез электрохимических концепций с концепцией химического сродства на основе сопоставления свойств и особенностей последнего с процессами притяжения и разряда противоположных электричеств. Иными словами, природа явления сродства раскрывалась через анализ сродства явлений природы — электрических и химических.

Основным результатом второго этапа (1811—1814) явился синтез электрической концепции сродства и атомистики, в результате чего была создана модель полярного атома — модель, которая, с одной стороны, отражала двойственную электрическую природу атома, а с другой — абсолютизировала — посредством введения представления о преобладании одного из полюсов — его электрическую природу. Атом, по теории Берцелиуса, в целом не был электронейтральным, что впоследствии затруднило электрохимическую интерпретацию многих явлений, как, например, реакций замещения.

Однако построение электрохимической теории на этом нельзя было считать завершенным, предстояло сделать самое трудное — связать электрохимические идеи с законом определенных пропорций, т. е. разработать собственно химическую или, вернее, физико-химическую часть теории. Эта задача была четко сформулирована Берцелиусом в 1815 г.: «...когда мы говорим об атомах в химической теории, мы должны установить причины сродства этих атомов. Мы должны также связать изучение причин, в силу которых атомы соединяются друг с другом, с поис-

²¹ Целиком электрохимическая теория была изложена Берцелиусом в монографиях [7—9, 29, 49], поэтому часто ее создание неправильно датируется 1818 или 1819 г., т. е. годами выхода третьего тома «Учебника химии» или первого издания «Опыта».

ками причин, согласно которым они соединяются в определенных отношениях»²² [48, с. 123]. Забегая вперед, отметим, что проблему эту Берцелиус решить не смог. Но анализ процесса поисков ее решения, а процесс этот можно рассматривать как **третий** этап разработки электрохимической теории, позволяет выявить, пожалуй, основное и дотоле глубоко скрытое противоречие в теоретических воззрениях шведского химика: химическое сродство в своих проявлениях, по своему *modus operandi*, дискретно и насыщаемо, что отчетливо проявляется в стехиометрических законах, в том числе и в берцелиусовском законе определенных пропорций, тогда как по своей природе оно (согласно электрохимической теории) континуально и ненасыщаемо, в силу континуальности и ненасыщаемости электрического взаимодействия.

Противоречия между дискретностью химического и непрерывностью электрического взаимодействия

Причиной возникновения указанного противоречия, ставшего в прошлом веке камнем преткновения на пути практически всех теорий химического сродства, явилось отмеченное Ф. Энгельсом глубокое различие между состоянием развития химии и учения об электричестве: «...огромное различие наблюдается еще и в наше время (т. е. в 1862 г.— *Авт.*) между этими двумя областями! В химии, особенно благодаря дальтоновскому открытию атомных весов, мы находим порядок, относительную устойчивость однажды достигнутых результатов и систематический, почти планомерный натиск на еще не завоеванные области, сравнимый с правильной осадой какой-нибудь крепости. В учении же об электричестве мы имеем перед собой хаотическую грудку старых, ненадежных экспериментов, не получивших ни окончательного подтверждения, ни окончательного опровержения, какое-то неуверенное блуждание во мраке, не связанные друг с другом исследования и опыты многих отдельных ученых,

²² Подобная постановка вопроса вызвала возражения со стороны Дж. Дальтона, который считал также, что идея об электрической полярности атомов «не является необходимой частью атомной теории» [50, с. 174].

атакующих неизвестную область вразброд, подобно орде кочевых наездников»²³.

И далее Энгельс конкретно указывает на основной недостаток электрических теорий XIX в.: «Все еще нельзя было указать, *что* собственно движется в электрически заряженных телах ...*что* является собственно вещественным субстратом электрического движения, *что* собственно за вещь вызывает своим движением электрические явления»²⁴. Энгельс особо подчеркивал, что электрохимические проблемы будут решены «лишь тогда, когда лучше познакоимся с *modus operandi* самого электрического движения»²⁵. Открытием, выведшим учение об электричестве из тупика односторонности метафизического мышления, явилось открытие электрона, благодаря которому в это учение не только вошла идея дискретности, но и наметился путь для создания теории химического сродства на принципиально новой физической основе.

Что же касается Берцелиуса, то в его время перед ним открывался практически единственный путь разрешения (разумеется, частичного и неполного) противоречия между дискретностью химического и континуальностью электрического взаимодействий — рассматривать первое из них как результат совместного действия двух факторов — электрического и геометрического. С этой целью он предложил модель, в основе которой лежали некоторые упрощающие, чтобы не сказать произвольные, предположения о «механической структуре» вещества. «Я буду, — писал Берцелиус, — использовать слово атом для обозначения корпускул и мельчайших частиц, из которых состоят тела. Когда я говорю о мельчайших частицах, я имею в виду, что они не могут быть разделены на еще более мелкие части. Я не вхожу в обсуждение того, делима ли материя до бесконечности или нет, а принимаю без доказательства, что атом механически неделим. ...Я допускаю также, что все атомы имеют сферическую форму и одинаковый размер.

...Это последнее условие не связано неизбежно с самой идеей об атомах, но оно оказывается абсолютно необходимым, если при их соединении образуются правильные фигуры и если они (атомы. — *Авт.*) соединяются в опреде-

²³ Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 433—434.

²⁴ Там же, с. 438—439.

²⁵ Там же, с. 470.

ленных пропорциях...» [51, с. 446]. Замечание об образовании правильных фигур при соединении атомов заслуживает специального комментария. Берцелиус здесь явно следует за Р. Ж. Аюи, согласно которому структурная единица кристаллического тела (*molécule intégrante*) представляет собой правильный полиэдр. Шведский химик был хорошо знаком с работами французского кристаллографа, оказавшими на него заметное влияние, и некоторое время переписывался с ним.

Исходя из сделанных допущений, Берцелиус пришел к выводу, что «наибольшее число сферических атомов одинакового диаметра, способных касаться некоторого атома того же диаметра, равно 12»²⁶. Тем самым был установлен верхний предел насыщения, имеющий, по Берцелиусу, чисто геометрический характер. Если же принять во внимание еще и электрическую полярность атома, то предел этот уменьшается до 9 вследствие электростатического отталкивания одноименных полюсов атомов-диполей при условии, что образовавшаяся молекула $A + 9 B$ сохраняет, хотя бы частично, электрическую полярность центрального атома А. Нижнему пределу насыщения отвечало соединение атомов в отношении 1:1. Но дальше указания экстремальных характеристик дело не пошло. Вероятно, здесь нет необходимости специально останавливаться на крайне упрощенном, даже для того времени, характере модели Берцелиуса (особенно в отношении условия равенства объемов атомов) и принципиальной невозможности объяснения на ее основе стехиометрических законов вообще и состава конкретных соединений (не говоря уже о каких-либо предсказаниях в этом направлении)²⁷.

Однако в историческом плане факт обращения Берцелиуса к геометрическим моделям химических соединений достаточно важен, особенно в свете открытия его учеником Э. Митчерлихом в 1819 г. явления изоморфизма [52] и разработки кристаллографических аналогий в органической химии [53, 54]. Согласно закону изоморфизма (в формулировке, данной Митчерлихом в 1821 г.), «...одинаковые количества атомов, соединенных одинаковым способом, дают одинаковые кристаллические формы, при этом кристаллическая форма не зависит от химиче-

²⁶ См. Приложение 3.

²⁷ Заметим, кстати, что проблема эта удовлетворительным образом не решена до сих пор.

ской природы атомов, а определяется только их числом и относительным положением» [55, с. 419]. Берцелиус, в стокгольмской лаборатории которого Митчерлих работал с декабря 1819 по 1821 г., прекрасно знал, что стоит за несколько неопределенным выражением «способ соединения» атомов. В письме к Аюи (апрель 1820 г.) он прямо указывает, что изоморфные вещества обладают одинаковой кристаллической формой, но различной химической конституцией, причем «это различие не определяется химическим сродством и не согласуется с законом химических пропорций, оно вытекает из того простого обстоятельства, что эти различные вещества могут образовывать интегральные части одной и той же кристаллической формы» [56, с. 162]. Разумеется, Аюи, кристаллографическая теория которого основывалась как раз на однозначном соответствии между составом и формой кристалла²⁸, этого «простого обстоятельства» не принял, полагая, что в экспериментах Митчерлиха допущены неточности (см. его письмо к Берцелиусу от 18 октября 1821 г.) [там же].

Явление изоморфизма показало, сколь существенное (а по мнению Митчерлиха, Лорана и некоторых других химиков, — определяющее) влияние оказывает геометрическое расположение атомов на свойства соединения. И Берцелиус неоднократно подчеркивал эту мысль. Так, во втором издании «Опыта» (1835) он указал на важную роль геометрического фактора, отмечая, что различные способы взаимного расположения атомов приводят к различным химическим формам, а последнее, в свою очередь, «сопровождается различием в химических свойствах» [58, с. 25]. Далее, в качестве одной из возможных причин изомерии он считал «различное расположение элементарных атомов» в молекуле²⁹. Но тогда должны были бы наблюдаться различия в кристаллической форме изомерных веществ.

В письме к Митчерлиху от 28 мая 1830 г. он просит проверить это предположение на солях виноградной и винокаменной кислот, изучение которых привело к открытию явления изомерии. «Если формы (солей) окажутся разными, — писал Берцелиус, — то трудность двойственного отношения тел с одинаковым составом будет

²⁸ Превосходный анализ роли кристаллографии в развитии химии в XIX в. и, в частности, взглядов Аюи, дан С. Маускопфом [57].

²⁹ См. Приложение 5.

преодолена простым и, вероятно, правильным путем» [59, с. 92]. Исследование Митчерлиха подтвердило предположение Берцелиуса [59, с. 93]. Но как бы ни важна была роль геометрического фактора, Берцелиус всегда выступал против сведения химии к геометрии, считая, что физико-химическая индивидуальность соединения обусловлена в первую очередь электрической природой входящих в него атомов, тогда как геометрическая структура — лишь следствие присущей им тенденции достичь максимального взаимного насыщения электрических полярностей. Так, при разложении какого-либо химического соединения, например флюмината серебра, происходит перегруппировка атомов, в результате которой образуется соединение (или соединения) в «менее возбужденном» электрическом состоянии [60, 61]. Расположение атомов, таким образом, обусловлено равновесием химических (т. е., по сути, электрических) сил и в этом смысле индивидуальность атома имеет доминирующее значение³⁰. Это был очень глубокий подход, идеология которого спустя столетие нашла свое отражение как в первых электронных теориях молекул, так и в квантовохимических методах. Однако в первой половине XIX в. подобные взгляды не могли, разумеется, перерасти в рабочую теорию, так как ни пространственное расположение атомов, ни тем более их электрическое состояние не стали еще предметом экспериментального исследования.

Кроме того, электрохимическая теория столкнулась с двумя существенными (и в то время непреодолимыми) трудностями: первая была связана с открытием законов электролиза, вторая — с открытием явления замещения. В соответствии с законами электролиза М. Фарадея, при 100%-ном выходе по току для получения 1 г-экв любого вещества требуется одно и то же количество электричества. С самого начала Берцелиус отнесся к открытию английского ученого скептически. Такая реакция была, разумеется, далеко не случайной. По мнению Р. Эйла и А. Айда [62], Дж. Партингтона [18, с. 194] и некоторых

³⁰ Кстати, и закон изоморфизма был впоследствии несколько пересмотрен Митчерлихом, ибо, как выяснилось, далеко не всегда замещение одного элемента на другой давало изоморфные кристаллические формы, все-таки химическая природа атома играла существенную роль. Берцелиус же в конце жизни вообще объявил изоморфизм «механическим эффектом процесса кристаллизации».

других историков химии, отрицательная реакция шведского химика была обусловлена непониманием им разницы между интенсивностью (точнее, энергией) и количеством прошедшего через раствор электричества. С нашей точки зрения, это не единственное, хотя и важное само по себе, обстоятельство. Правильное понимание законов электролиза могло быть и было достигнуто лишь с признанием дискретной природы электричества, т. е. с открытием электрона. Именно анализ закона Фарадея привел Г. Гельмгольца в 1881 г. к идее о существовании мельчайших «атомов электричества»³¹ [63].

Законы электролиза по отношению к теории химического сродства играли двоякую и довольно противоречивую роль. С одной стороны, они служили убедительным доказательством электрической природы атомов и сил химического сродства, подтверждая тем самым основную мысль электрохимической теории. Именно так их, кстати, и воспринял сам Фарадей. «Атомы вещества,— писал он,— некоторым образом связаны с электрическими силами, которым они обязаны... своим взаимным химическим сродством» [64]. С другой стороны, из законов электролиза следовало, что электрические заряды на атомах не связаны с их химической активностью, т. е. прочность соединения не зависит от величины специфической атомной униполярности, а это противоречило электрохимической теории. По мнению Берцелиуса, Фарадей потому и открыл свои законы, что изучал главным образом электролитическое разложение воды и электролиз расплавленного хлорида свинца, где взаимодействие атомов водорода и кислорода оказывается примерно того же порядка, как и атомов свинца и хлора (если исходить из положения названных элементов на шкале электроотрицательности). Количество электричества на атоме было для Берцелиуса мерой его химической активности и прочности его связи с другим атомом. Поэтому при «континуальном» понимании электрической субстанции и отсутствии каких-либо количе-

³¹ «Если применить эту (атомистическую.— Авт.) гипотезу,— отмечал он в своей Фарадеевской лекции,— к электрическим процессам, то она, в соединении с законом Фарадея, приводит к поразительным следствиям. Если мы допускаем существование химических атомов, то мы вынуждены заключить отсюда, что также и электричество... разделяется на определенные элементарные количества, которые играют роль атомов электричества» [63, с. 281].

ственных критериев электрохимического взаимодействия законы электролиза казались совершенно непонятными. К этому следует добавить, что и сам Фарадей был далек от их правильной интерпретации [17, гл. 3].

Электрохимическая теория и электрохимический дуализм

Пожалуй, ни за что так не доставалось Берцелиусу от современников и потомков, как за электрохимический дуализм. Более того, саму электрохимическую теорию сродства часто отождествляли с дуалистическим пониманием состава химического соединения и отказ от последнего воспринимали как крушение теории. В литературе бытует освещенная давней традицией трактовка истории появления, безраздельного господства и печального падения электрохимической теории под натиском фактов, полученных главным образом при изучении органических соединений. В качестве далеко не худших примеров сошлемся на работы [18, 31, 65].

«Не отличая надлежащим образом данные опыта от того, что к ним присоединила деятельность ума, Берцелиус, — по словам С. Канниццаро, — рассматривал электрохимические факты как великолепное и неоспоримое подтверждение дуалистического взгляда на конституцию солей» (цит. по [66, с. 56—57]).

«Предполагать, что разнородные атомы удерживаются электрическим притяжением, а не простым механическим притяжением... едва ли есть какое-либо основание», — сокрушался молодой Д. И. Менделеев [67, с. 20], который, впрочем, и в конце жизни корил научную мысль своего времени за то, что она «запуталась в ионах и электронах» [68, с. 435].

Дж. Партингтон обвинял шведского химика в безрассудстве, догматизме и упрямстве [18, с. 369, 371].

«Беда Берцелиуса состояла в том, что он стремился во что бы то ни стало сделать все свои выводы и обобщения чрезвычайно жесткими, превращая их в окончательное решение проблемы, в истину в последней инстанции...», — пишет Б. М. Кедров [65, с. 138]. С крушением электрохимического дуализма Кедров связывает начало второй, после Дальтона, революции в химии: «теория

Берцелиуса особенно решительно была раскритикована Жераром, который отверг мысль о двойственной, электрополярной природе химического соединения. Новым, что защищал Жерар, была идея единства частицы вещества, на основе такой идеи возникла новая, «унитарная», атомно-молекулярная теория, вытеснив к середине XIX в. старую, «дуалистическую», теорию Берцелиуса. Это была подлинная революция в химии» [69, с. 302].

Если бы первородный грех берцелиусовского электрохимического дуализма состоял в простом и упрямом приписывании бинарной конституции всем без исключения телам, то тогда унитарное учение Ш. Жерара было бы вершиной теоретической мысли. В действительности «заблуждения» Берцелиуса далеко не столь просты. Разберем их по порядку. «Заблуждение» первое — догматическое следование электрохимическому дуализму. В качестве иллюстрации обычно приводят цитату из «Опыта»: «Если электрохимические взгляды правильны, то из них следует, что каждое химическое взаимодействие зависит целиком и полностью от двух противоположных сил — положительного и отрицательного электричества, и каждое химическое соединение должно состоять из двух частей, соединенных посредством электрохимического взаимодействия, так как третьей силы не существует. Отсюда следует, что каждое сложное тело, независимо от числа его компонентов, может быть разделено на две части, положительно и отрицательно заряженные» [29, с. 98]. Однако в дальнейшем Берцелиус изменил свою точку зрения. Так, в 13-м выпуске «Ежегодных сообщений» (представленном в Шведскую Академию наук 31 марта 1833 г.) раздел «Растительная химия» ученый начинает с обсуждения соотношения между эмпирическими и рациональными формулами [70, с. 185—189]. Под первыми он понимает те, которые «непосредственно вытекают из правильного анализа и неизменны» [70, с. 186], тогда как вторые «имеют целью дать некоторое представление об электрохимически противоположных телах, из коих, как можно заключить, состоит атом (речь идет о сложном атоме, молекуле.— *Авт.*), т. е. выражают электрохимическое разделение» [там же].

Далее Берцелиус указывает на трудность и неоднозначность рационального представления химических соединений. Рассматривая в качестве примера селенат олова, он показывает, что есть экспериментальные основания

для придания ему различных рациональных формул: $\text{SnO} + \text{SeO}^3$, $\text{Sn} + \text{SeO}^4$, $\text{SnSe} + 4\text{O}$ и $\text{SnO}^2 + \text{SeO}^2$. «Исходя из атомистической теории и стремясь прийти к некоторому понятию о механическом строении сложного атома, легко установить, что если относительное расположение элементарных атомов остается во всех случаях неизменным, то все эти формулы должны быть в равной степени справедливыми. Однако это не так. Ибо если бы было возможно определить относительное расположение атомов и затем изобразить его наглядно посредством некой искусственной модели, то с первого же взгляда каждому стало ясно, что лишь первые две формулы ($\text{SnO} + \text{SeO}^3$ и $\text{Sn} + \text{SeO}^4$. — *Авт.*) одинаково правильны, и совершенно безразлично, какой из них отдать предпочтение для наглядного выражения состава... С тех пор как из опыта выяснилось, что одно и то же число простых атомов может располагаться по-разному, давая тела с различными свойствами (т. е. с тех пор, как было открыто явление изомерии. — *Авт.*), и что одна и та же совокупность элементарных атомов часто изменяет свое расположение под влиянием определенных условий (как, например, в открытой Ф. Вёлером реакции изомеризации цианата аммония. — *Авт.*), стало ясно, что, хотя все (формально) правильные представления состава равноправны, не все из них можно считать верными» [70, с. 188]. Берцелиус особо подчеркивал, что любые способы рационального выражения состава, которые он связывал с электрохимическим дуализмом, «есть, так сказать, чистая фикция, для которой нет иного основания, кроме того, что, согласно электрохимической теории, сложные тела должны рассматриваться как бинарные» [70, с. 189].

Годом позже он снова отмечает, что если бы было возможно непосредственно наблюдать индивидуальные атомы в каком-либо химическом соединении, например в сульфате меди, то в нем не удалось бы выделить ни CuO , ни SO^3 , — оно представляет собой «одну-единственную связанную субстанцию» [71, с. 348]. Ту же мысль Берцелиус высказывает в письме к Вёлеру от 6 октября 1834 г., подчеркивая, что химику «необходимо знать, на какие части оно (соединение. — *Авт.*) может быть разделено, но было бы неправильно говорить, что оно составлено из этих частей» [72, с. 589]. Соответственно и реакцию образования сульфата калия из K^2O и SO^3 Берцелиус рассматривал не как результат простого присоеди-

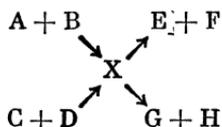
ния готовых преформативных групп, а как результат перегруппировки всех участвующих в ней атомов [7, с. 435]. «Более развитая химическая теория,— писал «ярый дуалист» и «догматик» Берцелиус одному из своих американских коллег в 1834 г., т. е. примерно за 10 лет до жераровской революции,— все больше и больше указывает на необходимость рассматривать оба (представления сульфата калия — $K_2O \cdot SO_3$ и $K_2O \cdot OOS$.— *Авт.*) в равной мере» (см. Приложение 4).

В 1836 г. Берцелиус был склонен признать водородную теорию кислот. В письме к Генриху Розе он писал: «Опыты с безводной серной кислотой и хлоридами очень меня интересуют. Они, кажется, приведут к долгожданному выводу, что крепкая серная кислота не SO_3 и даже не $SO_3 + H_2O$, а $SO_4 + H$ и что та же теория окажется правильной в применении к галоидным солям, так же, как и к солям кислородных кислот» [73, с. 116]. Берцелиус писал Ю. Либиху в 1838 г., что он охотно примет новую водородную теорию кислот наравне со старой как другой способ объяснения. Давая определение соли во втором французском издании «Учебника химии» (1847 г.), он особо (курсивом) выделяет слова о том, что соль «есть единое целое (*un seul tout*), составленное из трех элементов (или из большего их числа, если кислота является сложным радикалом) и способное при химических воздействиях распадаться различными путями» [7, с. 16].

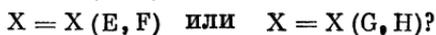
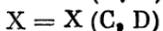
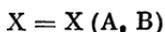
«В духе атомистической теории,— писал Берцелиус в 1834 г.,— мы представляем себе, что при соединении двух или нескольких простых тел в одно сложное атомы их связаны друг с другом в известном порядке, зависящем в одинаковой степени как от силы сродства, так и от числа соединяющихся атомов. Порядок этот определяется иногда случайными влияниями, происходящими от неизвестных причин, так что он не всегда остается один и тот же, хотя элементы и число атомов не изменяются» [74, с. 13].

Подобные высказывания в работах Берцелиуса 1830—1840 гг. (а также в его переписке) встречаются часто, занимая по несколько страниц (некоторые из них читатель найдет в Приложениях 4 и 5). В них неизменно проводится мысль о том, что сложный атом (т. е. молекула) может быть разделен на отдельные группы атомов лишь мысленно и, как правило, несколькими способами, каждый из которых имеет четкий химический смысл, ибо

опирается на характерную для данного вещества реакцию. Это сближает позицию шведского ученого с позицией Жерара, утверждавшего, что «соединение определяется своими превращениями, т. е. своим прошлым и будущим» [75, с. 433]. Поэтому было бы неправильно сводить подход Берцелиуса к обязательному выделению в молекуле неизменных, замкнутых атомных групп в угоду электрохимической теории³². Любое мысленное разбиение химического соединения определялось в первую очередь его химическими реакциями. Но так как каждое вещество может испытывать самые разнообразные превращения, однозначно сопоставить с химическим соединением какую-либо рациональную формулу и соответственно выделить в нем какие-либо преформативные группы было крайне трудно, а иногда и невозможно, если, конечно, не принять условно какой-то тип превращений, характерных для данного вещества, в качестве доминирующего. Схематически указанную трудность можно выразить так: если соединение X синтезируется как из A и B, так и из C и D, и разлагается как на вещества E и F, так и на G и H:



то как следует записать его конституцию —



Эта трудность приводила в замешательство многих химиков. В 1834 г. П. Робике указал на нее в послании к Ж.-Б. Дюма, а А. Бодримон (1833) вообще предложил отказаться от попыток определения конституции соединений исследованием его химических реакций на том основании, что в ходе реакции «устанавливается молекулярное движение и разрушается предшествующее расположение атомов» [41, с. 50]. Дело осложнилось еще и

³² Последняя, кстати, вовсе не предполагала жесткого «бинарного расчленения сложного атома», наоборот, электростатическое взаимодействие, согласно Берцелиусу, охватывало всю молекулу целиком, что вполне отвечало представлению о частице вещества как о едином, целостном образовании.

тем, что подавляющее число предполагаемых преформативных групп (радикалов) не удавалось выделить в свободном состоянии. О. Лоран насчитал в «Трактате по органической химии» Ю. Либиха сто одиннадцать гипотетических радикалов [76, с. 12]. Это обстоятельство, ясно понимаемое и Берцелиусом, и Жераром, послужило едва ли не главным доводом в пользу унитарной концепции. Берцелиус одним из первых заметил сложное, противоречивое отношение, существующее между унитарным и «конституционным» (структурным) подходом к изучению молекул³³, внешне проявившееся в неоднозначности выделения преформативных групп (радикалов). Например, для такого сравнительно хорошо изученного соединения, как этиловый спирт, было предложено множество формул, отличавшихся друг от друга выбором положенной в основу реакции; вот три из этих реакций (в оригинальной записи):

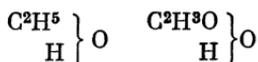
1. $C^4H^8 + 2H^2O$ (Дюма и др.)
гидратация этилена $C^4H^8 + 2H^2O \rightarrow C^4H^{12}O^2$
2. $C^4H^{10}O + H^2O$ (Либих)
дегидратация спирта $C^4H^{12}O^2 \rightarrow C^4H^{10}O + H^2O$
3. $C^4H^{10}O^2 + H^2$ (Митчерлих)
реакция этанола с Na $C^4H^{12}O^2 \xrightarrow{+Na} C^4H^{10}O^2Na + H^2$

За этим внешним противоречием скрывалось глубокое внутреннее противоречие, в котором структура объекта исследования (в данном случае молекулы) предстает как его внутреннее отношение к самому себе, внешним образом обнаруживающееся по отношению к другому объекту (к другой молекуле). Берцелиус зафиксировал лишь одну, хотя и важную, сторону этого внутреннего противоречия химического соединения, проявляющегося как противоположность электрических полярностей преформативных групп, в соответствии с чем «наиболее простыми и обычными» он полагал реакции разложения и соединения [7, с. 16—17].

³³ Чего нельзя сказать о таких ортодоксальных дуалистах, как, например, Т. Пелуз, Ю. Либих, Ж.-Б. Дюма и др., оказавшихся в то время бóльшими роялистами, чем сам король. Дюма, бывший до 1834 г. убежденным дуалистом, даже позволил себе как-то упрекнуть Берцелиуса в недостатке энтузиазма по части применения электрохимических идей в органической химии [77, с. 268].

Жерар взял за основу своей новой теории типов другую разновидность реакций — реакции двойного разложения — и отставив другие, не менее односторонние, типические, представления. Оба исследователя понимали несовершенство и ограниченность своего подхода, и оба искали выход из трудностей в идее единства, унитарности химического соединения. Но при попытке выразить эту идею теоретически получалось логическое противоречие — в единой, нерасчлененной, целостной молекуле, как только она становилась участником конкретной химической реакции, т. е. ставилась в отношении к другим молекулам, неизбежно проступала некая структура, целостная система выявляла свою бинарную (или иную) расчлененность на некие атомные группы, инварианты состава относительно данного типа (или типов) реакций.

Унитаризм как общий принцип внутримолекулярной организации и дуализм как одна из форм ее конкретного проявления оказывались в отношении прямого противоречия, усиливающегося тем, что оба они определяли один и тот же предмет — молекулу химического соединения. Противники и сторонники Берцелиуса были едины с ним и друг с другом в попытках устранить (каждый по-своему) это противоречие, добиться, по крайней мере, формального единства теории. Однако единства не получалось, трудности и парадоксы не исчезали [78]. Идея унитаризма не спасала. Она могла служить рабочей, эвристической концепцией и практически, у того же Жерара, рано или поздно вырождалась в свою противоположность. Ведь сама идея химического типа уже была далеко не бесструктурна, что пронизательно заметил А. М. Бутлеров [79, с. 83—84]. Например, отнесение этилового спирта и уксусной кислоты к типу воды предполагает выделение особой конституционной роли одного из атомов кислорода



Другим примером может служить определение соли, данное Жераром в его программном «Введении в изучение химии по унитарной системе» (1848): «...мы будем называть солями или двойными телами все химические соединения, состоящие из двух частей, одна из которых — металлическая, другая — неметаллическая...». «Довольно пикантно видеть, — ядовито заметил по поводу этого оп-

ределения А. Вюрц,— что автор *унитарной* системы определенно защищает дуалистические идеи, которые основываются главным образом на бинарном составе солей...» [80].

Природа указанных трудностей в настоящее время может быть понята в свете квантовомеханической теории химического строения. С позиций квантовой механики молекула представляет собой систему, состоящую из электронов и атомных ядер, вероятность локализации которых в некоторой точке пространства может быть определена с помощью функций распределения соответственно электронной (ρ_{el}) и ядерной (ρ_N) плотности. Очевидно, что в силу однородности и изотропности пространства для свободной молекулы вероятность найти электрон или ядро в любой точке пространства одинакова, т. е. *любая* молекула обладает как бы «сферической симметрией». На этом уровне рассмотрения — уровне «строгой» квантовой механики — ни о какой молекулярной структуре говорить не приходится³⁴. Этот наиболее общий, строгий, предельно унитарный подход для химика оказывается предель-

³⁴ В квантовой химии понятие структуры возникает в результате введения определенных приближений. Процесс же выработки этих приближений обусловлен не только соображениями математического и физического характера, но в снятом виде включает в себя весь исторический опыт развития концептуального аппарата данной науки.

Первый шаг в определении молекулярной структуры в рамках квантовой механики состоит в отделении поступательного и вращательного движений, после чего структура химического соединения будет определяться функциями ρ_{el} (электронная структура) и ρ_N (ядерная). Первая из них выражается, как правило, через одноэлектронные функции молекулы, так называемые канонические молекулярные орбитали (МО), которые обычно делокализованы по всей молекуле. Это представление, однако, плохо вяжется со структурными химическими концепциями, а также с обнаруженными еще в прошлом веке фактами аддитивности и трансферальности достаточно широкого круга молекулярных свойств. Но в силу того, что многоэлектронная волновая функция, построенная из канонических МО, инвариантна относительно унитарных преобразований последних, электронную структуру молекул можно описать в терминах локализованных химических связей, неподеленных электронных пар или даже отдельных n -атомных фрагментов. Более того, с самого начала квантовая химия развивалась в форме двух методов — валентных связей и метода МО, что также достаточно наглядно выражало противоречивую природу молекулы [81].

Антиномия «локализация—делокализация», таким образом, оказалась сформулированным в квантовохимических терминах выражением антиномии «структурность—унитарность». Иными

но... бесплодным в силу того, что исходными объектами химического мышления со времен Берцелиуса и до наших дней остаются главным образом атомы, молекулы и различные молекулярные фрагменты (ионы, радикалы и т. д.), переходящие из одного соединения в другое, что в теоретическом описании предполагает вычленение в целостном объекте (молекуле, твердом теле, растворе и т. д.) функционально значимых образований и установление взаимосвязей между ними, т. е. предполагает идею структуры в том или ином, исторически обусловленном понимании этого слова.

Таково, в кратком изложении (подробнее см. [82, 83]), реальное противоречие реального объекта, давшее себя знать на заре теоретической химии как противоречие между унитарными и дуалистическими (и вообще — структурными) теориями³⁵. Даже самые проникательные химики первой половины прошлого века пытались разрешить его, говоря словами Маркса, «путем прямого подведения конкретного под абстрактное и путем непосредственного приспособления конкретного к абстрактному»³⁶, т. е. сводя внутреннее противоречие объекта исследования к внешнему противоречию двух вещей, каждая из которых сама по себе непротиворечива, — прием, который в логике называется «сведением внутреннего противоречия к противоречию в разное время и в разных отношениях» и который Маркс называл профессорской формой разложения теории. Не удастся дать однозначное представление конституции химического соединения? Ну что ж, следует принять во внимание различия в условиях проведения реакций, полнее учесть разнообразные факторы и т. д. и т. п. Все (или почти все) мыслимые формулы хороши, но каждая при своих условиях, в своем отношении, для своего типа реакций.

словами, в квантовомеханической теории молекула предстает в двух ипостасях, взаимоотрицающих и взаимодополняющих друг друга, — как система с делокализованной электронной, а при более общем подходе и ядерной, плотностью и как система с локализованными двухцентровыми связями, чему соответствуют различные типы свойств (одноэлектронные и коллективные), проявляющиеся в различных экспериментальных ситуациях. Эта структурная двойственность молекулы, в конечном счете, обусловлена корпускулярно-волновым дуализмом входящих в нее микрочастиц — ядер и электронов.

³⁵ Укажем в этой связи на полемику между А. М. Бутлеровым и Н. А. Меншуткиным, рассмотренную в работах [84, 85].

³⁶ Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 26, ч. III, с. 85.

Именно так и подошел к вопросу о конституции молекул Берцелиус. Прекрасно понимая трудности определения преформативных групп как инвариантов состава, желая сохранить равновесие между крайностями спекулятивного теоретизирования о взаимном расположении атомов и грубым эмпиризмом брутто-формул, шведский химик предложил принять в качестве наиболее характерных для каждого вещества реакций «наиболее простые и изученные» реакции его разложения и синтеза, идущие при обычных, или близких к ним, условиях. Ярким примером могут служить его рассуждения о природе солей: «...бинарные начала нельзя отличить одно от другого, и новое тело (т. е. соль.— *Авт.*)... не имеет компонентов кроме простых элементов, из которых оно состоит. Оно есть единое целое, в котором нет ни кислоты, ни щелочи, ни каких-либо сложных солеобразующих тел; эти тела существуют лишь в мысли, являясь результатом предвзятого мнения. ...Но образованное таким образом тело мы можем разложить химически либо на бинарные составляющие...т. е. на основание и кислоту, либо, при изменении действующих условий, на другие тела. ...Если сопоставить теперь две указанные теории... с только что приведенными рассуждениями о природе солей, то станет ясно, что обе они в действительности следуют представлениям, основанным на разных способах химического разложения... Какому же, спрашивается, представлению следует отдать предпочтение? Мы ответим, что надо предпочесть то, которое дает наилучшее понимание наиболее обычного способа разложения и образования солей; это, без сомнения, старый способ, в соответствии с которым соли состоят из кислот и оснований, из которых они образуются и на которые разлагаются» [7, с. 15—16].

В этом отрывке глубина и ограниченность берцелиусовской мысли, практически исчерпавшей возможности развития структурных концепций на основе учения о составе, видны особенно ясно. Указав одним из первых путь и выявив принципиальные трудности построения структурной теории на базе электростатической интерпретации химического сродства, Берцелиус оказался не в силах разрешить возникшие на этом пути противоречия, которые получили свое относительное разрешение только в теории химического строения, в основу которой была положена идея о дискретных единицах химического сродства (т. е. идея о химической связи), а затем в электронных теориях строения молекул.

Электрохимический дуализм в органической химии

Теперь обратимся ко второму «заблуждению» Берцелиуса — распространению электрохимического дуализма на органическую химию.

По мнению большинства ученых, именно столкновение с фактами органической химии оказалось роковым для электрохимической теории. «Несмотря на то,— пишет Б. М. Кедров,— что во второй четверти XIX в. обнаружился специфический характер органических соединений, Берцелиус продолжал делать тщетные попытки подогнать во что бы то ни стало органическую химию под неорганическую, втиснуть более сложные закономерности органических соединений в узкие (а может быть слишком широкие?— *Авт.*) рамки своей «дуалистической» электрохимической теории, имеющей применение к солям, кислотам и основаниям, т. е. к предмету неорганической химии» [69, с. 302]. Действительно, Берцелиус, рассматривая конституцию органических соединений, исходил из их аналогии с неорганическими; этому регулятивному принципу он следовал до конца жизни, считая его неперменным условием прогресса органической химии. «Теперь,— писал он Г. Мульдеру 10 июля 1839 г.,— я более чем когда-либо заинтересован в том, чтобы удерживать теоретические построения в органической химии... в рамках сопоставлений с составом неорганических соединений, поскольку... как я глубоко убежден, все спекуляции вне этих рамок приведут лишь к ошибкам и путанице, от которых будет нелегко избавиться. Возьмем, к примеру, спекуляции г-на Лорана, этого неутомимого исследователя,— какая хаотическая масса, в которой перепутаны и упрятаны столь простые соединения и столь интересные составы. Я укажу Вам один пример, показывающий, сколь необходимы поиски прототипов в неорганической природе. Вы помните, что Либих и Вёлер в своей замечательной работе о горькоминдальном масле установили, что бензойная кислота состоит из одного атома кислорода и одного атома радикала бензоила, содержащего в свою очередь два атома кислорода, и что они доказали существование такого радикала путем его соединения с хлором. Идея о радикале, содержащем кислород, неудачна. Это все равно, что Вы бы сказали, будто марганцовая кислота имеет состав $\overset{\cdot}{\text{Mn}}+\text{O}$. Ища в неорганической природе прототип хлористого бензоила, мы на-

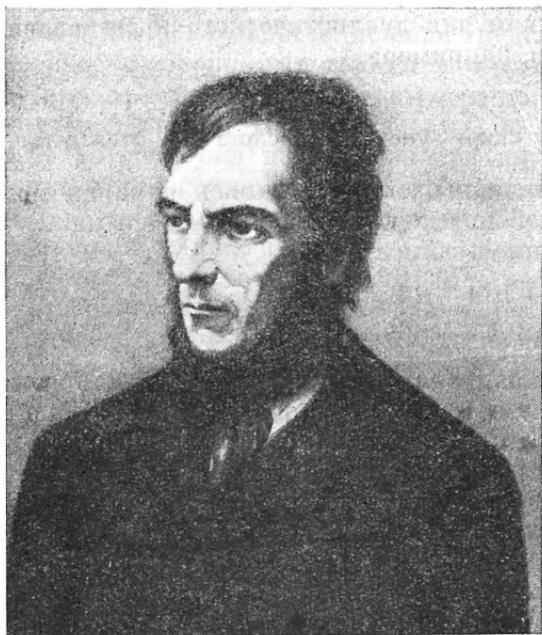
ходим его в соединениях хрома, молибдена и вольфрама с кислородом и хлором. Их можно было бы записать, например, как $\overset{\cdot}{\text{Cr}} + \overset{\cdot}{\text{Cl}}$, но так не делают, ибо радикал изве-

стен. И подобно тому как мы пишем $\text{CrCl}^3 + \overset{\cdot\cdot}{\text{Cr}}$, мы так же должны писать $\text{VzCl}^3 + 2\overset{\cdot\cdot}{\text{Vz}}$ (где $\text{Vz}=\text{C}^{14}\text{H}^{10}$)...» [86, с. 107—108].

Трудно сказать, что здесь превалирует — стремление подогнать состав под электрохимическую теорию или достичь путем произвольного усложнения состава неорганического прототипа формального единства «теоретических спекуляций» в обеих ветвях химии. Вероятно, последнее — ведь в конце концов присутствие кислорода в радикале не обязательно должно менять его электрический характер с электроположительного, как обычно принималось для углеводородных соединений, на электроотрицательный, — никаких количественных критериев на этот счет не существовало. Да и сам Берцелиус признал впоследствии идею о кислородсодержащем радикале, не отказываясь от электрохимической теории.

Но из сказанного никак не следует, что попытки распространения дуализма на органическую химию были искусственными и «тщетными». Даже такой противник Берцелиуса, как О. Лоран, признавал их полезность: «...справедливость какой-либо теории определяется прогрессом той науки, которая ее породила. Сейчас, когда мы обсуждаем большие успехи этой (дуалистической.— *Авт.*) теории в номенклатуре, преподавании и теперь в применении к органической химии, мы все еще вынуждены использовать ее, даже если бы было доказано, что она неправильна, а эта (унитарная.— *Авт.*) теория истинна» [87, с. D. 35; см. также D. 38] ³⁷. В самом деле, распространение всех разновидностей дуализма, в том числе и электрохимического, на органические вещества во второй четверти XIX в. казалось вполне естественным, ибо история открытия вовсе не совпадает с принятым в 1860-х годах и сохра-

³⁷ В письмах к Жерару Лоран часто повторял, что односторонний унитаризм не менее опасен для химии, чем односторонний дуализм. Не сам по себе дуализм опасен, подчеркивал Лоран, но его крайности [88, с. 5, 8—9, 19 и сл.].

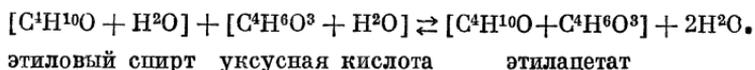


Огюст Лоран

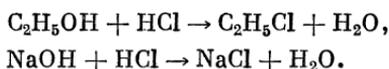
нящимся до сих пор порядком их изложения в учебниках.

«Из всех видов органических соединений,— отмечал Д. И. Менделеев,— наиболее изучены кислоты... Многие открытия, сделанные в органической химии, группировались долгое время вокруг кислот» [80, с. 88]. Даже Жерар, стремившийся начать изложение и классификацию органической химии с относительно простых молекул, начал не с углеводов, а с кислородных соединений. Органическая химия начиналась с изучения сравнительно сложных кислород-, азот- и галогенсодержащих веществ, дуалистическое представление которых казалось вполне естественным, и попытки Берцелиуса в этом отношении отнюдь не были тщетными. Так, например, карбоновые кислоты записывались аналогично своим неорганическим прототипам в виде $[XO^n + H_2O]$, где X — сложный углеводородный радикал. А тот факт, что простой эфир мог быть получен дегидратацией соответствующего спирта, приводил химиков к представлению последнего как гидрата

эфира $[C^4H^{10}O + H^2O]$. Реакция же этерификации служила основанием для дуалистического представления сложных эфиров, например:

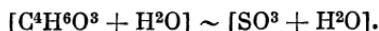


Галогеналкилы рассматривались как аналоги неорганических солей по сходству некоторых реакций, например (в современной записи):



Амиды считали аналогами галогенидов, например для оксамида Дюма предложил формулу $[C^4O^2 + N^2H^4]$ и т. д.

Проникновению дуализма в органическую химию способствовало не только наличие в известных тогда органических веществах различных электроотрицательных элементов и функциональных групп, но и такой негативный фактор, как незнание истинного состава молекул, причины чего детально рассмотрены в работах [40, 84]. При этом далеко не последнюю роль в выборе формулы играла аналогия с неорганическими веществами. Так, для уксусной кислоты была принята удвоенная формула, что позволяло «уподобить» ее по составу серной кислоте

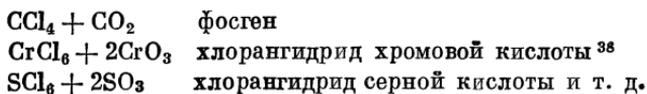


Распространить электрохимический дуализм на органическую химию в то время было нетрудно, трудно было найти ясные, единые для всех соединений критерии его применения. Неслучайно в программной работе Ю. Либиха и Ж.-Б. Дюма (1837) вопрос о том, как именно приложить законы неорганической химии к органической, рассматривался как один из труднейших в натуральной философии. Наглядным примером может служить полемика между Либихом и Дюма по поводу конституции эфира. Оба исходили из теории радикалов, оба в качестве характерной реакции выбирали дегидратацию эфира в присутствии серной кислоты, оба сходились на том, что спирт — гидрат эфира (см. выше). Но что такое сам эфир? По мнению Дюма, — это гидрат углеводорода этерина (т. е. этилена): $[C^4H^8 + H^2O]$, по Либиху же — основание, оксид гипотетического этильного радикала: $[C^4H^{10} + O]$, аналогичный неорганическим основным оксидам $Me + O$. Оба подхода

дуалистичны, но четкого критерия выбора исходного радикала не было.

В этом заключалась существеннейшая трудность развития дуалистических теорий: их принципы оказались слишком широкими, расплывчатыми как в неорганической, так и в органической химии. Последняя сама по себе в том состоянии, в котором она находилась при жизни Берцелиуса, «допускала» дуализм в неменьшей мере, чем неорганическая. Более того, трудности применения дуалистических концепций также имели общую природу в обеих областях химии, хотя в ходе дискуссий в качестве примеров часто фигурировали органические вещества. Это происходило, с одной стороны, потому, что состав последних в количественном отношении был более сложен и трудности разделения молекулы на отдельные группы были особенно велики, а с другой — потому, что некоторые явления, как, например, изомерия, изучались в первую очередь на органических объектах. Наиболее существенная трудность такого рода связана с открытием реакций замещения.

В нашу задачу не входит подробный анализ истории изучения этих реакций [54, 90]. Мы остановимся лишь на их отношении к электрохимической теории. Первоначально исследование явлений замещения носило единичный характер и проводилось главным образом на неорганических веществах. Так, было известно много примеров взаимного замещения металлов в минеральных солях, в 1820-х годах Генрих Розе получил хлорангидриды ряда неорганических кислот (хромовой, молибденовой и др.), которые он, подобно фосгену, рассматривал как двойные соединения:



В начале 1830-х годов Дюма обнаружил способность хлора замещать водород в органических веществах. Однако объяснить эти реакции на основе дуалистических электрохимических представлений было нелегко³⁹. Дюма пред-

³⁸ См. также цитированное выше письмо Берцелиуса к Мульдеру.

³⁹ Как уже было сказано, замещение электроположительного элемента электроотрицательным при условии сохранения ряда характерных свойств соединения с позиций электрохимической теории казалось невозможным по электростатическим соображе-

положил, что электроотрицательный хлор реагирует с электроположительными углеводородными радикалами, образовавшимися в процессе разложения исходного соединения [91, с. 185—186]. Аналогично и Берцелиус поначалу говорил о «разложении под действием хлора» (см., например, [54, с. 113]). В настоящее время трудно с достоверностью сказать, кто впервые явно сформулировал идею о замещении водорода на хлор *in situ*. Многие химики (И. Малагути, А.-В. Реньо, Ж. Персо, Р. Пириа и др.) высказывали сходные мысли, но первым, кто осознал принципиальную роль этой идеи и положил ее в основу новой структурной теории, был Лоран. Основная посылка сформулированной им в 1836 г. теории ядер заключалась в признании доминирующей роли относительного пространственного расположения атомов в молекуле, а не их электрической природы, как предполагал Берцелиус.

Согласно Лорану, молекула состоит из центрального ядра и внешней части. Ядро содержит атомы углерода и других элементов, оно имеет определенную геометрическую форму и определяет основные физико-химические свойства молекулы и тем самым ее принадлежность к данному типу веществ. Если замещение происходит в ядре молекулы, то образуется соединение, относящееся к другому типу, если оно происходит во внешней части, то изменение физико-химических свойств оказывается незначительным. Это был первый (и принципиальный) разрыв с *электрохимическим* дуализмом (хотя теория ядер дуалистична в том смысле, что предполагает выделение двух топологически неэквивалентных фрагментов молекулы — ядра и внешней суперструктуры). Действительно, согласно электрохимической теории, «химическая функция» каждого атома определяется его электрической природой, согласно

нием, поскольку атом Берцелиуса не был электрически нейтральным и смысл термина электроотрицательность (соответственно электроположительность) был далек от современного. Под электроотрицательностью подразумевали не способность атома оттягивать отрицательный заряд в соединении с другими атомами, а наличие избытка отрицательного электричества на атоме «как таковом», т. е. в изолированном состоянии. Именно этот избыток заряда того или иного знака и определял физико-химическую природу атома, его индивидуальность.

Только в XX в. было установлено, что указанные выше реакции замещения идут, как правило, не по ионному, а по радикальному механизму, согласно которому молекула атакуется электро-нейтральным атомом галогена.

же теории ядер, она зависит исключительно от местоположения атома. Например, кислотность, по Лорану, «никоим образом не зависит от отношения углерода или водорода к кислороду, но только от положения кислорода» [92].

Заметим, что теория ядер, как и другие концепции, построенные на идее замещения, затрагивали не только, и даже не столько, электрохимический дуализм, сколько саму электрохимическую концепцию сродства. Никто из сторонников этой концепции не мог допустить, чтобы электрическая природа атома могла под влиянием окружения измениться настолько, что, к примеру, кислород или хлор вдруг оказались бы в роли электроположительного водорода, как это следовало из теории замещения, теории ядер и тому подобных построений. Разумеется, Берцелиус резко отрицательно отнесся (после продолжительного молчания) к идеям Лорана. В 1838 г., в очередном томе «Ежегодных сообщений», он заявил, что «разбор теорий подобного рода считает излишним» [93, с. 226]. В том же году в письме к Т. Пелузу он обвинил Дюма в приверженности к взглядам Лорана и Малагути. Пелуз зачитал письмо на заседании Академии [94], и Дюма пришлось оправдываться.

«Теория замещений,— писал Дюма в ответ на критику,— выражает простое соотношение между уходящим водородом и входящим в соединение хлором... Если мне хотят сказать, что водород замещается хлором, который при этом играет его роль, то этим мне приписывают мнение, против которого я решительно протестую, так как это противоречит всему, что я писал по этому вопросу» [95, с. 646—648]. Но как раз в то время, когда разгневанный Дюма отправил в «Comptes Rendus» это опровержение, он завершил свою работу по хлорированию уксусной кислоты, в конечном итоге приведшую его именно к той идее, против которой он решительно протестовал.

Дебаты между сторонниками теории замещения и «электрохимиками» были долгими и временами довольно бурными. Дело не обошлось без крайностей. Дюма, например, заявил, что «в органическом соединении все элементы могут быть последовательно замещены на другие» [96, с. 156]⁴⁰. Но к началу 1840 г. обе стороны пошли

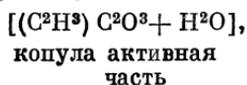
⁴⁰ В ответ на эту идею последовал памфлет некоего С. Виндлера (по-видимому, псевдоним Ф. Вёлера), предложившего организовать производство хлорной ткани для продажи в лондонских магазинах.

на некоторые уступки. Берцелиус был готов признать сходство между органическими кислотами и их хлорпроизводными, в чем не последнюю роль сыграла работа ассистента Дюма Л. Мельзенса (1842) по получению уксусной кислоты из трихлоруксусной восстановлением последней водородом *in statu nascendi*. «Все, что можно сказать наверняка,— писал Берцелиус Лорану,— это то, что хлор занимает то же место, что и водород» [56, с. 188]. В свою очередь, Лоран согласился признать, что и «хлор, разумеется, вносит изменения в соединение» [56, с. 184].

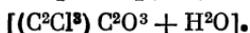
Но до идиллии было далеко. Когда улеглись страсти, обнаружилась суть дела. Особенно отчетливо позиции сторон выявились в переписке между Лораном и Берцелиусом (1843—1844 гг.), отрывки из которой приведены в Приложении 7. За исключением работы Дж. Х. Брука [78] эта переписка почти не нашла отражения в историко-химических исследованиях. Уже при первом знакомстве с этими пространными четырьмя письмами (два от Лорана и два от Берцелиуса) нетрудно заметить, что французский химик подчеркивал в первую очередь моменты сходства своих взглядов со взглядами оппонента. Лорану казалось, что все дело лишь в словах: «не так уж важно, будем ли мы говорить, что хлор играет или не играет роль водорода» ([56, с. 194]; см. Приложение 7).

Лоран был удивлен тем, что Берцелиус, неоднократно подчеркивавший роль геометрического фактора в химии, упорно продолжал сопротивляться, он даже заподозрил здесь «вопиющий обман» со стороны шведского ученого. Разумеется, дело было не в обмане и не в любви Берцелиуса к столкновению различных точек зрения, «благодаря конкуренции которых найти истину много легче» (цит. по [78, с. 57]). В подходах этих двух великих химиков были глубокие различия. Оба согласились с тем, что в некоторых случаях хлор может занимать место водорода, при этом новое соединение аналогично по свойствам исходному. Однако если Лоран объяснял эту аналогию сходством пространственного расположения атомов в молекулах,— поскольку масса атомов хлора не нарушает существенно механического равновесия,— то Берцелиус полагал, что в сложных соединениях имеются две части — активная, определяющая характерные свойства молекулы, и пассивная — копула («*cupula*» или «*Paarling*», в русской литературе иногда употребляли термин *сочетатель*, см., например, [97, с. 222]), которая незначительно влияла на

физико-химические свойства вещества. Если замещение происходило в копуле, то новое соединение оказывалось аналогичным исходному. Например, уксусную кислоту Берцелиус записывал в следующем виде:



тогда трихлоруксусная имела формулу



По мнению Лорана, гипотеза о существовании копулированных (или сопряженных) соединений была искусственным приемом. «Что такое копула?— писал он в своем «Химическом методе»,— она представляет собой воображаемое тело, присутствие которого маскирует все химические свойства соединений, с которыми оно связано» [98, с. 204]. Неясен был, кстати, и характер связи копулы с активной частью молекулы. И тем не менее идея Берцелиуса имела глубокие основания. В первой половине прошлого века многие химики стали осознавать тот факт, что в молекуле (особенно многоатомной) существуют два (или более) функционально неэквивалентных фрагмента, один из которых определяет физико-химическую индивидуальность соединения в большей степени, чем другой.

Эта мысль нашла свое выражение как в берцелиусовской концепции копулированных соединений, так и в лорановской теории ядер. Кроме того, указанное выше представление карбоновых кислот в то время многим химикам не казалось чем-то искусственным. Достаточно указать на работы А. Гофмана [99] и Г. Кольбе [100], которые настаивали на «предсуществовании» щавелевой кислоты, точнее фрагмента C^2O^3 , в других карбоновых кислотах [78, с. 58]. Наверное, нет особой необходимости доказывать, что идея наличия в соединении «активной» и «пассивной» частей с ретроспективной точки зрения содержит в себе рациональное зерно. Вместе с тем ее применение сталкивалось с определенными трудностями. Как справедливо заметил Н. А. Меншуткин, «указаний, как можно отличить, например, метил, сложный радикал многих соединений, от метила, когда он является сочетателем, не было дано» [97, с. 222] ⁴¹.

⁴¹ Чтобы примирить свою точку зрения с электрохимической теорией и с идеей Берцелиуса о возможности нахождения атома

Идея копулированных соединений нашла свое дальнейшее развитие в работах Кольбе. Рассмотрение его теории выходит за рамки настоящей книги, мы ограничимся лишь оценкой его взглядов Бутлеровым: «Кольбе (который, еще раз подчеркнем, был последователем Берцелиуса! — *Авт.*) остановился на том воззрении, которое было всего ближе к структурному...» [101, с. 266]. В этих словах скрыт глубокий смысл, ибо как бы далеки ни были идеи Берцелиуса и его последователей от концепции химического строения, в них можно увидеть зародыш последней.

Действительно, каждое химическое соединение, говоря словами Д. И. Менделеева, «имеет связь... с множеством соединений: с одними — по гомологии, с другими — по аналогии, с третьими — по замещению, с четвертыми — по типическим реакциям, с пятыми — по происхождению, с шестыми — по разложению и т. д.» [89, с. 144]. Рассмотрение на основе атомной и электрохимических теорий разнообразных химических реакций привело Берцелиуса к выводу о «существовании относительного порядка, в котором группируются элементарные атомы» в молекуле. Так, например, «в соединении кислоты с основанием определенное и неизменное место кислотного атома определяется определенным местом основания, откуда следует, что атом (т. е. радикал. — *Авт.*) кислоты обладает положениями, около которых основание никогда не располагается. Эта аксиома вытекает из электрохимической теории» [7, с. 437]. При химических превращениях взаимные контакты атомов изменяются; к примеру, в солях радикал основания находится, по Берцелиусу, «в контакте с большим числом кислородных атомов, чем первоначально» [7, с. 435].

В работах 1830—1840-х годов можно заметить начало формирования идеи о наличии в соединении непосредственно связанных («контактирующих») и несвязанных атомов. Разумеется, эта идея, возникшая на почве изу-

в различных электрических состояниях, Лоран предположил, что атомы состоят из некоторого числа электрически заряженных частиц и электрическое состояние атомов определяется их взаимным расположением (и здесь, как видим, геометрический фактор играет у французского химика главную роль!). Таким образом, по Лорану, удалось согласовать теорию замещения с электрохимической теорией. Но для Берцелиуса подобный «выход» был не более чем «интеллектуальной спекуляцией».

чения комбинаторики атомов в молекулах, была еще довольно далека от концепции химического строения, основанной на идее дискретности сил химического сродства, и под «относительным порядком расположения атомов» шведский химик понимал в первую очередь их пространственное расположение, «механическую структуру» соединения. Но свойства этой структуры и ее прочность зависели от наличия или отсутствия взаимного контакта между теми или иными атомами, а это уже можно рассматривать как отправную точку для создания впоследствии теории химического строения.

В заключение обратимся к общей оценке электрохимической теории. В историко-химической литературе принято говорить о падении этой теории в конце 1840-х годов. На наш взгляд, это утверждение неправомерно. Химия второй половины XIX в. отказалась от идеи электрохимического дуализма, но фундаментальные положения электрохимической теории химического сродства не были опровергнуты, в противном случае химикам пришлось бы закрыть глаза на такие электрохимические явления, как электролиз, электропроводность и др., число которых постепенно росло. Даже ярые противники Берцелиуса, как правило, не решались отвергнуть мысль об электрической природе химического взаимодействия. Мы уже знаем, что противоречие между дискретностью химического взаимодействия и непрерывностью электрического взаимодействия привело к тому, что с помощью электрохимической теории невозможно было производить *количественные* определения «сил» сродства. Поэтому, по мере того как в химии на первый план выступали количественные измерения и возрастала роль количественных критериев, эта теория должна была уступить место другим концепциям, но как гипотеза, объясняющая *причину* соединения атомов, она всегда привлекала к себе внимание ученых.

Потребовался длительный период изучения индивидуального поведения молекул органических и неорганических соединений, период антагонизма новых фактов и явлений с электрохимическим дуализмом, чтобы, пройдя через жесткую критику, электрохимическая теория Берцелиуса возродилась в конце XIX в. как правильная исходная идея.

«...Электрохимическая теория,— писал В. Оствальд,— оказала большое влияние на развитие химии. Благодаря установлению электрохимического ряда Берцелиусом были заложены основы учения об относительном сродстве, а легко понятная систематика, которую дала теория, способствовала изучению химии» [102, с. 1131—1132].

В 1869 г. шведский химик К. В. Бломстранд написал книгу «Современная химия с точки зрения электрохимических представлений, развитых из учения Берцелиуса» [103], в которой показал, что воззрения химиков 1860-х годов не столько отрицают взгляды Берцелиуса, сколько их подтверждают. Бломстранд указывал на необходимость при изучении химических явлений исследовать не только строение и свойства вещества, но и те силы, которые приводят к образованию этого вещества. Он справедливо отмечал, что новые теории (унитарная, теория типов) оставляют в стороне этот вопрос, тогда как электрохимическая теория Берцелиуса отводила большое место изучению и объяснению сил химического сродства.

«Электрохимическая теория,— писал Н. А. Меншуткин в 1888 г.,— представляет важнейшую теорию в истории химии. В связи с атомической теорией можно при помощи ее дать объяснения не только количественным отношениям веществ при соединении, но также указать и силу, которая вызывает химическое взаимодействие и сдерживает раз соединившиеся вещества. Такая высота теории требует осторожного с ней обращения и некоторого расследования, насколько приведенные доказательства опровергают электрохимическую теорию» [97, с. 225—226].

А. Кекуле в своей ректорской речи в Бонне «Научные цели и достижения химии» (1877) говорил: «Что касается природы сил, обуславливающих соединение атомов, то действительно плодотворной гипотезы до сих пор не было высказано. Электрохимическая теория, гениально развитая великим Берцелиусом, о которой в течение десятилетий предполагали, что она приведет к удовлетворительному объяснению химических фактов и к их сочетанию с физическими явлениями, оказалась недостаточной. По всей видимости, в последующий период развития науки к ней вернуться, и тогда она в омоложенной форме также принесет свои плоды» [104, с. 15]. На это пророческое замечание Кекуле (аналогичного мнения придерживался и Л. Мейер) указал Ф. Энгельс в 1882 г.: «Среди химиков Лотар Мейер, а за ним Кекуле уже высказали тот взгляд,

что предстоит воскрешение в обновленной форме электрохимической теории»⁴².

Рассматривая теорию Берцелиуса, Н. Н. Бекетов отметил, что «теория эта, удовлетворительно объясняя самые явления соединения и разложения, однако, мало удовлетворяла статическую сторону сложных тел, т. е. их строение.

Тем не менее это единственная теория, не опровергнутая, но почти забытая и заброшенная, и в то же время никаким другим учением не замененная. Это, может быть,— единственный пример в истории науки, когда сколько-нибудь рациональное объяснение общих явлений игнорируется или вовсе отбрасывается без всякой замены другою гипотезой... Для объяснения же явления химических соединений и явлений избирательного сродства химиками ничего не выработано и не принято...

Мне кажется, однако, что не было достаточного основания для того, чтобы отбросить электрохимическую теорию и рациональнее было бы самую теорию видоизменить сообразно новейшим воззрениям физики» [105, с. 89—90].

По словам Я. Г. Вант-Гоффа, «воззрения Берцелиуса положили начало изучению электрохимических признаков, ставших достаточно определенным качественным понятием только в новейшее время, благодаря чему получилась возможность перейти к количественному его изучению» [106, с. 91].

«Основные принципы (учения об электросродстве.— *Авт.*),— писали Р. Абегг и Г. Бодлендер в 1899 г.,— имеют уже в первой химической систематике, в электрохимической теории Берцелиуса, проведение которой оказалось невозможным по причине отсутствия количественного знания нужных факторов. После того как новейшее развитие физической химии восполнило этот недостаток, попытка построить новую систематику на тех же началах кажется бесполезной» [107, с. 142].

В 1902—1903 гг. немецкий физико-химик И. Штарк, внесший большой вклад в развитие электронных представлений в химии, ознакомился с «Учебником химии» Берцелиуса и был поражен сходством основных идей «поляризационной» и «валентно-электронной гипотез». Много лет спустя, в 1928 г., Штарк признавался, что в своих работах он исходил из электрохимической гипотезы Берцелиуса и

⁴² Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 485.

расширил ее на основе новых данных об «электрических квантах» в химическом атоме [108].

«Berzelius redivivus» (воскресшим Берцелиусом) назвал А. Зоммерфельд В. Косселя, создателя одной из первых электронных концепций строения молекул [109, с. 178].

Г. Н. Льюис в 1916 г. в статье «Атом и молекула» писал: «Электрохимические теории Дэви и Берцелиуса были отодвинуты в тень теорией «валентности», когда внимание химиков в огромной степени было привлечено к неполярным соединениям органической химии. Позднее электрохимические теории снова выдвигаются, но всегда между двумя воззрениями существовал тот антагонизм, который в результате неизменно приводил к мысли, что как будто бы обе соперничающие теории взаимно исключают друг друга, хотя обе содержат некоторые элементы правдоподобия. Теперь...нет необходимости полагать, что эти теории взаимно исключают друг друга...» [110, с. 75—76].

Мысль Берцелиуса о том, что наблюдаемые химические явления в конечном счете определяются особенностями распределения «электрических субстанций» и изменением этого распределения в ходе реакций, с развитием науки получила блестящее подтверждение.

Исследования по органической химии

Предпосылки для возникновения органической химии как самостоятельной науки возникли в конце XVIII в. главным образом в результате работ А. Лавуазье.

К началу научной деятельности Я. Берцелиуса предметом исследования органической химии являлись тела растительного и животного происхождения, так называемые «организованные тела», в отличие от «неорганизованных тел» минерального происхождения.

В 1806 г. понятие «органическая химия» впервые появляется в двухтомном учебнике Берцелиуса по животной химии (*Föreläsningar i djurkemien. D 1/2, Stockholm, 1806—1808*). «Та часть физиологии,— писал Берцелиус,— которая описывает состав живых тел с протекающими в них химическими процессами, называется органической химией...» [1].

Пока не была вскрыта специфика органической химии как химии углерода, войти в лабиринт новой науки можно было только с «фонарем» неорганической химии, которая послужила матрицей для органической химии. Аналогия была здесь единственной дорогой, ведущей в мир органических веществ.

«Органическая химия является столь своеобразной наукой,— писал Берцелиус,— что химик при переходе от исследований в неорганической природе к исследованиям в органической попадает в совершенно чужую ему область. Учение о химических пропорциях, соблюдающихся у элементов в неорганической природе, наряду с учением об электричестве как химическом агенте, будет способствовать внесению большей ясности и в органическую химию» (цит. по [2, с. 29]).

Когда Берцелиус приступил к изучению органических веществ, он столкнулся с большими трудностями. Если в неорганической химии к началу XIX в. накопился уже значительный экспериментальный материал и довольно прочно вошла в науку кислородная теория Лавуазье, то химия растительных и животных тел представляла собой

собрание разрозненных фактов, иногда совершенно ошибочных.

Ясно понимая эти трудности, вызванные отсутствием удовлетворительной теории и малочисленностью и сомнительностью экспериментальных данных, Берцелиус стремился найти то главное направление исследования, которое позволило бы решительно изменить положение дел в этой области знания. Он считал, что прежде всего следует изучить качественный и количественный состав «организованных тел», что позволило бы судить о природе этих веществ.

Элементный анализ органических соединений

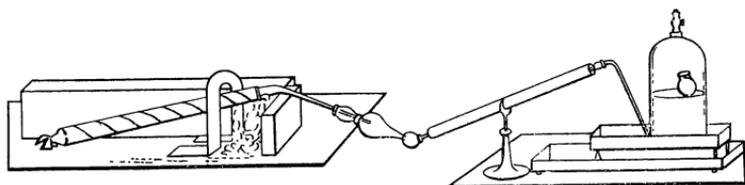
Первые анализы органических веществ (винный спирт, воск, оливковое масло) провел еще в 1783 г. А. Лавуазье, определяя вес продуктов сжигания этих веществ в кислороде. Но эти анализы были очень неточными.

Сравнительно удовлетворительные результаты при элементном анализе органических веществ получили Ж.-Л. Гей-Люссак и Л. Тенар [3]. В 1810 г. они определили состав около 20 органических веществ. Исследуемое органическое вещество ученые смешивали с бертолетовой солью и помещали в вертикально стоящую стеклянную трубку. Образующиеся при сгорании газы собирались над ртутью, при этом определялось содержание углекислоты, избыточного кислорода и азота. Содержание водорода выявлялось по остатку кислорода, т. е. непрямым путем — по разности между кислородом, отданным бертолетовой солью, и кислородом, вошедшим в соединение с углеродом.

Для Берцелиуса, начавшего с 1811 г. исследование применимости химических пропорций к органическим веществам, было особенно важно точное определение процентного состава этих веществ. В течение нескольких лет он существенно усовершенствовал метод Гей-Люссака и Тенара и полностью разработал его к 1814 г. [4].

Берцелиус предложил для элементного анализа органических веществ, не содержащих азота, специальный аппарат, который позволял поглощать не только углекислоту, но и образующуюся при сгорании воду. Для этой цели он применял хлоркальциевую трубку. Кроме

того, он добился медленного сжигания органических веществ, добавив к бертолетовой соли поваренную. Сам аппарат Берцелиуса существенно отличался от прибора, предложенного Гей-Люссаком и Тенаром. Высушенная смесь исследуемого вещества с бертолетовой солью и хлористым натрием помещалась в горизонтальную стеклянную трубку, открытый конец которой вытягивался и соединялся с хлоркальциевой трубкой. Сухая газовая смесь поступала в стеклянный колокол, наполненный ртутью. Углекислый газ поглощался едким кали, находящимся на поверхности ртути в специальном сосуде.



Аппарат Берцелиуса для анализа органических веществ

С помощью элементного анализа Берцелиус достиг поразительной для того времени точности.

Д. Е. Мин, автор статьи о Берцелиусе, вспоминал: «Я был гостем у Берцелиуса в то самое время, когда он получил от Либиха письмо, содержащее в себе результаты исследований, сделанных им вместе с Вёлером над маслом горького миндаля и другими аналогичными веществами. В этом же письме выражены были сомнения на счет правильности формулы росноладанной бензойной кислоты, формулы, заимствованной из анализов 1814 г. Вследствие этого я имел удовольствие видеть, как Берцелиус сам приготовил росноладаннокислый оксид свинца с целью переделать анализ. Когда анализ был кончен и результаты вычислены, оказалось, по справкам с его старыми заметками, что вновь найденные числа совпадали с прежними до третьего десятичного знака. Читатель легко может вообразить, какое доверие к точности знаменитого экспериментатора было внушено мне этим обстоятельством» [5].

В результате усовершенствований, сделанных Берцелиусом, органический анализ значительно упростился. Однако для выполнения органического анализа по

методу Берцелиуса требовалось очень длительное время. В этом был его существенный недостаток. Либих по этому поводу писал: «Первоначальный метод Берцелиуса превосходит; никто не может этого отрицать, кто помнит, что мы обязаны ему точнейшим анализом нескольких органических кислот, что господин Шеврель названным методом установил состав ряда органических веществ, что его числа всегда считаются образцом точности. Ни господин Берцелиус, ни господин Шеврель уже не пользуются теперь этим методом, и причина ясна. Для анализа семи органических кислот первый потратил 18 месяцев работы, а господин Шеврель анализом открытых им жирных тел занимался 13 лет. С помощью нашего теперешнего метода господину Берцелиусу потребовалось бы в крайнем случае 4 недели, а Шеврелю, возможно, два года вместо тринадцати. Но его преимущество не в большей точности, так как старым методом можно, как говорят, достичь большей степени точности, а в простоте и безопасности, за что новый метод ручается при той же самой точности... Успехи в органической химии немыслимы без исследований, которые охватывают в этой отрасли анализы не отдельных тел, а ряда веществ. 60, 70, 100 и более анализов не являются диковиной при этом способе работы» (цит. по [6, с. 22]).

Базируясь на своих собственных работах, а также на работах своих предшественников — Гей-Люссака и Тенара, Берцелиус попытался приложить стехиометрические законы к органическим веществам. Однако в самом начале своих исследований он столкнулся с большими трудностями. Казалось, что закон кратных отношений никак не применим к «организованным телам».

В 1810 г. Берцелиус опубликовал работу «Опыт установления кратных и простых отношений, в которых соединены друг с другом составные части неорганической природы» [7]. К этой статье имелось приложение, касающееся органических тел, где Берцелиус писал: «На первый взгляд, продукты органической природы не подчиняются тем законам, на которые я был наведен соединениями неорганизованных тел, поэтому моим намерением было в следующей статье предпринять обзор органических веществ, начав притом с самых простых, т. е. с масел и растительных кислот» [8].

В 1812 г. он говорил еще определеннее: «... продукты органической природы подчиняются тем законам, которые

распространяются на неорганические вещества. Органические тела в общем представляют соединения двух или нескольких горючих тел с кислородом... Их элементы подчинены тому же общему закону образования, что и неорганические соединения» [9].

В 1815 г. появилась большая статья Берцелиуса «Исследование определенных кратных отношений, по которым соединяются элементы органической природы» [10]. В ней описан новый метод анализа органических веществ, разработанный в 1814 г. Здесь Берцелиус впервые привел важные теоретические положения, которые легли в основу органической химии как самостоятельной науки.

Главную цель своей работы ученый сформулировал следующим образом: «После того как было исследовано большое число неорганических веществ, я решил обратиться к веществам органическим с целью определить, в какой мере законы, которые я установил в неорганической природе, могли бы быть применены к органическим веществам... Применение известных нам явлений в способе соединения элементов неорганической природы к соединениям природы органической служит нитью, посредством которой мы можем дойти до точного и последовательного объяснения, каким образом составляются тела, подчиненные влиянию жизненных отправлений» [10, т. 94, с. 10].

В 1814 г. Берцелиус, используя разработанную им методику, установил правильный состав бензойной ($6\text{H}+7\text{C}+2\text{O}$) и галловой ($6\text{H}+6\text{C}+3\text{O}$) кислот¹.

Затем он провел анализ ряда других кислот и вывел для них химические формулы; например, лимонная кислота: $\text{H}+\text{C}+\text{O}$; винная кислота $5\text{H}+4\text{C}+5\text{O}$; янтарная кислота: $4\text{H}+4\text{C}+3\text{O}$; уксусная кислота: $6\text{H}+4\text{C}+3\text{O}$; сахар $21\text{H}+12\text{C}+10\text{O}$; молочный сахар: $16\text{H}+10\text{C}+8\text{O}$; слизевая кислота: $10\text{H}+6\text{C}+8\text{O}$.

Данные, полученные при изучении элементного состава органических веществ, позволили Берцелиусу сформулировать фундаментальный вывод, что «организованные тела» представляют собой *химические соединения определенных атомов, пропорции которых подчиняются закону кратных отношений*, что в свою очередь позволяет выразить состав органических соединений химическими формулами.

¹ В те годы под кислотами понимали то, что впоследствии стали называть ангидридами кислот.

«Мы можем высказать мысль,— писал Берцелиус в 1815 г.,— что органические атомы имеют определенную механическую структуру, позволяющую отделить несколько определенных элементарных атомов без большого изменения целого... В моей статье «О причине химических пропорций» (1810 г.) я упомянул об органических веществах, разложение которых может быть с трудом объяснено корпускулярной теорией. Но мы видим, что по мере изучения органической природы эти трудности устраняются, и при настоящем состоянии наших знаний только корпускулярная теория нам позволяет объяснить удовлетворительным образом состав органических атомов» [10, т. 95, с. 90].

Этот вывод имел принципиальное значение. В химии утверждалось важное научное и методическое положение, что образование как естественных минералов, так и органических соединений растительного и животного мира, равно как и веществ, искусственно полученных в химической лаборатории, подчинено одним и тем же законам химической атомистики.

В 1820 г. Берцелиус определил эмпирический состав роданистоводородной кислоты (HSCN). В 1833 г. им был установлен правильный элементный состав спирта ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) и эфира ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$). В последующие годы Берцелиус исследовал красящее вещество ягод и листьев, хлорофилл, желчь, мочевую кислоту. Он доказал присутствие молочной кислоты в мышцах.

В 1837 г. Берцелиус вывел эмпирическую формулу глюкозы, а А. Дюбранфо в 1847—1849 гг. установил, что фруктоза ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) «идентична» глюкозе.

Закljučая этот раздел, мы можем сказать, что эпизодические работы А. Лавуазье по определению элементного состава химических соединений Я. Берцелиус превратил в *общий метод* изучения состава неорганических и органических соединений.

Изомерия

На основе многочисленных анализов состава органических соединений складывалось прочное мнение о прямой зависимости свойств соединений от их состава. Если свойства двух различных соединений различны, значит различен их состав — к такому выводу пришли многие

химики и прежде всего Берцелиус, который так долго изучал состав органических и неорганических соединений. Но с 1817 г. стали появляться факты, которые противоречили этому выводу, казалось бы совершенно очевидному.

В 1817 г. Берцелиус установил, что оловянная кислота, полученная из хлористого олова, по своему составу тождественна оловянной кислоте, которая получается окислением олова азотной кислотой. Это было первое наблюдение, приведшее впоследствии к понятию изомерии.

В 1827 г. Берцелиус впервые высказал следующее положение: «Оксиды сложных радикалов приобретают в органах живых организмов, которые их создают, собственное электрохимическое состояние, которое покоится не только на природе примененного неорганического элемента, но главным образом на своеобразной особенности живого органа, и с этой точки зрения нет ничего невозможного в том, что в органической природе могут образоваться два тела, состоящие из одних и тех же элементов и одинаковых относительных весов, но которые ни в какой мере не обладают одинаковыми свойствами» [11, с. 143].

Большая проникаемость и глубокое понимание атомистической теории позволили Берцелиусу изменить общераспространенный и, казалось бы, очевидный взгляд, что одинаковый процентный состав веществ всегда обуславливает их одинаковые свойства.

Анализируя результаты исследований Ю. Либихом солей гремучей кислоты и Ф. Вёлером солей циановой кислоты (1822—1823 гг.), Берцелиус блестяще обобщил их данные и показал, что химические соединения одинакового состава могут обладать различными свойствами.

В «Ежегодном сообщении» за 1828 г. Берцелиус, анализируя работу Вёлера по синтезу мочевины из цианистого аммония, писал, что «это наблюдение показывает, что то же число простых атомов различно распределено между собой в сложном атоме» (цит. по [2, с. 48]).

В 1830 г. Берцелиус осуществил анализ виноградной кислоты и нашел, что она имеет тот же состав, что и виннокаменная, но отличается по свойствам.

В письме к Э. Митчерлиху от 28 мая 1830 г. Берцелиус писал: «Одни и те же элементы в одинаковом количестве, но различным образом соединенные (возможно, вслед-

ствие переменного положения атомов) дают соединения с различными химическими свойствами и различных форм» [12].

Эти идеи были им окончательно сформулированы и фактически аргументированы в 1830 г. в статье, в которой Берцелиус писал: «... Недавние эксперименты показали, что как абсолютные, так и относительные числа атомов могут быть равны, но сочетание этих атомов может происходить столь различными способами, что по свойствам тела, имеющие абсолютно одинаковый состав, оказываются не похожими друг на друга. К подобному выводу мы пришли лишь постепенно. Так, несколько лет тому назад я показал, что существуют два оксида олова, имеющие одинаковый состав, но различные свойства. Вскоре после этого было открыто, что либиховская гремучая кислота и вёлеровская циановая кислота имеют одинаковый состав и одну и ту же способность насыщения» [13].

Таким образом, был установлен факт существования соединений, состоящих из одного и того же числа атомов одинаковых элементов, но расположенных различным образом и обладающих поэтому различными химическими свойствами. Такие соединения Берцелиус предложил называть *изомерными*, т. е. составленными из одинаковых частей. Вещества, имеющие одинаковый качественный и количественный состав, но различный молекулярный вес (вес сложного атома по Берцелиусу), названы им *полимерными*, а само явление *полимерией*.

Значение открытия изомерии заключается в том, что оно поставило на повестку дня вопрос о внутреннем строении органических соединений. Это открытие прямо указывало, что химические и физические свойства соединений зависят не только от количества атомов и их числа, но и от внутреннего расположения атомов. «Органическая химия,— писал Либих Берцелиусу 8 сентября 1831 г.,— приобретает теперь все больший интерес с тех пор, как Вы дали богатый источник для исследований и обсуждений своими работами о виноградной и винной кислотах».

«Заслуга Берцелиуса,— по авторитетному мнению В. В. Марковникова,— состоит в том, что он первый дал научное объяснение изомерии, указав на возможность различной группировки атомов как на причину самого явления» [14].

Эти новые представления имели огромное значение для дальнейшего развития органической химии. Чтобы

сказать о том, насколько они оказались плодотворными, достаточно напомнить о работах А. М. Бутлерова — автора теории химического строения, а также Ж. А. Ле Беля и Я. Г. Вант-Гоффа — основоположников стереохимии.

Теория сложных радикалов

Когда в органической химии оправдались стехиометрические законы и законы химической атомистики, тогда естественно было предположить, что в органической химии, так же как в неорганической, есть свои «элементы» — радикалы.

Уже Лавуазье рассматривал органические соединения как оксиды радикалов, состоявших по меньшей мере из двух элементов. Берцелиус считал, что основное различие в составе неорганических и органических тел заключается в том, что первые содержат простые, а вторые сложные радикалы.

Под сложным радикалом Берцелиус понимал атомные группы, способные переходить из одного соединения в другое без изменения и соединяться с различными элементами как одно целое. В растительных веществах радикал обычно образован из углерода и водорода, в животных же — из углерода, водорода и азота. Если радикал — «элемент» органической химии, то он не должен быть окисленным, поэтому он не может содержать атом кислорода. Следовательно, органические соединения — это оксиды сложных радикалов: C_2H_6+O (этиловый спирт), $C_4H_{10}+O$ (эфир) и т. д.

В «неорганической химии», — писал Берцелиус, — согласились считать все соединения бинарными, т. е. образовавшимися из одной положительной и одной отрицательной составных частей. Пока мы знаем лишь эти две силы и противоположности, мы невольно должны будем исходить и в отношении состава органических веществ из тех же групп» (цит. по [2, с. 56]).

Берцелиус был не одинок, высказывая такую точку зрения. Либих, например, также считал, что «...в органической природе должны лишь повторяться принципы неорганической природы., но в модификациях столь же многообразных, как и сама природа» [там же].

В течение ряда лет Берцелиус пользовался теорией «этерина». Само название «этерин» было предложено

Берцелиусом в качестве понятия общей составной части спирта, эфира и сложных эфиров. Согласно теории «этерина», маслородный газ (этилен) является составной частью многих органических соединений. По аналогии с неорганическими соединениями «этерин» является как бы основанием, с которым могут соединяться кислота и вода. Простота этой теории, с которой в ней рассматривается большой класс органических соединений, дала повод для всеобщего ее признания. Однако несмотря на это Берцелиус по ряду обстоятельств был вынужден отказаться от нее. Во-первых, она противоречила основной идее Берцелиуса, что органические соединения представляют оксиды сложных радикалов. Во-вторых, он чувствовал ограниченность этой теории, приложимой лишь к узкому классу соединений.

Оставив теорию «этерина», Берцелиус полностью переключился на теорию сложных радикалов. Основное положение теории сложных радикалов Берцелиуса — полярность органических соединений, при этом кислород является электроотрицательной частью, а сам радикал — положительной [15].

С большой радостью была встречена Берцелиусом в 1832 г. работа Ю. Либиха и Ф. Вёлера «Исследование радикала бензойной кислоты» [16]. Немецкие химики показали, что в ряде химических превращений происходит переход одного и того же радикала «бензоила» $C_{14}H_{10}O_2$ (т. е. C_7H_5O). Либих и Вёлер сообщили Берцелиусу важнейшие результаты своих исследований, так что ответ шведского химика мог быть помещен рядом с их статьей. Он писал: «Установленные Вами факты открывают такие горизонты, что с них можно смело считать начало новой эры в растительной химии, поэтому я предложил бы первый открытый радикал, состоящий более чем из двух веществ, назвать проином (начало дня)... или ортрином (утренний рассвет)» [17].

В своем «Ежегодном сообщении» за 1833 г. Берцелиус, упоминая о новом радикале бензоиле, пишет, что он ведет себя аналогично простому телу; что он является новичком среди радикалов, ряд которых до сих пор ограничивался только аммонием, цианом и роданом. Число этих веществ, по мнению Берцелиуса, должно было умножиться в ближайшем будущем.

Когда дни восторга работой Либиха и Вёлера прошли, наступило время спокойно взвесить открытие кислородсо-



Якоб Берцелиус

державшего радикала бензоила и осознать, что это открытие противоречит теории сложных радикалов.

В своих представлениях о существовании сложных радикалов Берцелиус опирался на традиционное в то время мнение, что если в неорганической химии кислород играет главенствующую роль, то и в органической химии ему принадлежит та же роль. Если так, то органические вещества следует рассматривать как оксиды некоторых органических радикалов.

Поэтому он предлагает выражать состав радикала бензоила не как $C_{14}H_{10}O_2$, а как $C_{14}H_{10} + O_2$, т. е. подчинить его состав электрохимическому дуализму.

В письме к Либиху (1833) Берцелиус писал: «В общем случае, по-видимому, возникает из эксперимента идея о составе органических соединений, основывающаяся лучше всего на сравнении с неорганическими соединениями. Здесь мы едины в том, что соединение должно быть бинарным, т. е. возникать из положительной и отрицательной составных частей. Поскольку мы имеем только эти две части, постольку мы должны принять их и для органических соединений»².

Наступает 1835 г.— вершина творческих представлений Берцелиуса о составе и строении органических соединений. В «Ежегодных сообщениях» за этот год ученый высказывает удивительные по своей глубине мысли, что в «каждом теле имеется определенный порядок размещения атомов, без чего эти тела не имели бы тех свойств, которыми они обладают. До тех пор пока простые атомы остаются взаимно связанными, в сложных атомах, очевидно, отсутствуют те тела, из соединения которых они образовались или на которые они могут быть разложены. Тот факт, что эти сложные тела все же вновь выделяют-ся как таковые, а некоторые из них при особых обстоятельствах могут быть даже выделены путем замены на другие, покоится на относительном расположении атомов» (цит. по [2, с. 58—59]). Здесь мы находимся у истоков учения о взаимной связи атомов и теории химического строения органических соединений. В середине 1830-х годов, однако, еще не созрели условия для реализации и конкретного подтверждения мыслей, высказанных Берцелиусом. Основные усилия ученых в то время были направлены на изучение различных радикалов. Либих в

² См. Приложение 2, с. 282—284.

1834 г. говорил, что «эфир должен считаться первым оксидом сложного радикала $C_4H_{10}O$ », что когда-нибудь удастся выделить в свободном состоянии углеводородный радикал C_4H_{10} ($2C_2H_5$) — этил. В 1835 г. Ж.-Б. Дюма и Е. Пелиго сообщили, что в метиловом спирте содержится радикал метилен CN_2 , или C_2H_4 , а в этиловом спирте радикал CN_3 , или C_2H_6 , названный Берцелиусом метилом.

В 1837 г. появилась статья Либиха и Дюма «О современном состоянии органической химии», в которой авторы заявляли, что вместе со своими учениками будут заниматься изучением радикалов, так как, по их мнению, «циан, амид, бензол, радикалы аммиака, жиров, алкоголя и его производных образуют истинные элементы органической природы, тогда как простейшие составные части — углерод, водород, кислород и азот обнаруживаются лишь при разрушении органической материи» [18]. Последняя фраза не могла не задеть Берцелиуса, который за два года до этого говорил совершенно иное.

Для осуществления своего большого плана Дюма и Либих, по словам Э. Гьельта, «хотели собрать вокруг себя все силы. Дюма поручился за Францию, Либих — за Северную Европу; Британская Ассоциация обещала свою помощь. Берцелиус не был принят во внимание. Он встретил эту коалицию холодно и иронически» (цит. по [2, с. 64]). В письме к Либиху он писал: «Ваше примирение с Дюма меня обрадовало, ибо мастера науки должны быть друзьями» [там же].

Но друзьями Дюма и Либих не стали. В конце 30-х годов появились работы Дюма, которые еще больше разобщили его с Либихом и Берцелиусом.

В 1839 г. Берцелиус опубликовал статью «О некоторых текущих вопросах органической химии» [19], в которой была изложена сущность теории сложных радикалов. Здесь Берцелиус подробно говорил о природе сложных радикалов и считал, что они могут быть как двойными, так и тройными. Первые состоят либо из углерода и водорода, либо из углерода и азота, вторые — из комбинации этих элементов, но так, что не нарушаются основы электрохимического дуализма органических соединений. Кислород и сера не могут быть составными частями органических радикалов.

В этой статье Берцелиус уже не придавал сложным радикалам того абсолютного значения, какое он приписывал им раньше. Теперь он считал, что радикалы,

входящие в состав органического соединения, не являются замкнутой группой в этом соединении и что силы химического сродства могут привести к ослаблению связей внутри сложного радикала и привести в конце концов к образованию новых атомных групп. Эти верные суждения не были приняты во внимание. О. Лоран, выступивший с критикой теории сложных радикалов, настойчиво требовал от Берцелиуса, чтобы он «показал хотя бы один из своих радикалов», выделив его в свободном состоянии [20]. Берцелиус ответил: «Мы еще никогда не видели фтора в свободном состоянии и все же не сомневаемся в его существовании, потому что мы можем переводить его из одного соединения в другое.

То же делаем мы и с этилом, метилом, бензоилом, ацетилом, формилом, которые встречаются связанными то с кислородом, то с серой, то с галоидами и которые при надлежащих условиях могут переходить из одного из этих соединений в другое... Причина невозможности получения радикалов органических оксидов в изолированном состоянии заключается не в том, что они не могут существовать, а в том, что имеющиеся в настоящее время в нашем распоряжении пути для их выделения приводят в действие сродства между отдельными элементами этих радикалов; органический оксид при этом видоизменяется, образуются иные оксиды из сложных и простых радикалов. Случай когда-нибудь укажет нам пути для восстановления и изолирования сложных радикалов» (цит. по [2, с. 65]). Мы знаем, что это блестящее предвидение полностью подтвердилось. Химики XX в. выделили много свободных радикалов³.

В укреплении взглядов Берцелиуса на радикалы большую роль сыграли исследования Р. Бунзена мышьякорганических соединений. В 1841 г. Бунзен получил в свободном состоянии радикал какодил. Берцелиус был особенно рад появлению работы Бунзена. В своем «Ежегодном сообщении» он писал: «Едва ли возможно более строгое доказательство правильности, согласно которому органические вещества рассматриваются как соединения сложных радикалов с простыми электроотрицательными телами; такого до мелочей осуществимого примера сложного радикала мы еще не имели, если не считать циана...» [21].

³ В 1929—1934 гг. Ф. Пенету, Ф. Райсу с сотрудниками удалось обнаружить свободные метиловые и этиловые радикалы.

Берцелиус указал Бунзену, что выделенному им веществу следует приписать формулу $C_4H_{12}As_2O$ и назвать оксидом какодила.

В связи с открытием какодила Берцелиус писал Вёлеру: «Это — триумфальная колесница, переезжающая через шаткие теоретические баррикады Дюма и разрушающая их» (цит. по [2, с. 67]). Однако этого не случилось при всем желании шведского ученого. Более того, «теоретические баррикады Дюма» все выше поднимались между теорией сложных радикалов и новыми экспериментальными и теоретическими работами по органической химии.

В конце 1830-х годов Дюма и Лоран открыли явление замещения водорода в углеводородных радикалах на хлор. Это явление, получившее название «металепсии» или замещения, полностью противоречило представлениям Берцелиуса. «Дюма осмелился напасть, — писал А. Вюрц, — на самые заветные идеи великого представителя дуализма и автора электрохимической теории. Дюма осмелился нанести первый удар этой теории и вышел победителем из тяжелой борьбы, исход которой представлялся в начале совершенно безнадежным» [22].

Открытие Дюма не было сразу признано химиками, лишь немногие из них были согласны с теорией замещения. Большинство же, следуя за Берцелиусом, считало, что замена водорода хлором в органических соединениях не представляется возможным. Как можно допустить, говорили они, чтобы хлор, заряженный отрицательно, играл в органических соединениях роль водорода, заряженного положительно. Однако открытие Дюма в 1839 г. трихлоруксусной кислоты убедило большую часть химиков, что электроотрицательный элемент (хлор) может замещать электроположительный водород.

В 1839 г. Дюма бросил вызов электрохимической теории Берцелиуса. Он писал: «Эта кислота (трихлоруксусная. — Авт.) представляет собой охлоренный уксус и замечательная вещь, по крайней мере замечательная для тех, кто отрицает способность хлора замещать водород (в точном и широком значении слова замещать), этот охлоренный уксус представляет собою кислоту, совершенно подобную обыкновенному уксусу... Часть водорода уксусной кислоты вытеснена и замещена хлором, и кислота испытала от столь странного замещения лишь незначительное изменение в своих физических свойствах. Все существенные свойства остались неизменными...

Ясно, что, останавливаясь на этом положении, прямо выведенном из фактов, я не принял во внимание электрохимическую теорию, на которой Берцелиус основал свои воззрения. Я не принял тех идей его, которые знаменитый химик старается сделать руководящими. Но я могу спросить: разве электрохимическая теория и особенная популярность, которую считают свойством элементарных атомов, подтверждаются столь очевидными фактами, что приходится возвести эти теории в символ веры для химиков? Если же к ним должно относиться как к гипотезе, то можно опять спросить, насколько гипотезы эти связываются с фактами и объясняют их? И наконец, с какой достоверностью они могут предсказывать факты, иначе говоря, всегда ли следует пользоваться и руководствоваться ими при химических исследованиях? Нет! Должно согласиться, что они не представляют собой ничего подобного» [22, с. 37]. Напоминая о своих экспериментальных работах, Дюма писал: «Факты, которые были открыты мною, не согласуются с электрохимической теорией Берцелиуса, который хочет, чтобы водород был всегда положительным, а хлор всегда отрицательным, в то время как мы видим, они замещают друг друга и играют одинаковую роль» (цит. по [2, с. 80]). Это было нападение, которое, как удачно выразился один автор, «несколько отдавало уксусной кислотой».

В этих высказываниях Дюма Берцелиус встретил сильную оппозицию против электрохимической теории и всей дуалистической системы. Берцелиус решил защищаться до конца, он не мог отрицать фактов, но старался объяснить их с позиций своей теории. Берцелиус повел борьбу с теми учеными, которые отрицали дуализм и электрохимическую теорию. Он критиковал работы Дюма и Лорана по теории замещения [23].

В теории Берцелиуса электрохимическому характеру элементов приписывалось такое большое влияние, что если в каком-нибудь соединении, содержащем органический радикал, хлор или иод вступали в радикал на место водорода, то прежняя группировка атомов непременно должна была уничтожиться и должен был образоваться новый род соединения с совершенно иным радикалом.

Примечателен тот факт, что в ранние годы Берцелиус считал, что положительный водород может стать отрицательным. В 1818 г. он, например, писал, что водород, по видимому, может соединяться с калием как электроотри-

дательный элемент. Он также принимал, что сера из серной кислоты, в которой она электроположительна, может быть удалена при посредстве еще более положительных тел, но из сернистого свинца, в котором она электроотрицательна, она может быть удалена лишь при помощи тел, которые еще более отрицательны, чем сера. Равным образом азот электроположителен в азотной кислоте, но электроотрицателен в аммиаке. Однако позднее Берцелиус уже настойчиво отстаивал представление о неизменяемости электрического состояния атомов. В 1838 г. в письме к Т. Пелузу он писал, что такой электроотрицательный элемент, как хлор, никогда не может войти в состав органического радикала — эта идея противоречит основным принципам электрохимической теории.

Идея замещения положительного водорода отрицательным хлором без существенного изменения свойств вещества, таким образом, была совершенно неприемлема для автора электрохимической теории.

В 1820—1830-е годы при большом влиянии исследований Берцелиуса в химии утверждается старое представление, что элементы, простые и сложные радикалы находятся в химическом соединении со всеми теми свойствами, которые принадлежали им в свободном состоянии. Следствием такого представления был вывод, что в соединении взаимно могут замещаться только те атомы, которые сходны по своим химическим свойствам. Если бы Берцелиус нашел в себе силу отказаться от традиционного представления и принял бы положение, что свойства элемента, входящего в состав определенного соединения, изменяются под влиянием других составных частей этого соединения, то электрохимическая теория не была бы поколеблена исследованиями Дюма над хлорзамещенными продуктами уксусной кислоты.

Под давлением новых фактов, подтверждающих явление замещения, Берцелиусу пришлось делать одну за другой уступки. Он видоизменил свои представления о природе радикалов, предлагал различные формулы, например, для хлоруксусной кислоты $C_2Cl_6 + C_2O_3 + H_2O$.

В 1843 г. Берцелиус предложил гипотезу парных соединений, согласно которой кислоты представлялись соединениями щавелевой кислоты с углеводородами. Это ошибочная гипотеза — последняя попытка шведского ученого спасти дуалистические представления в органической химии и согласовать их с явлением металепсии.

Дюма по этому поводу писал: «Хлоруксусная кислота становится у Берцелиуса соединением щавелевой кислоты и хлористого углеводорода — формула ничем не оправданная, ибо в этом случае она под действием едкого кали должна была бы дать хлористый калий и щавелевокислый калий, в то время как по нашим опытам она в действительности дает угольную кислоту и хлороформ» [24].

Так случилось, что в конце 1830-х и начале 1840-х годов Берцелиус как автор «Ежегодных сообщений» волей-неволей вступил в полемику, острота которой нарастала с каждым годом.

Разумеется, критические выступления Берцелиуса сыграли определенную роль в развитии химии. Но, может быть, наука выиграла бы больше, если бы вместо словесной баталий Берцелиус занялся разработкой тех идей о строении органических соединений, которые он высказал в 1830—1835 гг. Оставаться, однако, безразличным к теоретическим взглядам Дюма и Лорана и их нападкам на электрохимическую теорию и теорию радикалов Берцелиус не мог, ибо речь шла, по его мнению, о принципиальном вопросе — путях развития науки и ее основных принципах. Он искренне был убежден в том, что взгляды его противников уже потому не могут быть верны, что их нельзя согласовать с электрохимической теорией.

Изложив выводы Дюма, которые ниспровергали электрохимическую теорию, Берцелиус отмечал: «В наше время химическая теория органических соединений еще только возникает; если вместо того, чтобы позволить ей развиваться по мере того, как распространяется наша опытность, станут основывать ее на фактах отдельных, рассматриваемых без всякого отношения к системе наших знаний вообще, станут давать им объяснения, не заботясь о согласии с началами науки, и если сверх того станут заключать, что этот недостаток согласия должен вести к отрицанию этих начал как ложных, то никогда не найдут истину. Вот почти все, что я считал необходимым сказать при этом случае в защиту электрохимических идей» [23].

«Мы должны последовательно идти, опираясь в исследованиях на известные уже нам законы природы и на уже установленные отношения и никогда не гнаться за совершенно новыми принципами или способами объяснения» (цит. по [2, с. 88]).

Можно было понять предостережение Берцелиуса от поспешности в науке, но нельзя было принять и тем более следовать его призыву отказаться от выдвижения новых теорий и принципов для обобщения и объяснения новых фактов.

Органическая химия 1840-х годов была уже далеко не той, какой она была в 1820-х годах, когда шведский ученый наводил в ней порядок. Органическая химия 1840-х годов постепенно, но верно становилась химией углерода со своими законами и принципами, отличающимися от законов и принципов неорганической химии. Поэтому все попытки Берцелиуса остановить развитие органической химии на уровне своих электрохимических представлений не могли увенчаться успехом⁴.

Представления Берцелиуса о «жизненной силе» и его отношение к синтезу органических соединений

Имея дело главным образом с органическими веществами растительного и животного происхождения, Берцелиус отчетливо понимал, что «организованные тела» — это особый вид материи, образованный в результате действия не столько электрохимических, сколько «жизненных» сил. Именно эти силы, как считал ученый, проявляют специфическую способность из весьма ограниченного набора элементов (кислород, водород, углерод, азот, иногда фтор, сера и др.)⁵ создавать бесчисленное множество органических соединений.

В 1818 г. Берцелиус писал: «В органической природе законы соединения элементарных атомов носят совсем другой характер в том смысле, что они допускают такое большое разнообразие в количественных соединительных отношениях... В органической природе число соединений доходит до бесконечности; между ними и соединениями неорганической природы нельзя найти нечто аналогичное» [15, с. 143].

⁴ Либих писал Вёлеру: «Берцелиус сражается за проигранное дело и, вопреки своей натуре, лишь одним пером...» [25].

⁵ По современным данным, живая материя нуждается в 22 химических элементах из 100, имеющих в земной коре, причем у большинства организмов на четыре элемента — углерод, водород, азот и кислород — приходится 99% общей массы.

На вопрос, почему только немногие элементы принимают участие в образовании органических соединений, Берцелиус не мог дать ответа. Более того, он считал, что эта загадка природы вообще никогда не будет разгадана. Роль углерода в образовании органических соединений была совершенно не ясна Берцелиусу. Он придавал решающее значение жизненной силе, под действием которой происходит формирование из неорганических элементов органического вещества.

Указывая на невозможность синтеза органических веществ искусственным путем, Берцелиус подчеркивал, что только «живое тело»⁶ является источником этого класса веществ. Большое значение Берцелиус придавал понятию «живой природы», в которое он включал не только растительный и животный мир («живые тела»), но и продукты и остатки их жизнедеятельности. Химизм «живой природы», по мнению Берцелиуса, и изучает органическая химия. Мастерской химических органических процессов является «живое тело», инструментами — его органы. Поэтому «живая природа» носит название органической, а раздел науки, изучающий химические свойства «живой материи», — органической химией. Таким образом, центр тяжести в понятии органической химии переносился на исследование проявлений жизни в «живой природе». Химия самих органических веществ была на втором плане.

Берцелиусу не была ясна роль атома углерода в образовании органических соединений. Отсюда понятны причины, почему он не искал решения загадки органических соединений в тех элементах, из которых оно образовано. Он придерживался иного мнения, что в формировании органического вещества принимает участие жизненная сила, которая является главной причиной резкого различия органических и неорганических веществ. В своем «Учебнике химии» Берцелиус писал, что «...существо живого тела заключается не в его неорганических элементах, а в чем-то другом, что в состоянии склонить неорганические, общие для всех живых тел элементы к осуществлению определенных, своеобразных для каждого рода результатов...»

Это нечто, называемое Берцелиусом жизненной силой, «целиком лежит вне неорганических элементов и не явля-

⁶ Под «живым телом» Берцелиус понимал живой организм или орган.

ется одним из первоначальных свойств, как все, непроницаемость, электрическая полярность и т. п.; что оно собой представляет, где его начало и где конец,— мы не знаем» [11, с. 136—137].

Берцелиус, однако, не был столь ортодоксальным виталистом, чтобы говорить о «жизненной силе» как о божественной, сверхъестественной. В одной из своих ранних работ (1814) Берцелиус писал: «Жизненная сила не является ни составной частью нашего тела, ни его механической частью, ни чистой силой, а проявлением взаимодействия химических и механических составных частей тела — проявлением, которое изменяется в зависимости от механической и химической деятельности тела и исчезает полностью при малейших изменениях и нарушениях... Эта известная причина явлений жизни помещается главным образом в определенной части животных тел, в нервной системе, действие которой в основном одно и то же с действием жизненной силы. *Мозг и нервы полностью определяют химические процессы в животных телах...* (курсив наш.— Авт.).

Наши глубочайшие химические исследования и тончайшие открытия новейшего времени не дают объяснения об этом предмете. Ничто, чему научила до сих пор нас химия, не имеет ни малейшего сходства с действиями нервной системы...» [26].

Подчеркнем, что эти по праву замечательные слова прозорливого ученого-мыслителя были написаны в 1814 г.!

С самого начала своей научной деятельности Берцелиус выступал за то, чтобы в самих химических и физических свойствах органических веществ были найдены основы для объяснения их своеобразного поведения. Как мы уже видели, в 1810 г. он хотел найти их в стехиометрических отношениях органических веществ. В более поздних высказываниях Берцелиус под «жизненной силой» понимал «игру обычных природных сил».

Ведь было уже тогда совершенно очевидно, что если образование сложных органических веществ из элементов или из простых неорганических веществ в процессе химической реакции обусловлено химическим взаимодействием (сродством), то нет никакой причины приписывать такое же действие особой силе только потому, что этот процесс совершается в организме. Приведем отрывок из статьи Берцелиуса «О некоторых текущих вопросах органической химии» (1839):

«О жизненных явлениях,— писал ученый,— полагают, что они базируются на своеобразной, чуждой неорганической природе, силе, называемой жизненной силой. В самом деле, в живой природе физические и химические явления протекают сами собой, и они столь отличны от таких же явлений в неорганической природе, что, казалось бы, могут оправдать такого рода объяснение. Но если мы исследуем подробности действия этой силы, мы увидим в них игру обычных природных сил... Следовательно, нам остается лишь найти... в самих органических процессах те своеобразные условия, при которых в них действуют общие природные силы. Но те же силы предполагают наличие одних и тех же законов природы. Отсюда следует, что наши знания о законах соединения элементов в неорганической природе должны быть целиком применены и к соединениям этих элементов в органической природе» [19].

К моменту завершения своих обобщающих работ по органической химии (конец 1820-х годов) Берцелиус, однако, не располагал данными, которые убедили бы его в возможности синтеза органических соединений в искусственных условиях [27]. Работы Вёлера [28, 29] по термическому превращению цианата аммония в мочевины $\text{NH}_4\text{OCN} \rightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2$ он не считал решающим экспериментом, доказывающим возможность органического синтеза⁷.

В 1827 г. Вёлер писал Берцелиусу: «Я должен Вам заявить, что могу делать мочевины, не нуждаясь при этом в почках и вообще в животном, будь это человек или собака». Затем он добавляет: «Можно ли рассматривать это искусственное получение мочевины как пример образования органического вещества из неорганических? Поразительно, что для получения циановой кислоты (так же как и аммиака) все же всегда необходимо иметь вначале органическую субстанцию, и натурфилософ может сказать, что органическое начало еще не исчезло как из животного угля, так и из образовавшихся из него цианистых соединений и что поэтому из этих тел можно еще раз получить органическое вещество» [30].

В своем ответном письме Берцелиус не дал прямого ответа на поставленный вопрос, он лишь поздравил Вёлера с «весьма важным и солидным открытием».

⁷ В этом превращении Берцелиус видел только, что «то же число простых атомов различно распределено между собой в сложном атоме» [2, с. 48].

Несколько позднее, в 1829 г., он писал в очередном «Ежегодном сообщении», что искусственное получение мочевины является одним из интереснейших открытий в области животной химии [31].

Роль в этом процессе жизненной силы, о которой говорил Вёлер в своем письме, Берцелиус, по-видимому, отрицал. Мочевина вполне могла быть отнесена к тем веществам, которые, по его выражению, являются промежуточными между органическими и неорганическими. Еще в 1827 г. Берцелиус писал по поводу этих веществ: «Если бы мы в будущем даже и открыли несколько таких продуктов из чисто неорганической материи вполне аналогичного с органическими продуктами состава, то это несовершенное подражание все же было бы слишком незначительным для того, чтобы мы могли решиться на искусственное создание органических веществ и надеяться на подтверждение анализа синтезом, как это в большинстве случаев удается для неорганической природы» [11, с. 147].

Граница между веществами, вырабатываемыми организмом и веществами неорганической природы, в представлениях Берцелиуса не разрушилась в результате работ Вёлера по «синтезу» мочевины, потому что «искусство не может соединять элементы неорганической природы по типу живой природы... ни разу не удалось получить из неорганических элементов ни щавелевую, ни уксусную, ни яблочную кислоты путем непосредственного соединения их элементов» (цит. по [2, с. 37]).

Только много лет спустя в 1845 г. Г. Кольбе осуществил первый полный синтез органического соединения (уксусной кислоты) из элементов. Но граница, в какой-то мере тормозящая развитие синтеза, полностью исчезла только в результате работ М. Бертло.

В статье «О некоторых текущих вопросах органической химии» Берцелиус прямо указывал, что «общие природные силы» должны объяснить свойства органических веществ. «Оказывается, что одна единственная всеобщая жизненная сила недостаточна для наших объяснений,— писал ученый. — Следовательно, нам остается лишь найти в самих органических процессах те своеобразные условия, при которых в них действуют общие природные силы. Но те же силы предполагают наличие одних и тех же законов природы. Отсюда следует, что наши знания о законах соединения элементов в неорганической природе должны

быть целиком применимы и к соединениям этих элементов в органической природе» [19].

В 1834—1835 гг. Берцелиус заинтересовался «активной при образовании органических соединений силой, на которую до сего времени мало обращали внимания». Он высказал надежду, что изучение проявления этой силы, названной им «каталитической», поможет проникнуть в химизм процессов, протекающих в организме.

К концу жизни Берцелиуса органическая химия заняла лидирующее положение в химии. На материале органической химии возродилась и окрепла молекулярная теория Авогадро, возникла теория валентности. Учения, разработанные в органической химии (особенно учение об изомерии и о взаимном влиянии атомов в молекуле), оказали огромное влияние на развитие всей химии.

Я. Берцелиус имел все основания сказать в 1839 г., что «химическое изучение органической природы стало одним из интереснейших предметов естествознания, любимейшим занятием большинства химиков». Далее он писал: «Успехи поразительны. Рост наших знаний в этой области в течение последних 10—12 лет таков, что органическая химия стала значительно более обширной и объемистой наукой, чем вся несравненно более разработанная неорганическая химия. А сколько еще неисследованного в области известных нам органических тел, сколько еще предстоит открыть из того, что неизвестно сейчас» (цит. по [2, с. 17]).

Катализ

При составлении «Ежегодных сообщений» Я. Берцелиус еще в 1820-е годы обратил внимание на работы К. С. Кирхгофа, Г. Дэви, Л. Тенара, И. Деберейнера, в которых описывались процессы, «в высшей степени странные и стоящие в противоречии с обыкновенными химическими явлениями» [1, с. 33—34]. Своеобразие этих процессов заключалось в том, что в присутствии платины происходило разложение перекиси водорода, платиновая губка при обыкновенной температуре зажигала гремучий газ. В 1824 г. в 4-м выпуске «Ежегодных сообщений» Берцелиус впервые в осторожной форме высказал предположение, что эти явления требуют особого объяснения, которого он пока не в силах дать [2].

За десятилетие, с 1824 по 1834 г., появилось большое число работ, в которых сообщались новые фактические данные о своеобразном поведении платины и других металлов в некоторых химических реакциях. Берцелиус внимательно следил за результатами этих работ. Он предположил, что здесь имеется какая-то общая закономерность. Это предположение переросло в уверенность после работы Э. Митчерлиха по изучению процесса образования эфира из спирта с участием серной кислоты [3].

В 1835 г. в 15-м выпуске «Ежегодных сообщений» Берцелиус опубликовал одну «из тех гениальных сводок, в которых обыкновенно подводились под одну общую точку зрения разбросанные отдельные факты и вводились в науку новые понятия» [4, с. 211].

Умелой рукой систематика Берцелиус объединил своеобразные контактные действия платины с такими же своеобразными действиями ферментов, установив между ними аналогию [5].

В 1836 г. появилась статья Берцелиуса «Некоторые соображения о до сих пор еще не познанной силе, действующей при образовании органических соединений в живой природе» [6]. Прежде чем говорить о значении этой работы, проследим ход рассуждений ученого, приведший

Берцелиуса к замечательному обобщению. Загадка странных процессов заключалась в том, что вещества, вызывающие химическое превращение, сами при этом оставались неизменными. На примере открытого Кирхгофом в 1811 г. превращения крахмала в сахар под влиянием разбавленной серной кислоты Берцелиус убедился, что в этом процессе не происходит «нейтрализации электрических отношений» участвующих компонентов реакции. Если в этих процессах не участвуют силы химического сродства, то, по мнению Берцелиуса, вещество обладает «внутренне присущей ему силой», природу которой предстояло выяснить. Сказать о существовании неизвестной «новой силы» — еще не значило объяснить загадочный круг явлений. Чтобы сразу снять недоумение, Берцелиус поясняет: «Если я называю ее новой силой, то ни в коем случае у меня не является мысли объявить ее состояние независимым от электрохимических соотношений материи; наоборот, я могу предположить, что она является одним из их проявлений¹. Однако до тех пор, пока их взаимное соотношение остается для нас скрытым, наши исследования облегчаются, если мы эту силу будем рассматривать как таковую, также и наши рассуждения упростятся, если мы будем иметь для нее собственное имя. Поэтому я назову ее ... *каталигической силой тел*, а распадение при ее помощи — *катализом*» (цит. по [7, с. 69]).

Далее Берцелиус поясняет причину действия «каталигически активных тел». «Каталигическая сила, кажется, собственно заключается в том, что благодаря одному ее присутствию, а не благодаря ее сродству могут пробуждаться дремлющие при этой температуре сродства, а вследствие влияния последних элементов сложного тела перегруппировываются в другие соотношения» [там же]. Это общее положение предстояло конкретизировать. В качестве программы для будущих исследований ученых выдвигает такой вопрос: «Могут ли неодинаковым образом каталигированные тела вызвать у некоторого сложного тела различные каталигические продукты?» (цит. по [7, с. 69—70]).

Необходимо было также выяснить специфическое действие катализаторов. Берцелиус сформулировал этот воп-

¹ В 1847 г. в последнем издании своего «Учебника химии» Берцелиус вновь подчеркнул, что «каталигическая сила» основана на возбужденных электрических соотношениях [7, с. 72].

рос таким образом: «Действуют ли тела каталитической силы на очень большое число сложных тел или они, как это в настоящее время пока кажется, катализируют лишь некоторые тела, не действуя на другие?» (цит. по [7, с. 70]).

С присущей ему пронизательностью Берцелиус подметил аналогию в действии катализаторов как в процессах, совершающихся в неорганической природе, так и в органическом мире.

Не без основания Берцелиус искал в каталитических явлениях ключ для объяснения природы сложных биохимических процессов, происходящих и в растениях, и в организмах животных. Вот почему он указывал на жизненно важную роль катализа в органической природе. Берцелиус считал, что каталитической силе предоставлена здесь значительно более широкая деятельность, чем в химических явлениях неорганического мира. Эта сила, по его словам, должна играть в природе роль, гораздо более важную, чем до сего времени смели думать.

Предугадывая огромное значение каталитических реакций для биологической химии, Берцелиус писал: «Если мы обратимся теперь с этой идеей к химическим процессам в живой природе, то перед нами открывается совершенно новый источник света. Когда мы видим, как природа откладывает диастаз в глазках картофеля...то мы познаем тот способ, которым нерастворимый крахмал при помощи каталитической силы превращается в гумми и сахар... Отсюда, однако, еще не следует, что этот каталитический процесс должен быть единственным в жизни растений, наоборот, благодаря этому мы получаем обоснованный повод думать, что в живых растениях и животных происходят тысячи каталитических процессов² между тканями и жидкостями и вызывают множество неодинаковых химических соединений». И далее: «Мы убедились на опыте, — подчеркивал Берцелиус, — что превращение сахара в углекислоту и спирт, которое совершается при брожении под влиянием нерастворимого тела, известного под

² Известно, что в настоящее время исследования в области биоорганической химии подтвердили эту мысль Берцелиуса. Действительно, в живой клетке непрерывно протекают тысячи различных химических реакций, обеспечивающих ее существование и развитие. Выделены и изучены сотни разнообразных ферментов, которые содержатся в клетке и обуславливают ее жизнедеятельность [8].

названием «фермент», не может быть объяснено действием, подобным двойному разложению между сахаром и ферментом. Но *при сравнении* (курсив наш. — Авт.) с известными в неорганической природе отношениями оно ни с одним из них не обнаруживает такого большого сходства, как с разложением перекиси водорода под влиянием платины, серебра и фибрина. Являлось весьма естественным предположить для фермента аналогичное действие» (цит. по [7, с. 240]).

Таковы были основные положения, высказанные Берцелиусом. Можно с уверенностью сказать, что в 1835 г. открылась новая страница в учении о катализе [9].

Обобщение, сделанное Берцелиусом, было равнозначно открытию. Неслучайно оно привлекло к себе пристальное внимание многих ученых. Широкий интерес к учению Берцелиуса о катализе был вызван резкой критикой Ю. Либихом представлений Берцелиуса о катализе. Либих был совершенно неправ, когда писал: «Принятие этой новой силы (каталитической. — Авт.) невыгодно для развития науки, так как оно, по-видимому, примиряет человеческий дух и, таким образом, ставит предел дальнейшим исследованиям» (цит. по [7, с. 79]). Напротив, обобщение Берцелиуса не только не «ставило предел», а открывало перспективу для дальнейших исследований, в частности тех программных вопросов, которые выдвинул шведский ученый.

Ф. Вёлер осуждал Либиха за его резкую критику работ Берцелиуса по катализу. 30 мая 1837 г. Вёлер писал Либиху: «...Нельзя столь резко, по моему мнению, высказывать свое несогласие, тем более в отношении человека, который столько внес в развитие науки, работы которого заложили фундамент для дальнейшего созидания, которым занимается теперешнее более юное поколение; если такому человеку сказать, что теперь он в развитии науки действует убыточно, то это не может быть истолковано тем, кому он это говорит, ни как учтивость, ни как своего рода требование науки, хотя бы он и имел на это полное право. К тому же я убежден, что если ты еще раз внимательно прочитаешь положение Берцелиуса о катализе (в «Ежегодном сообщении»), то ты найдешь, что он вкладывает в него и желает не больше, чем мы, полагая, что он хотел бы дать только обозначение для группы явлений, которые для нас до сих пор непонятны, и что он не думает, как и мы, о новой особой силе. Я ставлю это

опять в заслугу ему, что он всю эту историю рассматривает с общей точки зрения и благодаря этому старается привлечь внимание и вызвать ажиотаж, чтобы найти истинную причину. И следовательно, на мой взгляд, этим самым он ничуть не «ограничил дальнейшие исследования», как ты его в этом упрекнул» [10, с. 131—132].

2 июня 1837 г. Либих ответил Вёлеру: «Я мог бы посмеяться над твоим письмом, если бы предмет не был настолько важен. Я не обижен твоей откровенностью, она причинила мне только боль. Дорогой Вёлер, вероятно, нет на земле ни одного живущего, кто читал и признавал заслуги такого человека, как Берцелиус, более, чем я; я повсюду говорил об этом не из-за того, чтобы сделаться его другом, а только из-за действительного глубокого уважения. Я чту его как человека; как химика я никого не могу поставить выше, чем его; однако если человек, как представляется моему омраченному взору, указывает неверный путь... должен ли я быть менее правдивым и бояться причинить ему боль? Я думаю, что это не так, это противно всей моей натуре. Разве ты не знаешь, что ослы, которые в Германии пишут книги, принимают без обиняков его каталитическую силу и вдальбливают ее в головы наших детей, так как она удобна и способствует лени? согласишься ли ты с тем, что если бы селитренный газ (оксид азота.— *Авт.*) не давал бы на воздухе красных паров, то азотная кислота не была бы известна, что процесс образования серной кислоты должен быть причислен к каталитическим? Не согласишься ли ты, что вся идея о каталитической силе фальшива?» [10, с. 133].

Либих ошибался и был несправедлив. Пристрастие не позволило ему признать, что Берцелиус ввел в науку полезное понятие, которое обобщало и помогало изучать разнообразные каталитические явления. В 1839 г. Берцелиус показал несостоятельность упреков Либиха и предостерег от «видимости объяснения» каталитических явлений³. Берцелиус не только не отмахивался от этой по-

³ Причина явлений катализа, по мнению Либиха, «заключается в способности, которой обладает тело, находящееся в состоянии соединения или разложения, т. е. в состоянии химического действия, вызывать в другом, соприкасающемся с ним теле такую же химическую деятельность, или действие такое же, какое оно испытывает само» [11]. В связи с этим Х. Р. Шенбайн в 1843 г. иронически заметил, что «некоторые исследователи (Либих.— *Авт.*) наградили тела чем-то вроде заразной химической силы» (цит. по [7, с. 110]).

лемики, но даже перенес ее на страницы своего учебника. В последнем, 5-м издании (1847 г.) Берцелиус писал: «Каталитическая сила, однако, встречает противников среди естествоиспытателей, в особенности в Либихе и его школе, которые утверждают, что принятие этой силы сводится к тому, чтобы объяснить одно неизвестное другим неизвестным. Но это совсем не так. Мы проследили эту силу всесторонне, от неорганической природы, от действия платины и перекиси марганца до органической природы, до действий диастаза, альбумина, дрожжей и других веществ подобного рода. Охотно можно допустить, что мы еще очень далеки, чтобы основательно знать эту силу и ее действия, но мы уже узнали, что она существует, мы познали вызванные при ее помощи разнообразные продукты, например, декстрин, виноградный сахар, масло горьких миндалей, горчичное масло, спирт и т. д.

Что такое сила, мы знаем лишь по ее действиям, и мы видели, что каталитическая сила не есть ни сила тяжести, ни сцепления, ни химическая сила соединения. Если даже она должна быть одним из проявлений электрической силы, то мы имеем повод предполагать, то все же она такого своеобразного характера и так отлична от обычного проявления электрической силы, что она, несомненно, заслуживает, чтобы быть названной своим особенным именем» (цит. по [7, с. 81—82]).

В 1838—1839 гг. русский химик Н. Н. Зинин работал в лаборатории Ю. Либиха в Гиссене над своей докторской диссертацией. Он был в курсе полемики, возникшей в связи с понятием «каталитическая сила», введенным Берцелиусом. Приведем здесь суждения самого Зинина как пример точки зрения ученых, находившихся под влиянием Либиха.

Н. Н. Зинин писал: «Берцелиус относит (каталитические явления. — *Авт.*) к одному роду явлений и приписывает именно одной особенной силе, которая принадлежит только некоторым телам. От нее зависит свойство этих тел, чтобы одним только прикосновением заставлять другие тела соединяться между собой» [12]. Ничего подобного, однако, Берцелиус не говорил. Он никогда не утверждал, что «сила заставляет», что от «силы зависит свойства вещества».

Далее Зинин писал: «Явления разложения перекиси водорода, хлористого, иодистого азота, гремучего серебра и проч. можно до сих пор объяснять только вообще, рас-

суждая о телах или о различных случаях более или менее прочного равновесия и предполагая, что прочность равновесия между атомами приведенных соединений так незначительна,— пределы, в которых атомы могут колебаться без нарушения равновесия, так сближены, что малейшее изменение положения их друг к другу, производимое каким-нибудь посторонним действием — движением извне, теплотвором, изменением плотности пограничных слоев прикосновенных тел и проч., выводит атомы из помянутых пределов, определенных степенью прочности равновесия, и, таким образом, способствует им образовать системы или тела, в которых равновесие прочнее...» [12]. Такое рассуждение, казалось бы, объясняло суть дела. Но давайте посмотрим, что далее писал сам Н. Н. Зинин.

«Если бы были известны вид и величина атомов вещества, зависимость сил, которыми они одарены, от расстояния, вида и величины атомов, то, может быть, мы вычислили бы все подробности явлений взаимного действия тел друг на друга, дали бы определенную численную меру этих явлений» [12]. В том-то все и дело. Потому, видимо, Берцелиус и не стал прибегать к атомно-молекулярным представлениям в области катализа. Тогда никто не знал, как «атомы движутся и сообщают движение атомам изменяемого тела, заставляя их перемещаться особенным образом» (слова Зинина). Эта картина наглядна, — сказал бы Берцелиус, — но она больше напоминает бильярдный стол, чем очень сложную картину атомно-молекулярных взаимодействий.

В. Оствальд справедливо в свое время отмечал, что для Берцелиуса понятие «каталитическая сила» служило только объединяющим названием для определенной категории химических реакций [4]. Представления Либиха о передаче колебаний атомов катализатора атомам реагирующего вещества казались Берцелиусу слишком механистичными. Это напоминало ему механизм действия кислот на щелочи согласно корпускулярным представлениям Бойля — Лемери. Как бы там ни было, но Берцелиус не попытался объяснить природу катализа при помощи атомистической концепции.

Для великого мастера химического эксперимента было непонятно, как «тела способны только одним своим присутствием, а не своим сродством пробуждать дремлющие сродства». Эта «бескорыстная» помощь катализатора как

раз и вызывала самое большое недоумение⁴. Хотя спор шел больше «о словах, чем о деле», он огорчал и отвлекал Берцелиуса от работы. Тем не менее этот спор явился как бы «катализатором» в развитии учения о катализе. После работ Берцелиуса каталитические реакции стали важным объектом для изучения механизмов химических превращений.

Особый интерес к представлениям Берцелиуса о катализе проявил Оствальд в 1890-х и последующих годах.

На вопрос, поставленный Берцелиусом, — существуют ли общие или специфические катализаторы? — Оствальд дал определенный ответ — существуют как те, так и другие катализаторы. Ион водорода является катализатором первого типа, а фермент — второго. Как считал Оствальд, положительный ответ должен быть дан и на другой вопрос Берцелиуса — можно ли из одного вещества или смеси веществ с помощью различных катализаторов получить различные продукты?

Под влиянием идей Берцелиуса Оствальд предложил следующие определения: «Катализ — это ускорение медленно идущей химической реакции, обусловленное присутствием посторонних веществ» [14]; «катализатор — это такое вещество, которое изменяет скорость химической реакции, не принимая участия в конечных продуктах реакции... Если мы подвергнем это определение критике с точки зрения Берцелиуса, то увидим, что оно удовлетворяет его требованиям» [4, с. 220—221]. Оствальд считал необходимым перевести решения вопросов катализа на рельсы химической кинетики и с этих позиций рассматривать механизм и скорость каталитических реакций. Он ввел в качестве меры каталитического действия *скорость превращения* и тем самым превратил катализ в объект новых количественных исследований.

В 1901 г. на Съезде немецких естествоиспытателей в Гамбурге Оствальд в докладе о катализе [15] наметил путь, по которому следует идти в «плодородную, но еще мало исследованную страну» — катализ, открытую Берцелиусом.

⁴ В 1914 г. А. Е. Арбузов в своей докторской диссертации «О явлениях катализа в области превращений некоторых соединений фосфора» писал: «Мне кажется, та таинственность каталитических явлений, над которой задумывался еще Берцелиус, остается и теперь, после того как изучена кинетика многих каталитических реакций» [13].

Исследования по аналитической и неорганической химии

Разработка методов качественного и количественного анализа

Начало самостоятельному развитию аналитической химии в Швеции положил выдающийся шведский ученый-энциклопедист Урбан Иерне. С 1683 г. он был директором Королевской Стокгольмской химической лаборатории, основанной в 1637 г. Это была первая химическая лаборатория в Швеции и в Северной Европе вообще¹. В 1712 г. Иерне издал первый в Швеции учебник химии. Хорошо понимая запросы своего времени, Иерне стремился своими работами содействовать развитию в Швеции горного дела и других промыслов. С этой целью он проводил анализы руд, минералов, образцов почв, минеральных вод. Результатом его исследований было открытие новых полезных ископаемых и минеральных источников (Иерне открыл источник в Медеви, Южной Швеции, анализом вод которого впоследствии занимался Я. Берцелиус). Иерне оказал значительное влияние на деятельность шведских химиков последующих поколений, которые, как и Иерне, уделяли большое внимание вопросам практической химии и традиционно развивали и совершенствовали методы аналитической химии.

Химическим изучением минералов с помощью паяльной трубки занимался А. Ф. Кронштедт, открывший в 1750 г. новый химический элемент — никель. В руках Кронштедта паяльная трубка «стала могучим орудием, оказавшим минеральной химии такие же ценные услуги, какие оказало кристаллографии применение гониометра» [1].

Выдающимися представителями шведской школы химиков были Т. Бергман и К. Шееле.

¹ В 1753 г. шведский химик и металлург И. Валлериус опубликовал труды, выполненные в этой лаборатории.

Торберн Бергман известен своими работами в области химии и минералогии [2]. Он ввел много новых приемов количественного анализа, разработал первую схему систематического анализа мокрым путем. Как и Иерне, Бергман исследовал химический состав минералов и минеральных вод. Он собрал образцы железа, полученные на разных заводах Швеции, и исследовал причины различных свойств этих образцов. При этом он установил разницу между ковким железом, сталью и чугуном по возрастающему содержанию в них графита и кремнезема. Бергман показал также, что так называемая хладноломкость железа зависит от содержания в нем фосфора².

В своих трудах по химии Бергман стремился теоретически осмыслить фактические данные. Это побуждало его изучать и объяснять сущность химических процессов. Им разработано учение о химическом сродстве, которое было широко признано в то время, пока не появились новые представления, выдвинутые К. Л. Бертолле.

Учениками Бергмана были известные химики: Й. А. Афцелиус, Й. Гадолин, Й. Ган и другие. Гану принадлежит заслуга в дальнейшей разработке методов применения паяльной трубки для исследования руд и минералов. Работы Бергмана и его учеников (особенно Гана) оказали большое влияние на Берцелиуса.

Продолжая и развивая традиции химиков-аналитиков XVIII в., Берцелиус уделял первостепенное значение аналитическим исследованиям состава различных минералов, руд, неорганических веществ (солей, кислот, оснований). Он внес в развитие аналитической химии неоценимый вклад.

Уже в самом начале своей деятельности Берцелиус был увлечен анализами минералов, а затем и количественным определением состава веществ, по традиции, установившейся в uppsальской школе химиков еще со времен Бергмана. Количественные исследования проводились задолго до Берцелиуса, но лишь в руках этого мастера точных измерений количественный метод в химии вырос из рамок только метода и стал основой химии как точной науки. С помощью количественного анализа химия за короткий

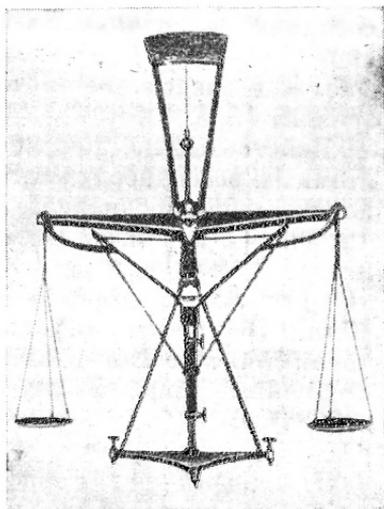
² По данным историка химии Х. Г. Гмелина, в Швеции уже в XVIII в. было предложено обесфосфоривать железо прибавлением извести, т. е. был предложен метод, нашедший широкое применение впоследствии в томас-процессе.

срок сделала поразительные успехи. Был исследован и определен состав тысячи различных веществ, при этом были открыты новые элементы и вещества, которые нашли применение в промышленности и технике. С тех пор количественные исследования в химии стали необходимым условием каждой химической работы. Без точного определения весовых отношений между взаимодействующими веществами уже не мыслилась никакая химическая работа. Этот новый подход к изучению химических явлений оказался очень плодотворным. С. Канниццаро,

отмечая роль Берцелиуса в развитии химии, писал, что одна из главнейших заслуг Берцелиуса в прогрессивном развитии химии — это продолжение им исследований состава солей, начатых К. Венцелем, И. Рихтером и Т. Бергманом.

Талант Берцелиуса как химика-аналитика особенно ярко проявился при систематическом исследовании составов многих минералов, руд, органических и неорганических веществ. Не было такого элемента, который он обстоятельно бы не изучил. Им были выполнены многочисленные анализы состава различных солей, экспериментально подтверждавшие стехиометрические законы и химическую атомистику Дж. Дальтона.

Берцелиус считал, что атомистическая теория с ее законами должна стать руководящей теорией в аналитической химии. Он писал: «...Количественное разложение... достигло в новейшие времена, через установление законов химических пропорций, высшей степени совершенства, потому что аналитические процессы испытали значительные улучшения вследствие изысканий, кои принуждены были сделать для развития и для подтверждения сей теории, или потому, что через сравнение последствий разложения с химическими пропорциями можно проверять свои исследования» [3, с. 185]. И далее: «...когда химические пропорции и законы, по коим тела преимущественно между собой



Весы Берцелиуса

соединяются, начали распространяться, точные химические разложения сделались драгоценнее, доставляя способы к исследованию и к подтверждению высоких умозрений» [3, с. 186].

Действительно, точные определения эквивалентных и атомных весов послужили важным стимулом в развитии количественного анализа. В процессе выполнения многочисленных анализов Берцелиус вводил в аналитическую химию новые методы качественного и количественного анализа, новые реактивы и различные приспособления. Лампа Берцелиуса играла в свое время ту же роль, как потом горелка Бунзена. Известностью пользовались его стеклянные приборы для химических работ, его деревянные штативы, каучуковые трубки для соединения частей стеклянной аппаратуры³.

В лаборатории Берцелиуса не было дорогостоящих приборов, и вся обстановка была очень простой. Ф. Вёллер, например, писал о посещении лаборатории Берцелиуса: «В одной комнате стояли два обыкновенных стола, на одном из них работал Берцелиус. У стен стояли шкафы с реактивами; их было очень мало. Посреди комнаты стояли ртутная ванна и стол для выдувания стекла. В другой комнате стояли весы и другие инструменты» (цит. по [4]). Несмотря на такие скромные средства, Берцелиус тем не менее достиг поразительных по точности результатов.

Однажды в Стокгольме, посетив музей Берцелиуса, В. Оствальд внимательно рассмотрел весьма простые аналитические весы Берцелиуса, с помощью которых были определены атомные веса многих химических элементов. «Мне стало необыкновенно ясно,— вспоминал потом Оствальд,— как мало зависит от прибора и как много — от человека, который перед ним сидит» [5].

Методы и нововведения Берцелиуса распространялись его учениками в других странах. Через несколько лет эти методы и новшества стали общим достоянием химии. Простота и наибольшая точность — отличительные черты работы Берцелиуса. «Люди, знающие несколько химии, должны наиболее упражняться в количественных разло-

³ Впервые резиновые трубки для соединения реторт со стеклянными трубками применил Ян Ингенхоус в 1786 г. Но широко в практике лабораторной работы резиновые трубки и пробки начал использовать Берцелиус.

жениях,— писал он,— и быть убежденными в том, что, познавши их несовершенно, они не могут быть способными ни к какому ученому исследованию.

Должно приобрести привычку взвешивать со всевозможной точностью, уметь переливать жидкости из одного сосуда в другой, ничего не утрачивая, и так, чтобы даже самая последняя капля не стекала по наружной поверхности сосуда; обращать внимание на все те мелочные обстоятельства, пренебрегая коими утомляющие и затруднительные занятия, продолжающиеся в течение нескольких недель, часто обращаются в ничто. А в особенности советую стараться иметь попечение, чтобы ни развлечение, ни стечение обстоятельств и нерадение не могли придать худое направление занятию, к концу своему приближающемуся. Не достигнувши до сей степени точности, неопытный химик часто бывает принужден прекратить начатое разложение по небрежности или по непредусмотрительности; но должно положить себе за неизменное правило — неудавшееся разложение начать снова, ибо хотя сие и неприятно, но еще затруднительнее совершить занятие продолжительное и дорогостоящее, не будучи убежденным в точности результатов, и если результаты сии не будут приносить пользы науке и не будут способствовать к наставлению человека, занимающегося разложением» [3, с. 186—187].

По мнению Берцелиуса, при исследовании веществ нужно умело пользоваться как количественным, так и качественным анализом. Он писал: «Молодые химики, часто успешнее делая качественное разложение, по недостатку сведений и опытности в ручных приемах легко впадают в погрешности при количественном; между тем знаменитые химики, стяжавшие громкое название первоклассных, ошибались при качественных исследованиях, потому ли что они слишком много полагались на некоторые наружные признаки, или потому что леность, влечение к бездейственности, увеличиваясь с годами их, лишали их охоты продолжать исследования, которые подтвердили бы то, что им уже издавна известно. Я советую всем и всякому преследовать качественное разложение, входя в самые малейшие его подробности; оно не только усовершенствует занятие, но еще по временам доставляет упражняющимся невыразимое удовольствие открывать новые тела и неизвестные соединения» [3, с. 28—29].

Берцелиус учил использовать в анализе малые количества исследуемого вещества. Он указывал, что часто высшая степень точности достигается с помощью малых количеств веществ, что объем употребляемых реагентов, время, нужное для процеживания, промывания, выпаривания, возрастают по мере увеличения веса анализируемого вещества. Берцелиус при этом добавляет, что он предпочитает производить анализы над двумя граммами.

На вопрос относительно способа работы, который привел его к точным результатам, Берцелиус ответил, что нужно найти такой метод, при котором точность результата меньше всего зависит от ловкости оперирующего химика. Когда такой метод найден, то нужно выяснить, какие обстоятельства влекут за собой неправильность результата.

Берцелиус порицал тех, кто вносил поправки в результаты измерений исходя из теоретических взглядов. Он отмечал, например, что в «Elements of Chemical Philosophy» Г. Дэви часто применяет слово «about» (около). По этому поводу Берцелиус писал Дэви, что именно применение этого слова делает все без исключения численные определения ученого неправильными [6].

Для анализа минералов и руд Берцелиус внес значительные усовершенствования в работе с паяльной трубкой, методы работы с которой были описаны им в руководстве, изданном в 1821 г. [7]. Эта работа была переведена на русский язык и издана в 1831 г. под названием «Об употреблении паяльной трубки при химических и минералогических исследованиях» [8]. В ней изложены все приемы, разработанные минералогом Ганом, к которому Берцелиус постоянно питал чувство глубокой признательности. Ган первый побудил Берцелиуса заняться анализом при помощи паяльной трубки, которой сам владел в совершенстве. Он сообщил ему все практические сведения, накопившиеся у аналитиков начиная с Г. Штатля, еще в 1700 г. употреблявшего этот инструмент, до Т. Бергмана, широко применявшего паяльную трубку для различных анализов.

Берцелиус писал о значении анализа при помощи паяльной трубки: «Сочинение, предлагаемое мной, чрезвычайно важно по цели своей для практика-химика, для металлурга и минералога. Оно представляет совокупность химических опытов, произведенных по методу, именованной прежде сухим путем, над телами почти всегда мик-

роскопического размера, но таких опытов, при коих бывает достаточно одной минуты для достижения самых удовлетворительных последствий» [8, с. 1].

В 1827 г. Берцелиус издал руководство «Разложение неорганических веществ». Отдельные главы русского перевода (А. А. Озерский) печатались в «Горном журнале» в 1832—1833 гг. В 1833 г. оно было опубликовано отдельным изданием под названием «Руководство к разложению неорганических тел» (СПб.). В своем руководстве Берцелиус на основе собственных исследований изложил методы анализа твердых веществ, газов и минеральных вод и рассмотрел способы определения состава солей. Аналитические реакции трактовались им в свете электрохимической теории.

В результате исследований Берцелиуса в области аналитической химии были разработаны новые рациональные и точные методы разделения веществ, точные способы взвешивания. Впервые была применена плавиковая кислота при анализе силикатов щелочных металлов, введена возгонка хлористых соединений различных металлов для их разделения, разработаны метод анализа химически стойких оксидов сплавлением их с бисульфатом калия, методы разделения платиновых металлов и т. п.

Берцелиус предложил пробу на мышьяк, которая теперь известна как «проба Берцелиуса». Если As_2O_3 нагревать в стеклянной трубке с углем или цианидом калия, то он легко восстанавливается до металлического мышьяка, который осаждается в холодной части трубки в виде темного зеркального кольца.

Важным вкладом Берцелиуса в аналитическую химию был предложенный им метод отделения таких веществ, как сера, селен, мышьяк и т. д., которые превращались в кислоту при взаимодействии с кислородом, от таких веществ, как медь, свинец, серебро и т. д., которые при реакции с кислородом давали основания. Сплав или руду помещали в стеклянную трубку и через нее пропускали сухой хлор, при этом трубка нагревалась на горелке. Вещества, образующие кислоты, улетучивались и поглощались в склянке с водой, в то время как вещества, образующие основания, оставались в трубке. Этот метод анализа был значительно усовершенствован Генрихом Розе, который применял его для анализов медной руды и других подобных соединений.

Начиная с 1812 г. Берцелиус систематически проводит исследование платиновых металлов. В 1818 г. он определил впервые атомные веса Pt, Pd, Rh и Os. Эту работу он продолжил в 1826 г.

Берцелиус проанализировал все известные к тому времени платиновые руды, прежде всего южноамериканские. Он изучил оксиды и сульфиды платиновых металлов, в частности впервые определил состав OsO_4 и впервые получил диоксид OsO_2 . В 1826 г. им впервые был предложен метод выделения платины в виде сульфида из кислых растворов.

В начале 1828 г. Берцелиус получил от министра финансов России Е. Ф. Канкрин образцы уральской платиновой руды. Он с интересом исследовал ее, впервые отделил родий, палладий, осмий и иридий друг от друга, определил атомные веса этих элементов и получил их оксиды и соли. В том же 1828 г. Берцелиус опубликовал большую работу, в которой изложил разработанный им метод анализа платиновой руды. Основное содержание этой статьи было опубликовано в 1828 г. в «Горном журнале» (кн. 8, с. 21—35).

О работах Берцелиуса, связанных с разделением платиновых металлов, К. К. Клаус — известный специалист в области химии платиновых металлов — писал: «Всем тем, что до сих пор известно по этому вопросу, мы обязаны заслугам бессмертного Берцелиуса, методы которого были настолько же остроумно придуманы, насколько необыкновенно искусно были выполнены» [9, с. 196].

До появления статьи Берцелиуса, посвященной анализу платиновой руды, о платиновых металлах знали, по словам Клауса, что «они существуют, о соединениях платиновых металлов имелись лишь здесь и там отдельные упоминания. Поэтому обширная работа Берцелиуса, выполненная со столь большой проницательностью и редким искусством, внезапно представившая соединения этих металлов с настолько большой ясностью, проведенная анализы платиновых руд, основанные на строгих принципах», была воспринята так, что «результаты Берцелиуса считались в химии не подлежащими проверке фактами».

Между тем сам Берцелиус рассматривал свою работу только как «главные черты химической истории этих трудно исследуемых элементов».

В 1844 г. в «Ученых записках Казанского университета» появилась большая статья Клауса «Химическое исследование

дование остатков уральской платиновой руды», в которой он обобщил результаты своих исследований, проведенных в 1841—1844 гг. Важнейший результат этой работы — открытие нового химического элемента — рутения. Клаус установил, что рутений содержится в осмистом иридии. Им были изучены характерные аналитические реакции рутения, получены и изучены различные соединения нового элемента и подробно описаны их свойства. Клаус писал:

«Здесь я предлагаю ученому свету мои наблюдения об этом предмете, но с некоторой робостью, потому что они в некоторых отношениях не сходятся с наблюдениями г. Берцелиуса, которого авторитет признается всеми химиками; я сначала сам сомневался в справедливости моих результатов, имея в виду работу великого химика. Это заставило меня повторять мои опыты весьма часто и с большою отчетливостью; но, получая всегда одинаковые результаты, я убедился, наконец, в справедливости моих наблюдений. Разность в результатах г. Берцелиуса с моими зависит, без сомнения, большею частью от того, что г. Берцелиус работал с иридием, содержащим в себе примесь рутения, тогда еще не известного» [9, с 97].

Открытие и изучение новых химических элементов и их соединений

В первые десятилетия XIX в. было открыто довольно много новых химических элементов, это явилось следствием влияния на химиков того времени учения А. Лавуазье об элементах [10].

Я. Берцелиусу принадлежит честь открытия четырех элементов: церия, селена, тория и кремния [11].

Церий

Церий был открыт Берцелиусом совместно с В. Хизингером в 1803 г. Историю открытия этого элемента Берцелиус описывает в своей «Автобиографии». «Мы хотели установить, не объясняется ли высокий удельный вес минерала⁴ присутствием в нем иттриевой «земли»⁵, особенно

⁴ Речь идет о тяжелом минерале тунгстене, открытом А. Ф. Кронштедтом в 1751 г. в коях Бастниса (Швеция).

⁵ Иттриевая «земля» была открыта финским ученым Й. Гадолином в 1794 г. в минерале иттербите.

после того как Хизингер обнаружил, что ее раствор в кислоте имеет сладковатый привкус (что свойственно для солей иттрия. — *Авт.*). Однако Берцелиус и Хизингер открыли в минерале иную «землю» — вещество, которое имело много общего с иттриевой «землей», но отличалось от нее некоторыми частностями, которые, как они думали, указывали на неизвестную промежуточную смесь. «Поэтому мы обратились ко всем методам, — пишет далее Берцелиус, — которыми можно было бы рассчитывать отделить это вещество от иттриевой «земли». Мы провели... сравнительное изучение его и иттриевой «земли». Это позволило нам прийти к заключению, что вещество является новым и ранее не известным. Оно имеет два вида оксидов и производит два вида солей — окрашенных и неокрашенных... Вещество представляет собой оксид металла, который мы назвали (*ceria*) в честь малой планеты Церера, открытой астрономом Пьяцци» [12].

Берцелиус определил атомные веса «иттрия» и «церия» (оксид церия)⁶ и предложил для их оксидов формулу MO, причем для высшего оксида церия была предложена формула M₂O₃. В дальнейшем было показано, что в соединениях церий проявляет две степени окисления: 3+ (Ce₂O₃) и 4+ (CeO₂).

Шведский химик заложил основы для двух классических методов разделения редкоземельных элементов: дробной кристаллизации и дробного осаждения. Он впервые использовал для разделения иттриевой и цериевой «земель» их двойные сульфаты с калием. На различной растворимости двойных сульфатов редкоземельных элементов и калия в избытке насыщенного раствора K₂SO₄ долгое время было основано деление элементов семейства на три группы: цериевую, тербиевую и иттриевую.

Будучи блестящим минералогом, Берцелиус описал и открыл около десяти редкоземельных минералов. Часть из них (ксенотим, ортит, фергусонит, эшинит, иттроцерит) является в настоящее время ценнейшим природным сырьем для получения чистых соединений редкоземельных металлов. Анализируя в 1814 г. ортит, Берцелиус обнаружил, что в минерале, наряду с цериевой, присутствует и

⁶ Сообщение об открытии церия появилось в центральных журналах Германии (*Gehlen's Neues allgemeines Journal der Chemie*, 1804, Bd. 2, S. 397), Франции (*Ann. de chimie*, 1804, vol. 50, p. 245—271) и Англии (*Philosophical Magazine*, 1805, vol. 20, p. 154—158).



Карл Мозандер

иттриевая «земля». Это был первый зарегистрированный факт совместного присутствия обоих редкоземельных элементов в одном и том же природном минерале.

Значительных успехов в изучении редких земель добился талантливый ученик Берцелиуса Карл Мозандер, который с 1824 по 1831 г. был ассистентом Берцелиуса. В 1826 г., по совету своего учителя, Мозандер провел ряд опытов с целью проверить, является ли *ceria* действительно чистым оксидом церия. При этом он обратил внимание на некоторые обстоятельства, которые привели его к предположению, что в оксиде церия содержится другой оксид, который он, однако, не сумел тогда выделить. В конце 1838 г. Мозандер пришел к выводу, что в церите содержится «нечто новое». Мозандер «дал мне понять, — писал Берцелиус Ф. Вёлеру 1 февраля 1839 г., — что то, что мы с Хизингером назвали церием, было смесью двух оксидов, ни один из которых не обладает свойствами смеси» [13, с.16]. Анализ «нечто нового» привел к открытию нового химического элемента. «Мозандер, — писал Берце-

лиус Вёлеру 12 февраля 1840 г., — принимает мое предложение назвать элемент лантаном (lantan)» [14, с. 16], что в переводе с греческого означает «скрытый».

Дальнейшее изучение лантановой «земли» привело Мозандера к открытию в 1841 г. «близнеца» лантана — дидима. «Мозандер, — писал Берцелиус, — заявил о новом металле, находящемся с лантаном в церите, металле, который сопровождает церий и иттрий всюду, где они встречаются... Оксид этого металла имеет коричневый цвет, дает розовые соли; слабо-розовый цвет иттриевых и цериевых солей объясняется его присутствием... Оксид дидима настолько хорошо похож на оксид лантана и церия, что едва ли существует другой путь их разделения, нежели повторная кристаллизация их солей» [13, с.16—17].

Селен

В 1817 г. Берцелиус, анализируя отходы сернокислотного производства, обнаружил новый химический элемент селен — аналог теллура, открытого еще в 1782 г.

В своей «Автобиографии» Берцелиус рассказал, как это произошло: «Я исследовал в содружестве с Готтлибом Ганом метод, который применяют для производства серной кислоты в Грипсхольме. Мы обнаружили в серной кислоте осадок, частью красный, частью светло-коричневый. Этот осадок, опробованный с помощью паяльной трубки, издавал слабый редечный запах и образовывал свинцовый королек. Согласно Клапроту, такой запах служит указанием на присутствие теллура. Ган заметил при этом, что на руднике в Фалуне, где собирается сера, необходимая для производства кислоты, также ощущается подобный запах, указывающий на присутствие теллура. Любопытство, вызванное надеждой обнаружить в этом коричневом осадке новый редкий металл, заставило меня исследовать осадок. Приняв намерение отделить теллур, я не смог, однако, открыть в осадке никакого теллура. Тогда я собрал все, что образовалось при получении серной кислоты путем сжигания фалунской серы за несколько месяцев, и подверг полученный в большом количестве осадок обстоятельному исследованию. Я нашел, что масса (т. е. осадок) содержит до сих пор не известный металл, очень похожий по своим свойствам на теллур. В соответствии с этой аналогией я назвал новое тело селе-

ном (selenium) от греческого $\sigma\epsilon\lambda\eta\eta\eta$ (Луна), так как теллур назван⁷ по имени Tellus — нашей планеты» [12].

В начале 1818 г. Берцелиус опубликовал подробное исследование о получении, свойствах и соединениях селена⁸. Особое внимание он уделил диоксиду селена SeO_2 , а также многочисленным солям селенистой кислоты. Селеновая кислота Берцелиусу была неизвестна. Ее получил в 1827 г. Э. Митчерлих.

Торий

В 1828 г. в минерале ThSiO_4 , найденном в Норвегии недалеко от Бревига, Берцелиус открыл оксид неизвестного металла, названный по имени древнескандинавского бога Тора ториевой «землей». Он подробно исследовал химию ториевой «земли» и в 1829 г. выделил содержащийся в ней металл торий восстановлением четыреххлористого тория металлическим калием⁹. Чистый препарат тория был получен лишь в 1882 г. шведским химиком Л. Ф. Нилсоном.

Кремний

Зная о сложном составе глинозема и кремнезема, Берцелиус и независимо от него Дэви попытались еще в 1808 г. получить металлический алюминий и кремний.

«С тех пор как Дэви открыл, что щелочи и щелочные земли являются действительно оксидами металлов, мы заключили, — писал Берцелиус, — что и глинозем, цирконная, берилловая, иттриевая «земли» являются оксидами, хотя, насколько я знаю, еще никому не посчастливи-

⁷ В 1798 г. М. Г. Клапрот выступил в Берлинской Академии наук с сообщением об открытии им в золотосодержащей руде из Трансильвании нового элемента, который получен «от матери-земли» и назван им поэтому теллуrom (Tellur) от слова tellus — Земля.

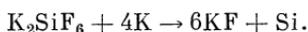
⁸ Подробное сообщение Берцелиуса об открытии селена и его соединений появилось в Германии (*Journal für Chemie und Physik*, 1817, Bd. 21, S. 342—344), во Франции (*Annales de chimie et de Physique*, 1818, vol. 9, p. 160—180, 225—267, 337—365), в Англии (*Annals of Philosophy*, 1818, vol. 11, p. 291—292, 341—375, 447—449) и в России (Селений, новый металл, открытый Берцелиусом. — Продолжение технол. журн., 1820, т. 5, ч. 2, с. 49—51).

⁹ Сообщение об открытии тория появилось в известном журнале Поггендорфа (*Poggendorff's Ann.*, 1829, Bd. 15, S. 633—634; Bd. 16, S. 385—415).

лось выделить кислород из этих тел. Однако никто из химиков не сомневался в правильности этого утверждения, так как все видели аналогию между этими оксидами и оксидами цинка, марганца, церия и т. д.» [14].

Поскольку электролизом кремний получить не удалось, Берцелиус пытался выделить его, восстанавливая кремнезем измельченным углем в присутствии железа. Однако свободный кремний не получился, так как образовалось кремнистое железо.

Впервые Берцелиус получил кремний в свободном состоянии (в виде серого порошка) в 1823 г. восстановлением кремнефтористого калия по реакции



Только в 1854 г. Сент Клер Девиль получил кремний в виде блестящих чешуек электролизом загрязненного хлорида и последующим растворением примеси алюминия в соляной кислоте. В 1856 г. он получил октаэдры твердого кремния, пропуская слабый ток паров SiCl_4 над чистым алюминием. Совместно с Г. Кароном Девиль разработал более быстрый процесс для получения кристаллического кремния. Фторосиликат калия нагревался со смесью натрия и цинка. Натрий восстанавливал соль, а цинк растворял получающийся кремний, который затем отгонялся от цинка.

Литий, ванадий и титан

Некоторые элементы были открыты учениками Берцелиуса при его непосредственном участии и под его руководством. Так, в 1817 г. Й. А. Арфведсон открыл литий. В 1830 г. Н. Г. Сефстрём открыл ванадий. В 1831 г. Берцелиус подробно исследовал химию ванадия [15].

В 1831 г. Вёлер послал Берцелиусу пробу выделенного им в 1828 г. вещества с просьбой определить, не является ли это вещество ванадием. Берцелиус ответил остроумной аллегорией: «Что касается присланной маленькой пробы с веществом, обозначенным Вами через?, то позвольте мне рассказать Вам следующую историю.

На севере когда-то жила богиня Ванадис, красивая, любезная. Однажды кто-то постучал к ней в дверь. Богиня была одна и подумала: пусть постучат еще раз. Однако стук не повторился, посетитель ушел. Богиня попытствовалась узнать, кто отнесся столь равнодушно



Нильс Сефстрём

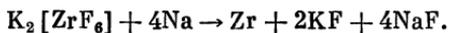
к ней. Она подошла к окну и посмотрела на уходящего. «А,— сказала она,— это шалун Вёлер! Ну, это ему по заслугам, если он придает столь мало значения своему посещению». Несколько дней спустя опять кто-то постучал в дверь, но настойчиво и сильно. Богиня сама пошла открыть дверь: вошел Сефстрём,— а плодом этой встречи было рождение ванадия» [16].

В 1825 г. Сефстрём и Берцелиус впервые получили элементный титан, хотя и не в чистом виде, восстановлением фторотитаната калия натрием. Они предположили, что ими открыт «аморфный титан», так как в то время ошибочно считали, что металлический титан уже получен У. Уолластоном в 1822 г. Однако, как установил Вёлер, Уолластон получил вещество $Ti_5(CN)_4$.

Цирконий и тантал

Помимо тория и кремния, Берцелиус впервые выделил элементные цирконий и тантал, известные ранее лишь в виде соединений. Цирконовую «землю» открыл

в 1789 г. Клапрот. Берцелиус подробно исследовал ее и получил многие соли циркония. Металлический цирконий (нечистый) он выделил в виде черного порошка при нагревании фтороцирконата калия с металлическим натрием



В 1802 г. шведский ученый А. Г. Экеберг, анализируя некоторые финские и шведские минералы, открыл новый элемент, названный им танталом. Одновременно к этому же открытию пришел английский химик Ч. Гатчет.

Анализами минералов танталитов занялся Берцелиус [17]. Он усовершенствовал метод анализа танталовых минералов — впервые использовал в качестве плавня KHSO_4 и предложил обрабатывать выделяющуюся кислоту тантала сульфидом аммония для очистки ее от вольфрама и олова.

Берцелиус получил новые соединения тантала — хлорид, фторид, сульфид. Особенно подробно он изучил кислородные соединения тантала и установил, что тантал имеет две степени окисления — высшую ($5+$) в соединении, названном им танталовой кислотой, и низшую ($2+$) — в оксиде тантала.

Ниобий

Исследованием соединений ниобия занимался Вёлер. Он получил ниобиевую кислоту, но не сумел из нее выделить ниобий. Образец этой кислоты (X) он послал Берцелиусу, который проанализировал этот образец и ответил Вёлеру следующее: «Посылаю тебе при этом обратно твой X, который я вопрошал, как мог, но от которого я получил лишь уклончивые ответы. «Ты титан?» — спрашивал я. «Вёлер же тебе сказал, что я не титан». Я также установил это. «Ты циркон?» «Нет, — отвечал он, — я же растворяюсь в соде до эмалево-белого стекла... чего не делает цирконовая земля». «Ты олово?» «Я содержу олово, но очень мало». «Ты тантал?» «Я с ним родствен, — отвечал он, — но я постепенно растворяюсь в едком кали и осаждаюсь из него желто-коричневым». «Ну что же ты тогда за дьявольская вещь?» — спросил я. Тогда мне показалось, что он ответил: «Мне еще не дали имени». Между прочим я не вполне уверен, действительно ли я это слышал, потому что он был по правую сторону от меня, а я очень плохо слышу на правое ухо. Так как твой слух, по-видимому,

гораздо лучше моего, то я тебе шлю этого сорванца, чтобы учинить ему новый допрос» (цит. по [18, с. 43—44]).

Таким образом, и Берцелиус не решился дать определенный ответ на вопрос о природе выделенной Вёлером кислоты, хотя и предполагал в ней наличие нового металла.

Ниобий был открыт Генрихом Розе — также учеником Берцелиуса. Вёлер писал Берцелиусу: «Относительно второго тантала, о котором ты мне писал, когда я занимался пирохлором, действительно, твоя правда. Я не печалюсь о том, что он от меня ускользнул, и от души радуюсь открытию славного Генриха» (цит. по [18, с. 4]).

Хлор

Как уже отмечалось, кислородная теория Лавуазье играла в теоретических представлениях Берцелиуса настолько большую роль, что он долгое время считал галогеноводородные кислоты и аммиак кислородсодержащими соединениями. В частности, Берцелиус долго сомневался в элементной природе азота и хлора (азот — соединение кислорода с неизвестным веществом — *nitricum*, хлор — соединение кислорода с неизвестным веществом — *muria-ticum*).

Лишь в 1820 г., после убедительных опытов Дэви и Тенара, Берцелиус перестал считать соляную кислоту кислородной кислотой и признал элементную природу хлора. В 1825 г. Берцелиус полностью отказался от своих ошибочных представлений, что хлор и хлористый водород содержат кислород, и стал относить фтор, хлор, иод к солеродным элементам, или галогенам. Соли, образованные соединением этих элементов с металлами, он назвал галогенидами.

В письме к Ю. Либиху (1843) Берцелиус писал: «Кто желает обосновать какую-нибудь теорию, тот обязан испытать ее на всех связанных с нею фактах, без предвзятого мнения в ее пользу и должен открыто указать как на ее слабые, так и на хорошие стороны. Он никогда не должен пытаться возводить в твердое убеждение то, что является только вероятным... Мои юношеские старания показать, что азот и хлор химически сложны, получили бы иное направление, если бы я успел тогда правильно оценить значение этого основного положения. В то время для моего убеждения было достаточно некоторой вероят-

ности. Вскоре я вынужден был примириться с тем, что мои воззрения пали как ошибочные¹⁰. Наказанный за легковерие, я научился с тех пор быть осмотрительнее...» [19].

Вёлер, который работал зимой 1823/24 г. в лаборатории Берцелиуса, вспоминал: «Берцелиус высказал большой интерес к исследованию синильной кислоты, за которое я снова принялся. Он показал мне с большим удовлетворением свой отзыв о моих предыдущих опытах с этой кислотой, напечатанный в «Ежегодных сообщениях», и высказал мнение, что ее существование много способствовало большой достоверности теории хлора. Я был очень удивлен, что он говорит «хлор», а не окисленная «муриевая кислота», так как до этих пор он был твердым сторонником старой точки зрения. Однажды, когда Анна мыла посуду, она заметила, что посуда сильно пахнет оксимуриевой кислотой. Берцелиус сказал: «Послушайте, Анна, вы не должны больше говорить оксимуриевая кислота. Говорите хлор, так будет лучше» [20].

Изучение природы солей

Многие исследования Берцелиуса по неорганической химии, относящиеся к 1820—1840-м годам, выполнены в русле атомистической и электрохимической теории. Большое внимание Берцелиус уделил исследованию природы солей. Существенную роль, определяющую природу солей, Берцелиус отводил электрохимическим явлениям. Так, в 1825 г. он писал: «То, что мы называем солью, должно быть, следовательно, определяемо согласно с известным электрохимическим отношением и совершенно независимо от числа (находящихся в соединении) элементов. Итак, мы говорим, что соединение хлора с натрием есть соль, потому что оба эти тела взаимно и вполне уничтожают их электрохимические свойства» [21].

Интересна классификация солей, предлагаемая Берцелиусом. Соли он разделил на два класса — образованные соединением галогена с электроположительным металлом и образующиеся при реакции основания с кислотой; первые Берцелиус предложил называть галоидными, а вторые — амфидными солями, которые будут подразделяться

¹⁰ В то же время Берцелиус признал и элементную природу других галогенов, а также и азота.

на соли кислородные, сульфосоли (соли, содержащие серу), селеносоли, теллуросоли и т. д. [22].

Много занимался Берцелиус изучением соединений серы. В 1811 г. он установил, что этот элемент ведет себя по отношению к металлу, подобно кислороду, так что сульфиды соответствуют оксидам металлов. Берцелиус установил также, что, подобно кислороду, сера может соединяться с металлами в различных пропорциях. Кроме того, он показал, что как основные и кислые оксиды соединяются между собой с образованием солей, так и сульфиды образуют между собой сульфосоли. В 1820 г. Берцелиус описал получение многих сульфидов и гидросульфидов. В 1843 г. он исследовал отношение фосфора к сере и селену.

Изучение фтористоводородной кислоты является одним из интереснейших исследований Берцелиуса. Фтористоводородная кислота была получена Л. Тенаром и Ж.-Л. Гей-Люссаком в чистом виде; они выделили также многие ее соединения. Однако начатое ими исследование не было доведено до конца. Берцелиус впервые получил многие важные фториды металлов. Затем он перешел к изучению соединений фтористоводородной кислоты с некоторыми фтористыми соединениями: фтористым бором, фтористым титаном и т. д. Изучая плавиковую кислоту и ее соли, Берцелиус исследовал интересную реакцию



в результате которой образуется фтороалюминат натрия и щелочь. Берцелиус впервые определил правильный состав кремнефтористоводородной кислоты и многих ее солей. Он изучил также действие воды на четыреххлористый кремний. Подобные опыты Берцелиус провел с фтористым бором, изучив реакцию разложения фтористого бора водой и определив состав многих солей борофтористоводородной кислоты. Берцелиус впервые также получил хлористый бор.

Через двадцать лет после смерти Берцелиуса Д. И. Менделеев в России открыл периодический закон и создал периодическую систему химических элементов. Вклад Берцелиуса в развитие аналитической и неорганической химии послужил прочным фундаментом для от-

крытия периодического закона. Этот фундамент, наряду с другими достижениями, складывался из системы атомных весов элементов Берцелиуса (1826 г.), из многочисленных данных, полученных при изучении физико-химических свойств почти всех тогда известных элементов и их соединений. Из 63 элементов, известных к 1869 г., четыре элемента открыл Берцелиус; им была подробно изучена химия соединений открытых элементов, а также химия таких элементов, как тантал, титан, цирконий и многие другие.

Никто из химиков, кроме Берцелиуса, никогда не выполнял такой огромной работы, поразительной по своей широте и точности.

Химическая минералогия

Природа Скандинавии, с ее разнообразными рудами и минералами, содержащими соединения редких земель, урана, тория, титана, ниобия, тантала, циркония, наложила свой отпечаток на характер деятельности химиков и минералогов Швеции, Норвегии и Финляндии. Одним из первых крупных шведских химиков и минералогов был А. Ф. Кронштедт — автор «Опыта классификации царства минералов» (1758)¹. В этой книге, переведенной на иностранные языки, Кронштедт выделил химический состав как главный для определения вида минералов. В основу его классификации и номенклатуры минералов легли химические и физические свойства. Кронштедт подразделил минералы на известковые, кремнистые, глинистые.

Т. Бергману и его учителю И. Валлерису принадлежит важная роль в систематизации различных групп минералов в зависимости от их химического состава и внешних признаков². В 1782 г. Бергман опубликовал классификацию минералов на основе их химических свойств под заглавием «Обзор минерального царства» («*Sciagraphia regni mineralis...*»). Работу в этом направлении продолжили немецкий химик М. Г. Клапрот, французский химик Ж. Н. Воклен и русский химик и минералог В. М. Севергин. Все они указывали на необходимость классификации минералов по их химическому составу. В 1798 г. Севергин ввел понятие о «сложности минералов» (парагенезис), т. е. о совместном нахождении минералов в месторождениях [2].

В 1797—1801 гг. французский ученый Р. Ж. Аюи занимался разработкой химической систематики минералов в тесной связи с их кристаллической структурой. В 1801 г.

¹ На русский язык «Опыт...» был переведен в 1777 г. [1].

² И. Шлаттер перевел в 1763 г. на русский язык «Минералогию, или описание всякого рода руд и ископаемых из земли вещей, сочиненную Иоганном Готшалльском Валерием, Королевской Шведской Академии в Упсале философии и медицины доктором».

он сформулировал следующий закон: «Каждое химическое соединение обладает своей собственной кристаллической формой, отвечающей форме мельчайших единиц, молекул кристаллов» [3]. Отсюда вытекал важный вывод, что кристаллическая форма является существенной характеристикой индивидуальности определенных химических соединений. Тем самым открывалась возможность изучения зависимости свойств кристаллов от их химического состава. Однако многие ученые конца XVIII и начала XIX в. продолжали придерживаться системы, основанной только на внешних признаках минералов. Минералогия поэтому представляла собой сумму сведений о цвете, твердости, плотности и форме минералов. Доминирующую роль в ней играло описательно-морфологическое направление, ярким представителем которого был немецкий ученый А. Г. Вернер [4] — автор известного сочинения «О внешних признаках ископаемых тел», опубликованного в 1774 г. [5]. Классификация минералов, по Вернеру, основывалась на их внешнем сходстве, без учета их химического состава. В его системе минералов выделялись четыре основных класса: землистые ископаемые, соляные ископаемые, горючие ископаемые, металлические ископаемые.

В 1795—1810 гг. вышел в свет обширный труд Клапрота «К химическому познанию минералов». Этот труд так же, как многочисленные работы Т. Бергмана, К. Шееле, Л. Н. Воклена по изучению химического состава минералов, подготовил почву для коренных изменений в минералогии. Описательная минералогия становилась вчерашним днем науки. На первый план выступала химическая минералогия.

Такова была общая ситуация, когда Я. Берцелиус включил минералогия в область своих интересов. К 1813 г. у него уже была собрана довольно большая коллекция минералов, которую он попытался привести в порядок. Когда Берцелиус просмотрел принцип распределения 317 выделенных Вернером минералов, то убедился, что немецкий минералог допустил серьезные ошибки. Так, в вернеровской систематике минералов рубин, относящийся к глинозему, был помещен в отряд кремния. В отряд глинозема наряду с минералами были включены горные породы (трап, глина, сланцы). Эти ошибки происходили главным образом от незнания химического состава минералов и руд. Вопрос этот глубоко заинтересовал Берцелиуса, и он решил им серьезно заняться, так как считал, что «минерало-

гия, хотя она и рассматривается как особая наука, все же представляет учение о неорганических соединениях, образующих наш земной шар, и является лишь частью химии, на представлениях которой она базируется полностью» [6, с. 62].

Данные химического анализа, освещенные атомистической теорией, позволили Берцелиусу совершенно по-новому объединить минералы в семейства и группы по аналогии их форм и составных частей.

В 1814 г. Берцелиус выдвигает фундаментальную идею: минералы подчиняются законам химических пропорций, их можно систематизировать и классифицировать на основе их химического состава и электрохимических отношений составных частей соединения. Состав минералов поэтому можно выражать химическими формулами. По словам Берцелиуса, «нужен был только взгляд на минералогию, чтобы найти там те же законы взаимных отношений элементов и чтобы увидеть в большом числе земледобных минералов, что кремнезем представляет кислоту, а остальные земли — основания и что кислоты и основания подчиняются здесь тем же соединительным законам, как и в опытах в наших лабораториях. Так возникла в минералогии химическая система, которая базируется на той же основе, что химия, основе, которая не может произвольно ввести в заблуждение. С этого момента минералогия получила новый интерес: если раньше она была описью неточно определенных продуктов неорганической природы, то теперь она поднялась до уровня настоящей науки» [6, с. 65—66].

Ученик Берцелиуса Генрих Розе писал: «Чтобы представить себе большие заслуги Берцелиуса при установлении его минеральной системы, необходимо только вспомнить, насколько велик до него был хаос в минералогии, особенно относительно классификации бесчисленных соединений. Хотя уже к тому времени и Берцелиус, а также Деберейнер и Смитсон в Англии начали рассматривать кремнезем в качестве кислоты, все же Берцелиус был первым, кто при установлении своей минеральной системы широко применил это предложение, благодаря чему минералы, содержащие кремнезем, попали в ряд солеподобных соединений, и лишь теперь можно было сделать заключение относительно их состава» [7].

В 1814 г. Берцелиус издал книгу «Опыт обоснования чисто научной системы минералогии посредством приме-

нения электрохимической теории и учения о химических пропорциях». Это сочинение было переведено на английский, французский и немецкий языки [8]. Согласно химической классификации Берцелиуса, все тела могут быть разделены по электрохимическому отношению их составных частей. В этой книге Берцелиус распределил минералы по электроположительным составным частям. Но в 1822—1824 гг. им была составлена новая система, в которой минералы распределялись по их электроотрицательным элементам [9, 10].

Согласно Берцелиусу, вещество, которое в одном случае является электроотрицательным в отношении более положительного, в другом случае могло бы быть электроположительным в отношении более электроотрицательного; другими словами, оно является в отношении более сильного основания кислотой и в отношении более сильной кислоты — основанием. Первоначально для обозначения состава минералов Берцелиус ввел так называемые *минералогические* формулы, которые писались курсивом и без знаков, указывающих степень их окисления. Но такое разграничение химических и минералогических формул было неудобно. В связи с этим Берцелиус стал изображать как минералогические, так и химические формулы одинаково. В качестве представителей главных классов он отличал тела окисленные и неокисленные и распределял минеральные вещества между этими двумя классами в порядке, весьма удобном для общего обозрения. Первый из этих классов делили на 18 семейств (семейства железа, меди, висмута, серебра, ртути, палладия, платины, осмия, золота, теллура, сурьмы, мышьяка, углерода, азота, селена, серы, кислорода, хлора).

Берцелиус усовершенствовал качественный анализ минералов при помощи паяльной трубки — способ, разработанный шведским минералогом Й. Ганом. В 1820 г. вышло на шведском языке руководство Берцелиуса «Об употреблении паяльной трубки в химии и минералогии». Оно вскоре было переведено на немецкий, французский, английский, итальянский и русский языки [11].

В 1836 г. Лондонское Королевское общество наградило Берцелиуса за разработку химической минералогической системы золотой медалью Коплея.

В 1847 г. К. Ф. Раммельсберг вновь издал работы Берцелиуса по минералогии в книге J. Berzelius. Neues chemisches Mineralsystem. Многие минералоги, разрабатывая по-

вые принципы систематизации и классификации минералов, опирались на работы Берцелиуса [12, 13].

В. И. Вернадский в 1927 г. писал, что классификация, которую он кладет «в основу... лекций, восходит к Берцелиусу... В основу положены представления о химической структуре и о химических функциях природных тел» [14].

Применение точных законов химии и электрохимических представлений в минералогии позволило описывать минералы не только по таким свойствам, как удельный вес, цвет, твердость, форма, но и по химическому составу. При этом легко было выявить классы и родственные группы минералов [15].

Со времени работ Я. Берцелиуса изучение химического состава минералов приобретало все большее значение. Исключительно плодотворным оказалось применение в минералогии явления изоморфизма, открытого Э. Митчерлихом в 1819 г. Проблема изоморфного замещения элементов в минералах стала одной из самых актуальных в работах минералогов.

К середине XIX в. в результате успешного применения усовершенствованных методов анализа был установлен химический состав многих минералов. Так, если в первом издании сводного труда по описательной минералогии Дж. Дана (*System of Mineralogy*, 1837) нет ни одной химической формулы минерала, то во втором издании (1844 г.) данные о химическом составе минералов занимают уже видное место. Классификация Дана (1901 г.) уже полностью химическая.

Выяснилось, что в состав большинства минералов входят три или четыре элемента, составляющих их основу, остальные же — лишь более или менее заметные примеси. Этот вывод имел принципиальное значение для дальнейшего развития минералогии и геологии. Он помог решить один из важнейших геологических вопросов о причине неравномерности распределения химических элементов в земной коре.

Синтез минералов, который стали успешно проводить химики во второй половине XIX в., еще прочнее закрепил давно существующую связь химии с минералогией. По словам Вернадского, «постепенно и незаметно, благодаря развитию химии и химического анализа минералов, определение их химического состава оказалось в конце века господствующим классификационным признаком и охватило все классификации минералов» [16].

«Учебник химии». «Ежегодные сообщения»

Над «Учебником химии» Берцелиус работал в течение почти всей своей творческой жизни. Он начал его в 1806—1808 гг. и закончил перед самой смертью. Объем выполненной работы был огромен¹. При каждом новом издании Берцелиус переделывал, исправлял учебник, вносил новые факты и обсуждал их с новых позиций.

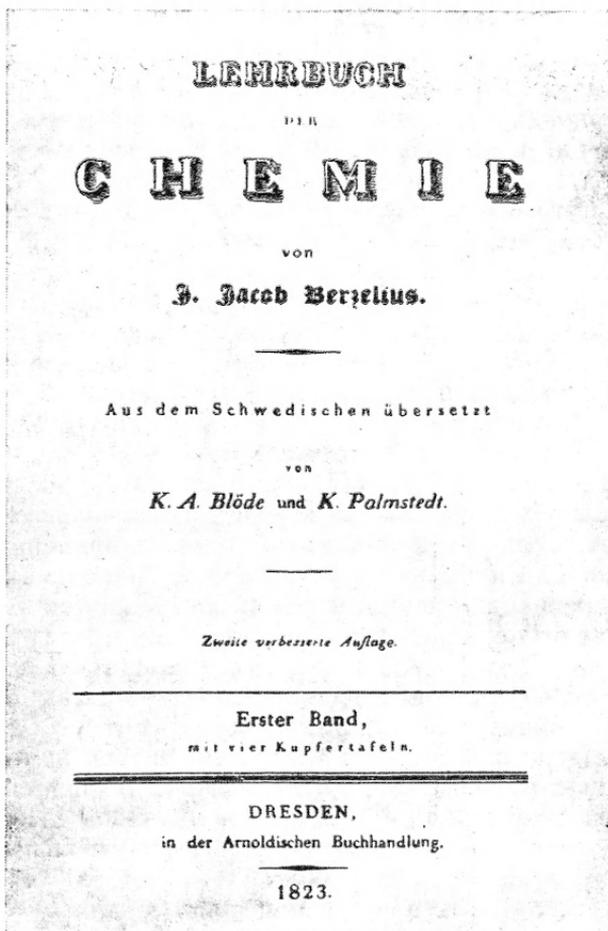
Последнее, 5-е, издание вышло на немецком языке в 1843—1848 гг. в пяти больших томах². Первый том посвящен общим теоретическим вопросам химии. Согласно Берцелиусу, химия является частью общей науки о природе. Он следующим образом сформулировал понятие о химии: «Природа, которая нас окружает и звено которой составляем мы сами, состоит из определенных основных веществ или элементов. Познание этих элементов, их соединений друг с другом, сил, на которых это основывается, и законов, по которым эти силы действуют, мы называем химией» [1, с. 1]. Второй том посвящен металлам; третий — солям; четвертый — общим вопросам органической химии; пятый — алкалоидам и другим органическим веществам.

В 1818 г. Берцелиус опубликовал на шведском языке третий том учебника химии, в котором особая глава была посвящена теории химических отношений и электрохимической теории [2].

Когда Берцелиус готовил первое издание своего «Учебника химии», он хотел рассмотреть в нем и органические соединения, однако затем отказался от этого ввиду трудностей, которые возникли в то время при изложении и систематизации материала органической химии. В учебнике он писал об этом: «Органическая химия является

¹ Первый том (1808) содержал 484 страниц [второе издание (1817) — 726 с.]; второй том (1812) содержал 241 страниц [второе издание (1822) — 848 с.]; третий том (1818) — 498 страниц; четвертый том (1827) — 564 страниц; пятый том (1828) — 565 страниц.

² В 1845—1850 гг. французский перевод этого издания был опубликован в шести томах в Париже.



*Титульный лист первого тома «Учебника химии»
Я. Берцелиуса (первое немецкое издание 1823 г.)*

столь своеобразной наукой, что химик при переходе от исследований в неорганической природе к исследованиям в органической попадает в совершенно чужую ему область. Учение о химических пропорциях, соблюдающихся у элементов в неорганической природе, наряду с учением об электричестве как химическом агенте, будет способствовать внесению большей ясности и в органическую химию; однако сейчас невозможно предвидеть результаты исследований в этом направлении» (цит. по [3, с. 29]).

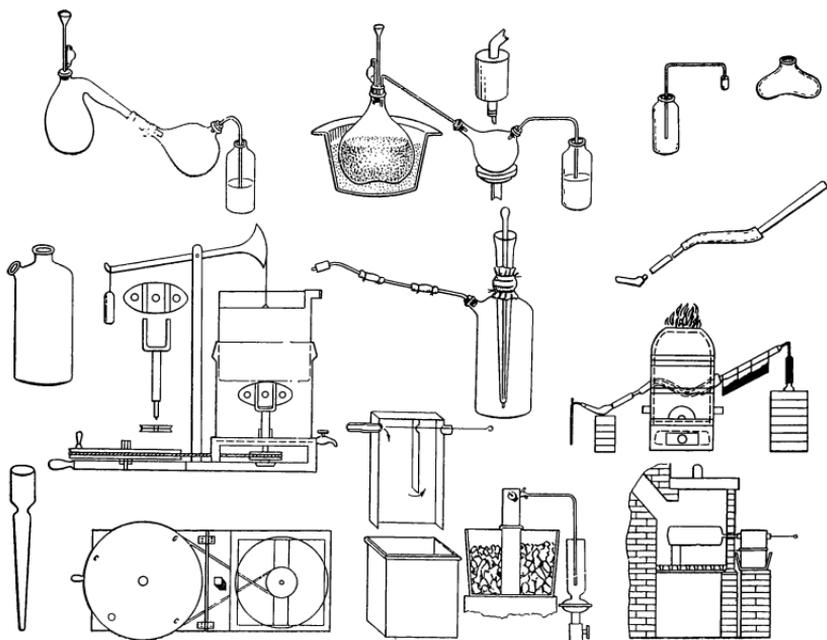
В связи с этим он считал, что написание органической химии должно быть отсрочено до тех пор, пока ученые не будут иметь надежных результатов исследований, касающихся основных законов состава органических соединений и отношений между составляющими их элементами. К концу 1820-х годов органическая химия прошла уже определенный путь своего развития. Накопились факты, наблюдения; открыты были новые классы соединений (жиры, алкалоиды и др.), которые нуждались в освещении и обобщении. Берцелиус взял на себя труд упорядочить хозяйство органической химии. Он решил написать первое руководство по органической химии как «совершенно самостоятельной дисциплины».

В письме от 20 октября 1826 г. к Э. Митчерлиху Берцелиус писал: «На этих днях я закончил редакцию химии растений. Я затратил много труда для того, чтобы внести порядок в научный материал. Увидим, насколько это удалось мне. Существующий до настоящего времени способ расположения продуктов органической природы аналогично расположению неорганических тел является основной причиной беспорядка в растительной химии и трудностей на пути к ясному уразумению и сохранению в памяти деталей этой науки. Растительная химия — чрезвычайно интересное и богатое поле для химика...» (цит. по [3, с. 30]).

«Руководство по органической химии» вышло в свет в 1827 г. на шведском и немецком языках. В нем был систематизирован большой фактический материал и изложены взгляды автора на природу и причины образования органического вещества.

Особенности состава органических соединений Берцелиус характеризует тремя положениями: 1) в состав органических веществ может входить лишь небольшое число элементов, а именно: кислород, водород, углерод и азот; иногда в небольших количествах: сера, фосфор, хлор, фтор, железо, калий, натрий, кальций и магний; 2) сложные атомы первого порядка (молекулы) содержат более двух элементов (углерод, водород и кислород либо эти три элемента совместно с азотом); 3) эти три или четыре элемента связаны таким образом, что ни один из них не входит в соединение одним атомом [3, с. 31].

«Учебник химии» Берцелиуса оказал большое влияние на развитие химии первой половины XIX в. Крупные химики высоко оценили многотомный труд шведского ученого. «В этом учебнике, — писал Генрих Розе в 1851 г., —



Рисунки приборов, приложенные к первому тому учебника Берцелиуса (1839 г.)

Берцелиус изложил с большой подробностью все факты, которые были ему известны в науке, при этом с необыкновенной ясностью и в остроумном стиле. Одновременно все обсуждалось со здоровой критикой, с которой никто не мог выступить настолько справедливо и без соблюдения личных интересов, как он, который так высоко стоял в науке» [4]. Это капитальное руководство содержало огромную сумму знаний и фактов, нередко экспериментально проверенных самим автором, а также новые открытия, наименования и понятия, которыми Берцелиус обогатил науку и которые вошли в современную химию.

Мы уже говорили, что в 1806 г. Берцелиус ввел наименование *органическая химия*. *Изоморфизм* химических соединений, открытый в 1819 г. Митчерлихом, получил свое название благодаря предложению Берцелиуса. В 1830 г. шведский химик назвал вещества, имеющие одинаковый процентный и качественный состав, но обладающие разными свойствами, *изомерными* [5].

В 1832 г. в статье «Изомерия» он писал: «Я считаю изомерными те тела, которые образованы из одинаковых

атомов, соединенных в одинаковых относительных и абсолютных количествах, которые обладают одинаковым весом атома (т. е. молекулы.— *Авт.*)». В этой же статье он ввел понятие *полимер* для веществ, в которых «содержатся одинаковые количества элементарных тел при разном абсолютном содержании этих последних» [6].

В 1835 г. Берцелиус ввел понятие о *каталигической силе* веществ, а химическое превращение, вызываемое этой силой, назвал *катализом*. Берцелиус предложил (1835) для спиртов общее наименование *алкоголь*.

При изучении соединений кремния, фосфора, мышьяка, хрома, титана Берцелиус установил, что эти элементы могут входить в состав соединений в различных видоизменениях³. Все эти факты он сообщил в 1840 г. в статье «Об аллотропии простых тел как одной из причин изомерии их соединений», в которой писал: «Замеченное для некоторых элементарных веществ неодинаковое состояние, примером которому служит известный двойкой вид углерода в графите и алмазе, в моем отчете об успехах химии за 1840 г., поданном Королевской Академии, я предложил назвать *аллотропическим* состоянием тел» [7].

При подготовке «Учебника химии» Берцелиусу пришлось проанализировать многочисленные статьи, посвященные различным вопросам химии и смежных с ней дисциплин. Эти статьи печатались в научных журналах Германии, Франции, Англии, России, Италии. В своей сумме они давали богатую информацию об успехах естественных наук. Но эту информацию надо было обобщить, оценить и довести до сведения читателя. Впервые в истории науки Берцелиус взял на себя роль организатора научной информации. В 1820 г. он решил подготовить «Ежегодное сообщение об успехах физики и химии», первый выпуск которого вышел на шведском языке в 1821 г. На 163 страницах Берцелиус изложил не только достижения последнего года, но и связанные с ними более ранние работы, и не только в области химии, но и физики, минералогии, кристаллографии и геологии в виде подробных легко чи-

³ В дальнейшем оказалось, что целый ряд элементов образует аллотропические модификации (углерод, железо, фосфор, сера, олово, мышьяк, сурьма и многие другие). В настоящее время известно около 400 аллотропических модификаций 105 открытых элементов периодической системы.

Jahres - Bericht

über
die Fortschritte
der
physischen Wissenschaften

von
Jacob Berzelius.

Aus dem Schwedischen übersetzt

von
C. G. Gmelin.

Erster Jahrgang.

Tübingen,
bei Heinrich Laupp.
1822

Титульный лист «Ежегодных сообщений»

таемых сообщений, сопоставленных между собой. Приступая к изданию своих «Ежегодников», Берцелиус поставил перед собой благородную цель широкой пропаганды достижений современной науки. В первом выпуске «Ежегодника» за 1821 г. Берцелиус писал от имени Стокгольмской Академии наук, «что благодаря продолжению этих сообщений об успехах наук может быть достигнута для образованной части нации конечная цель, которую она при этом имеет в виду; именно, более близкое знакомство с прогрессом человеческого знания, значительное внимание к

изучению практических наук, более широкое применение их результатов к искусству и ремеслу, и по необходимости вытекающее отсюда большее всеобщее преуспевание и взаимопонимание» [8].

Вторая задача, которую ставил перед собой Берцелиус, заключалась в организующей роли реферативного журнала, который должен был объединить усилия ученых многих стран. При этом Берцелиус отмечал, что издание «Ежегодных сообщений» позволяет не только подвести итог проделанной исследовательской работы, но и указать на целесообразность задуманных тем. «Если собрать в каждом году плоды человеческих стремлений к большему и правильному знанию, то с радостью можно увидеть увеличивающийся общий итог, и этот подсчет более высокого порядка позволяет нам измерить не только общее продвижение вперед, но и сказать, чего мы сами при этом добились, позволяет увидеть, что сможем мы внести благодаря индивидуальным усилиям в общее дело, и это нередко побуждает нас к такой деятельности, которую бы в другом случае могли бы, вероятно, оставить», — писал шведский химик в 1828 г. [9].

Говоря о большом значении научных исследований, познающих явления и законы природы, Берцелиус писал:

«Кто спрашивает у научного исследования, зачем оно нужно, тот ничего не понимает в науке. Всякое новое положительное знание, как ни кажется оно ненужным в обыденной жизни, приводит к новым знаниям, с которыми оно связано, и способствует развитию понятий, приносит результаты, важность которых в большинстве случаев не может быть предсказана у колыбели исследования. В науке нет ничего незначительного, что не заслуживало бы быть исследованным и познанным, и то, что с виду казалось незначительным, будучи исследовано, имеет значение, которое с течением времени может стать очень большим» [10].

При подготовке «Ежегодных сообщений» Берцелиус не только реферировал огромное количество научных работ, но старался дать объективный анализ и критическую оценку большинства работ ученых того времени.

Оценка Берцелиусом научной работы была очень авторитетной. Об этом свидетельствуют следующие слова из письма И. Малагути к Ш. Жерару от 30 сентября 1842 г.: «Я убежден, что без вмешательства общественного мнения Вы пропали... Если Либих Вас любит, он должен был

бы изложить Ваше положение Берцелиусу, просить его написать хотя бы одну фразу о Вашем мемуаре, и эта фраза, будучи повторенной французскими журналистами, делает Вас неприступным...» [11].

На протяжении многих лет ученые разных стран могли неоднократно убедиться в научном беспристрастии Берцелиуса. Все это создало ему авторитет мудрого судьи, приговорам которого долгое время подчинялись все. «Когда я даю мои обзоры в «Ежегодных сообщениях», то для меня нет ни друзей, ни врагов»,— писал он Ф. Вёлеру [12]. «Это было,— пишет П. Вальден,— подобно вынесению приговора верховным судьей республики ученым. И этот приговор много значил. Как часто молодые и опытные исследователи ожидали с чувством страха из уст Берцелиуса этого приговора и какими гордыми и подкрепленными в своих собственных глазах чувствовали себя те, работы которых удостоивались одобрения или даже похвалы» [13].

В связи с этим становится понятной та широкая популярность «Ежегодных сообщений», которую они завоевали в 20—40-х годах прошлого столетия. Многие химики с нетерпением ожидали их выхода, чтобы не только познакомиться с современными достижениями науки, но и увидеть, какое место заняли их собственные работы в общем развитии науки.

Путем критического освещения научной литературы Берцелиус, как никто другой, содействовал развитию химических исследований. Он поощрял и воспитывал талантливую молодежь и уничтожающими приговорами закрывал путь бездарностям.

За 26 лет (1821—1847) Берцелиус издал 27 выпусков «Ежегодных сообщений», каждый из которых представлял объемистый том, содержащий иногда до 800 страниц печатного текста (всего в 27 выпусках — 12000 страниц). Все 27 выпусков шведского издания «Ежегодных сообщений» были переведены Х. Гмелиным и Ф. Вёлером на немецкий язык под названием «Jahres-Bericht über die Fortschritte der Chemie und Mineralogie».

Начиная с 1842 г. «Ежегодники» издавались под названием «Jahres-Bericht über die Fortschritte der Chemie und Mineralogie». Несколько выпусков реферативного журнала Берцелиуса было переведено на французский язык [14]. Отдельные выпуски «Ежегодных сообщений»

в сокращенном виде были переведены на русский язык и опубликованы в «Горном журнале» [15].

«Ежегодники» Берцелиуса явились первым периодическим изданием, в котором не только обобщались все экспериментальные и теоретические достижения химиков всех стран, но и устанавливались между ними тесные научные связи. Выпуск «Ежегодников» послужил началом издания ряда реферативных журналов во второй половине XIX в. Однако ни один из них не сыграл той организующей роли, которую выполнял «Ежегодник», объединявший усилия химиков всего мира [16].

После смерти Берцелиуса Ю. Либих продолжал публикацию «Ежегодника». 29 августа 1848 г. Либих писал Вёлеру: «Я решил с Коппом и другими в будущем издавать «Ежегодные сообщения» еще и потому, чтобы это дело не смогло попасть в другие и к тому же плохие руки».

Первый номер журнала «Ежегодник прогресса химии, физики, минералогии и геологии» под редакцией Либиха вышел в 1849 г. Первые восемь лет редакторами «Ежегодника» были Ю. Либих и Г. Копп, а в последующие годы один Копп. Но эти «Ежегодники» существенно отличались от «Ежегодных сообщений» Берцелиуса. Они главным образом реферировали опубликованные работы. По образному выражению В. Оствальда, «при возрастающей полноте его здоровье становилось все хуже, и год за годом, день за днем беззвучно и бесшумно он скатывался в теневую область истории» [17]. Аромат личного отношения и причастность к проводимым исследованиям утратились. Пришла сухая информация — полезная и нужная, но не возбуждающая тех чувств, которые испытывал читатель «Ежегодных сообщений» Берцелиуса.

Научные связи Берцелиуса с русскими учеными

Опубликованная научная переписка Я. Берцелиуса с различными учеными составляет 13 томов, которые содержат около 4000 страниц. Эпистолярное наследие шведского ученого — богатейший источник ценных сведений о научных связях Берцелиуса с учеными разных стран. Это, по сути дела, история химии первой половины XIX в., окрашенная личными тонкими деталями острой борьбы мнений по важнейшим теоретическим вопросам. Переписка отражает сложные нюансы и эволюцию взаимоотношений между ведущими учеными, их характер, разную оценку новых открытий и научных гипотез¹.

В исторической литературе вопрос о научных связях Берцелиуса с учеными разных стран обсуждался неоднократно. Отдельные статьи были посвящены, например, взаимоотношениям Берцелиуса с английскими учеными, главным образом Г. Дэви. Подробно рассмотрен вопрос о научных связях Берцелиуса с немецкими учеными (Ф. Вёлером, Ю. Либихом, Э. Митчерлихом, Генрихом и Густавом Розе и др.), с великим немецким поэтом В. Гёте.

Новые материалы позволили сделать определенный вывод о тесных научных связях Берцелиуса с русскими учеными. Особый интерес в этом отношении представляет личная переписка шведского ученого с учеными России. В то время быть корреспондентом Берцелиуса — значило информировать о своих научных исследованиях и полученных новых результатах всю химическую общественность, ибо «Ежегодники» и учебники Берцелиуса, куда он вносил полученные им научные сведения из России, читались химиками всего мира.

Большой интерес к трудам Берцелиуса со стороны русских ученых был проявлен еще в первые десятилетия XIX в. В 1820 г. академики Петербургской Академии

¹ См. Приложения 1, 2, 6, 7.

наук А. И. Шерер, Я. Д. Захаров и П. А. Загорский представили к избранию в почетные члены Петербургской Академии наук Я. Берцелиуса, имевшего величайшие заслуги в области химии. В протоколе конференции Академии наук от 15 ноября 1820 г. (§ 381) говорится:

«Академики Захаров, Загорский и Шерер... сделали письменное предложение об избрании в иностранные почетные члены Академии г. Якоба Берцелиуса, члена и неперменного секретаря Стокгольмской Академии наук, кавалера ордена Полярной звезды. Конференция приступила к голосованию, и знаменитый химик был избран в почетные члены Академии единогласно» [1].

В связи с избранием Берцелиус 17 января 1821 г. направил секретарю Петербургской Академии наук письмо, в котором он выражал свою «почтительную признательность за лестное отличие, оказанное ему этим избранием», и заверил, что «будет стремиться заслужить эту честь до конца своих дней».

Берцелиус был избран также почетным членом Московского общества испытателей природы.

С целью ознакомления русского читателя с трудами, исследованиями и открытиями Берцелиуса в русских научных журналах публиковались переводы его работ. Сообщения об открытиях шведского ученого приводились на страницах русских учебных руководств по химии. Так, в 1813—1817 гг. в России был издан фундаментальный пятитомный учебник химии Ф. И. Гизе «Всеобщая химия для учащихся и учащих», в котором излагались работы Берцелиуса. Сохранились письма Гизе к Берцелиусу, где обсуждались важные теоретические проблемы химии того времени. Так, письмо Гизе от 29 ноября 1813 г. показывает, что он отказался от представления о хлоре как о сложном теле и о соляной кислоте как кислородном соединении, в состав которого входит вода. «Предположение о наличии воды в соляной кислоте находится в полной дисгармонии с законами, так основательно развиваемыми из года в год, тогда как в противоположность предположение о ее составе из галогена и водотвора (водорода.— Авт.) и простота газа окисленной соляной кислоты, или галогена, по-видимому, очень хорошо согласуется с этими законами» [2, с. 333].

В 1820—1830 гг. в научном периодическом издании «Новый магазин естественной истории, физики, химии и сведений экономических», который издавал профессор

Московского университета И. А. Двигубский, появилось много статей и заметок, в которых излагались на русском языке исследования, открытия и выдержки из трудов Берцелиуса. Так, в 1821 г. в этом журнале появилась интересная статья профессора физики Московского университета М. Г. Павлова «О полярно-атомической теории химии». В этой статье автор, отмечая заслуги Берцелиуса в обосновании закона кратных отношений, писал: «Давно замечено, что тела соединяются в некоторых пропорциях; но замечание сие не имело никаких последствий. В новейшие времена Дальтон, английский химик, обратил на то все внимание, за ним и другие, а преимущественно Берцелиус; многие разложения тел с сего целью повторены, многие вновь сделаны, вследствие чего нашлось, что тела соединяются между собою в определенных и постоянных, а не во всех возможных пропорциях, как думали прежде, и что отношения сих находятся всегда в целых, а не дробных числах» [3, с. 160—161].

Об электрохимической теории Павлов писал: «Главными в оной есть — соединение электрической гипотезы с атомистической и электрохимический взгляд на тела; последними двумя предметами наиболее занимался Берцелиус» [3, с. 227].

В «Новом магазине естественной истории» было опубликовано «Общее обозрение последствий, известных по сие время из исследований об определенных содержаниях, в коих тела соединяются». Автор этого обзора И. И. Варвинский писал: «Хотя в прошедшем веке из опытов Венцеля, Бергмана, Рихтера и наипаче Хиггинса можно было заключать о существовании определенных содержаний, в каковых тела соединяются, но различные обстоятельства более от состояния науки, нежели от недостатка умопроницательности сих великих мужей зависящие, тому препятствовали. Честь развязки сего великого узла отнести должно поучительному прению двух великих нашего времени химиков — Бертолле и Пруста и особливому естествоиспытательному духу Берцелиуса... Справедливость Прустова утверждения, многими опытами доказанная, была каждому опытному химику очевидна.

Важнейший вопрос оставался неразрешенным: такая постоянность в соединениях относится ли ко всем телам вообще, или по различию тел она бывает различна? Сие представлено было решить гению Берцелиуса,

который... нашел те законы, которыми управляются соединения тел в огромной лаборатории природы» [4].

Для русских химико-аналитиков и минералогов большой интерес представляла статья «О испытании ископаемых тел паятельной трубкою (записка Гаусмана) и дополненная из книги Берцелиуса» (перевод И. Варвинского) [5].

В 1824 г. в журнале Двигубского была опубликована статья И. Я. Зацепина «О Берцелиевых законах химического сродства», в которой подчеркивалось, что Берцелиус своими работами по определению атомных весов элементов «весьма много споспешествовал к возвышению химии до достоинства науки» [6, с. 85]. «Для легчайшего обозрения соединений, как тех, кои в природе существуют (ископаемые), так и тех, которые может делать химик, Берцелиус изобрел различные химические и минералогические формулы, в коих немногими знаками изображает все соединения» [6, с. 97]. В этой статье впервые на русском языке была приведена таблица атомных весов, химические знаки элементов и формулы химических соединений, которыми пользовался Берцелиус.

В 1824 г. в «Новом магазине» сообщалось, что «Знаменитому шведскому химику Берцелиусу удалось, наконец, получить силиций отдельно, в совершенной его чистоте, из двойной соли плавиковокислого кремния и соды посредством соды. Берцелиус нашел, что чистый силиций не сгорает даже в кислородном газе; ни вода, ни селитряная (азотная) кислота, ни царская водка, ни едкие щелочи на него не действуют; одна только плавиковая кислота растворяет его несколько, а особливо если к ней примешано немного и селитряной кислоты» [6, с. 135].

В том же году в этом журнале в переводе Варвинского была опубликована глава из учебника Берцелиуса «Lärbok i Kemien» («Об участии электричества при соединении тел, или основания электрохимической теории») [7].

О работах Берцелиуса сообщал также «Указатель открытий по физике, химии, естественной истории и технологии», который издавал профессор Н. В. Щеглов в Петербурге с 1824 по 1832 г. Так, в 1827 г. в заметке «О получении циркония и свойствах его» описывался метод получения этого металла, разработанный Берцелиусом [8].

В 1826 г. сообщалось об опытах Берцелиуса над индиго; о свойствах и составе дубильного вещества, получа-

емого из чернильных орешков; о химических свойствах терпентина [9, с. 381, 390].

В 1832 г. в «Указателе» была опубликована статья об открытии Берцелиусом явления изомерии под названием «Общие замечания о телах, имеющих одинаковый состав, но различные свойства», в которой отмечалось, что «некоторые новейшие исследования довольно ясно показывают, что многие тела, при одинаковом химическом составе и одинаковом атомистическом весе имеют различные свойства. Берцелиус называет таковые тела изомерическими (isomériques), для различия же их между собою к названию изменившегося каким-нибудь образом тела прибавляет греческое слово *παρα* (пара), которое вообще означает перемену... Для объяснения сих различий можно предположить, что они происходят от неодинакового совокупления частиц тел; ибо атомы простых тел при влиянии различных обстоятельств могут различно соединяться в правильные формы; а от сего и образуемые ими вещества могут получать различие в действии их на свет и в стремлении к соединению с другими телами» [10]. Перевод этой статьи был также опубликован в «Горном журнале» [11].

В 1826 г. в «Горном журнале» появилась большая статья Варвинского «Краткое обозрение законов, по которым безорудные тела соединяются». В этой статье было отмечено, что «в 1807 г. Берцелиус начал свое исследование о постоянных пропорциях с особливою ревностью и свойственным ему остроумием, так, что ему почти исключительно обязана химия важным ее, по сей части, приращением» [12].

В 1826—1827 гг. в «Горном журнале» были опубликованы статьи Берцелиуса «О переменах и химической системе минералов как необходимом последствии этой способности однообразных тел, которой они заменяют друг друга в неопределенных пропорциях» и «О свойствах силиция и об отношении его к другим телам». В 1827 г. там же была опубликована глава «О минералогических формулах, изобретенных Берцелиусом» [13].

В «Горном журнале» публиковались переводы некоторых годовых отчетов Берцелиуса. Так, в 1827 г. был опубликован обзор Берцелиуса «Об успехах в познании химических свойств минеральных тел, в особенности относительно металлов» [14]. Затем появился «Краткий отчет об усовершенствованиях во всеобщей химии в тече-

ние 1825 г.» [15]. Отчет Берцелиуса [16] об усовершенствованиях, сделанных во всеобщей химии, а именно в определении свойств неметаллических тел, в 1829—начале 1830 г. был опубликован в «Горном журнале» за 1832 г. [17].

В 1828 г. Берцелиус послал И. К. Поггендорфу исправленную таблицу атомных весов элементов и их соединений, которая была опубликована в том же году в «Poggendorff's Annalen», а в 1829 г. в «Горном журнале» [18]. В 1829—1832 гг. в «Горном журнале» сообщалось об опытах Берцелиуса по определению «атомистического веса иода и брома» [19]; о химических исследованиях Берцелиуса известных до сих пор «ископаемых, содержащих в себе тантал»; о ванадии и его свойствах [20].

В 1832 г. была опубликована статья Берцелиуса «Алхимия», посвященная истории химии, в которой были разобраны основные способы алхимиков получать «золото» из простых металлов [21].

В «Горном журнале» за 1832—1833 г. частями публиковался перевод книги Берцелиуса «Руководство к разложению неорганических тел» [22, 23].

Все эти статьи, как уже отмечалось, были призваны познакомить русских ученых, горных инженеров и практиков с работами и открытиями Берцелиуса. Эти статьи представляли собой важную научную информацию, без которой немислимо было успешное развитие науки в отдельных странах.

Немалую пользу в деле преподавания химии в России принесли руководства Берцелиуса, которыми пользовались профессора русских университетов при чтении курсов по аналитической и неорганической химии. Так, профессор Московского университета Р. Гейман в 1826/27 учебном году читал курс аналитической химии «по руководствам Берцелиуса, Тенара и Розе».

Большое значение работам Берцелиуса по количественному анализу придавал профессор Московского университета А. А. Иовский. Он говорил студентам, что Берцелиус «из недр природы извлек новые тайны и сотворил аналитическую химию». В 1827 г. Иовский издал книгу «Химические уравнения с описанием различных способов определять количественное содержание химических веществ». Большую часть этой книги занимают «таблицы Берцелиуса, расположенные по азбучному порядку и показывающие вес атома большей части неорганических

веществ, так же как и состав оных в сотых частях», взятые из его сочинения «Опыт теории химических пропорций».

В России была сделана попытка перевести на русский язык фундаментальный «Учебник химии» Берцелиуса. Нами найдены интересные данные о том, что 17 августа 1831 г. состоялось заседание Петербургской Академии наук, посвященное обсуждению «русского перевода первой части химии Берцелиуса, сделанного Еремеевым. Переводчик предлагал свой труд правительству безвозмездно и просил только о доставлении ему способов продолжать оный. Гесс донес, что по прочтении перевода он нашел его заслуживающим одобрения, почему о переводчике и сделан Министру благоприятный отзыв» [24].

В своем отзыве Г. И. Гесс писал: «Я просмотрел перевод первого тома химии Берцелиуса, сделанный г. Еремеевым, и нашел его точным; я вынес убеждение, что переводчик вполне в состоянии справиться с задачей, которую он себе поставил. г. Еремеев просит у правительства представить ему сумму в 1500 р., чтобы запастись всеми новыми сочинениями по химии, поскольку он желает добавить в виде дополнительных примечаний в конце текста открытия, сделанные после опубликования труда знаменитого шведского химика. Я считаю своим долгом обратить внимание Академии на то, что в данное время на русском языке не существует ни одного, хотя бы посредственного, труда по химии. Без сомнения, опубликование классического труда, относящегося к точной науке, которая в наши дни стала основой стольких отраслей промышленности, будет большой заслугой в деле народного просвещения» [24].

Несмотря на этот благоприятный отзыв, работа по переводу следующих томов учебника Берцелиуса, видимому не проводилась. В 1831 г. на русском языке вышел оригинальный учебник химии Г. И. Гесса «Основания чистой химии». Можно предположить, что в связи с этим надобность публикации на русском языке много-томного учебника Берцелиуса отпала.

При составлении своих «Ежегодных сообщений», при проведении исследований в различных областях химии и минералогии Берцелиус внимательно следит за развитием этих наук в различных странах и в том числе в России.

В своем «Ежегоднике» шведский химик прорефериро-

вал около 250 работ русских ученых². Заслуженное внимание было уделено работам Г. И. Гесса, Ю. Ф. Фрицше, Э. Х. Ленца, Н. Н. Зинина, Р. И. Германа, К. К. Клауса, И. В. Авдеева, Б. С. Якоби, А. А. Воскресенского, А. Я. Купфера. Неоднократно реферировались также работы А. И. Ходнева, К. Х. Гебеля, К. Э. Шмидта, Г. Ф. Паррота, К. С. Кирхгофа, П. П. Шубина, П. И. Эйбродта. Приводятся (иногда в очень краткой форме) упоминания о работах Т. Е. Ловица, А. П. Нелюбина, И. И. Варвинского, И. М. Симонова, П. А. Ильенкова, Н. Э. Ляковского, Н. А. Иванова, Н. Р. Мамышева, П. И. Евреинова, И. П. Илимова, П. Г. Соболевского, А. И. Кованько, М. Ф. Энгельгардта [25].

Неоднократно Берцелиус указывал на высокий уровень работ русских ученых и большую научную ценность полученных результатов.

Так, об известном методе получения ароматических аминов восстановлением нитросоединений, открытом Н. Н. Зининым, Берцелиус писал: «У Зинина возникла счастливая идея исследовать действие сероводорода на соединения оксидов органических радикалов с азотной кислотой. Его первые исследования касаются нитронафталязы $C^{20}H^{14}O\ddot{N}$ — Лорана (α -нитронафталин.— Авт.) и нитробензида $C^{12}H^{10}O\ddot{N}$ — Митчерлиха (нитробензола.— Авт.). Процесс отличается большой простотой» [26]. В последующих выпусках ежегодников Берцелиус прореферировал работы Зинина, относящиеся к дальнейшему изучению реакции восстановления нитросоединений.

Берцелиус переписывался со многими русскими учеными. Им были установлены научные связи с Г. И. Гессом, А. Я. Купфером, Ф. И. Гизе, Ю. Ф. Фрицше, Г. В. Струве, К. К. Клаусом, Т. Гротгусом, К. Х. Гебелем, П. И. Эйбродтом, Р. И. Германом и др., которых он знал либо лично, либо по письмам³.

² Работы того или иного ученого могут быть легко найдены в авторском указателе к 25 томам «Ежегодных сообщений»: «Vollständiges Sach- und Namen-Register zum Jahres-Bericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften, der Chemie und Mineralogie von Jacob Berzelius». Erster bis fünfundzwanzigster Jahrgang. Tübingen, 1847.

³ В архиве Берцелиуса в Стокгольме хранится 25 писем Г. И. Гесса, написанных в период 1826—1842 гг.; 15 писем Ю. Ф. Фрицше за 1838—1847 гг.; 4 письма Г. В. Струве за 1846—1847 гг.; 5 писем Р. И. Германа за 1826—1834 гг.; 2 письма Ф. И. Гизе за 1813 г.;

В своем первом письме от 28 июля 1813 г. Гизе писал: «Господину профессору Берцелиусу.

Меня побудили написать Вам три причины: 1) вступить в близкий контакт с моим ученым коллегой в науке, 2) осведомиться о прибытии моей «Химии растительных и животных веществ»⁴ в Вашу Академию и 3) сообщить Вам некоторые пожелания, просьбы и мысли.

...Мой труд является результатом многолетней работы и представляет первую попытку характеризовать и классифицировать органические вещества по их химическим реакциям. Мне не известно, попытались ли Вы уже в своей органической химии⁵ установить естественные связи между веществами организмов, занимающими особое положение, как это было сделано давно с неорганическими, так как Ваш труд из-за незнания языка я не могу понять.

Но в любом случае я очень хочу, чтобы Вы, специально занимающийся химией органических тел, осветили мой труд факелом критики» [2, с. 337].

В другом письме от 29 ноября 1813 г. Гизе писал Берцелиусу: «...Теперь я перехожу к большой просьбе, в которой Вы не откажете мне ради поощрения химии в России, именно — я прошу Вас любезно сообщить о найденных Вами доказательствах состава азота... скоро я перейду к обсуждению данного предмета в 3-й части своей химии»⁶.

...Учение об определенных пропорциях в моем труде представлено полностью и применяется настолько, насколько было возможно» [2, с. 340].

Гизе благодарил Берцелиуса за «очень интересные письма», в которых шведский ученый подробно пояснял свою точку зрения.

В письмах к русским ученым Берцелиус сообщал о своих новых открытиях. Так, после открытия селена Берцелиус сообщил об этом Гротгусу. В ответном письме к Берцелиусу Гротгус писал из Гедучи 19 сентября 1821 г.: «Разрешите, милостивый государь, еще особо поблагода-

одно письмо П. И. Эйбродта за 1836 г.; одно письмо Т. Гротгуса за 1821 г.

⁴ *Giese J. E. F. Chemie der Pflanzen- und Thierkörper. Leipzig, 1811.*

⁵ *Berzelius J. J. Föreläsningar i djurkemien, d. 1/2. Stockholm, 1806—1808.*

⁶ *Гизе Ф. Всеобщая химия для учащихся и учащихя. Харьков, 1813, т. 3.*

рить Вас за селен, который Вы мне передали в дар. Я уже давно желал увидеть его, а сейчас Вы дали мне возможность даже изучить его наиболее примечательные свойства. Я восхищался статьей, которую Вы посвятили этому веществу, и особенно тому остроумию и искусству, которыми Вы сумели отделить его от всех других веществ, с которыми он находился в смеси. Несколько лет тому назад у меня было намерение нанести Вам визит в Стокгольме; я надеялся, что, возможно, Вы разрешили бы мне свободный доступ в Вашу лабораторию. Судьба заставила меня изменить это намерение» [27].

В 1818 г. Гротгус открыл реакцию роданидов с солями кобальта и железа и сообщил об этом Берцелиусу, который в своем «Учебнике химии» упомянул об этом открытии [28].

Особенно тесная и прочная дружба связывала Берцелиуса с Г. И. Гессом — выдающимся русским химиком, основателем термохимии.

Впервые Берцелиус познакомился с Гессом в 1825 г., когда молодой русский ученый приехал из Дерпта к нему в лабораторию в Стокгольме. Гесс приехал к Берцелиусу как к великому мастеру химических исследований для завершения образования и проведения некоторых аналитических опытов.

В лаборатории Берцелиуса Гесс работал больше четырех месяцев, каждый день был рядом с великим химиком, наблюдал за его работой, пользовался его советами.

На Берцелиуса Гесс произвел хорошее впечатление. 9 декабря 1825 г. Берцелиус писал Ф. Вёлеру: «Озанн, который должен прибыть сюда из Дерпта, прислал мне на время своего ученика, д-ра Гесса, молодого человека, который много обещает. У него хорошая голова, по-видимому, он обладает хорошими систематическими знаниями, большой внимательностью и особым рвением. Я уверен, что буду очень доволен учеником» [30].

Положительные отзывы Берцелиуса о Гессе, которые он высказал устно профессору Г. Озанну, сыграли в жизни молодого ученого немалую роль. В 1828 г. для него открылись двери Петербургской Академии наук, и он без особых осложнений был избран адъюнктом, а вскоре и академиком (в возрасте 32 лет).

В своем рекомендательном отзыве Озанн писал 3 июня 1828 г. в Петербургскую Академию наук: «Он имел счастье работать некоторое время в лаборатории знамени-



Герман Иванович Гесс

того химика профессора доктора Берцелиуса в Стокгольме, где он закончил хорошо начатый уже в Дерпе анализ обсидиана. Когда я позже приехал в Стокгольм, я часто имел возможность говорить с Берцелиусом о Гессе. Он выражался о нем чрезвычайно благоприятно» [31].

После возвращения в Россию Гесс в письмах к Берцелиусу подробно информировал его о своей жизни и научной деятельности. Научная переписка Берцелиуса с Гессом длилась долгие годы, с 1826 по 1842 г. В письмах Гесс часто спрашивал совета у Берцелиуса относительно того, в каком направлении лучше продолжать то или иное исследование, какие выводы можно сделать о составе вещества на основе полученных данных; он сообщал ему о результатах новых исследований, о планах на будущее и т. п.

В 1830—1831 гг. Гесс изучал состав соединений кобальта и определял его атомный вес. О результатах своих анализов он подробно сообщил в письме к Берцелиусу от 4 июля 1831 г. (письмо на семи страницах).

Приступив к чтению курса химии в Петербургских высших учебных заведениях, Гесс понял, что в руки русских студентов, изучающих химию, необходимо дать оригинальный учебник химии, написанный на уровне науки того времени.

4 июля 1831 г. Гесс писал Берцелиусу: «...Я был вынужден считаться с крайним недостатком в России работ, относящихся к химии, и опубликовал 1-й том курса химии, второй уже печатается, а весь он будет состоять из 3 томов...» [32]. Учебник Гесса назывался «Основания чистой химии». Этот прекрасный учебник выдержал семь изданий (первое издание вышло в 1831 г., последнее — в 1849 г.). Большой интерес представляет письмо Гесса к Берцелиусу от 27 сентября 1832 г., в котором он сообщал ему о плане и структуре своего первого учебника.

«...Посылаю Вам тем путем, который Вы мне любезно указали, два тома химии, опубликованные на русском языке. Постараюсь изложить Вам в нескольких словах план, какому я следовал, хотя применение химических формул может до известной степени дать Вам представление о том, что я здесь рассматриваю. Весь труд будет состоять из трех томов. В двух первых я говорю о 56 простых телах и их наиболее замечательных неорганических соединениях. Третий том будет подразделяться на три следующих части: 1. Краткое изложение органической химии. 2. О химическом анализе. 3. Химические приборы и приемы. Я классифицировал соединения металлоидов так, чтобы всегда упоминать соединения с предыдущими веществами (примерно как Гмелин). Что касается металлов, то я посвящал им разделы. Порядок, в котором я перечислял металлоиды, на первый взгляд кажется произвольным, но вот на чем он основан: я старался начинать с истории элементов, которые больше всего могут способствовать развитию мыслей читателя и обратить его внимание на ежедневно встречающиеся ему явления, объяснение которых более чем что-либо другое может дать ему представление о важности изучения химии. Это — O, H, N, C, дальше я помещаю P, а затем S и рассматриваю их друг за другом вследствие существующей между ними аналогии. Далее по той же причине пойдут Cl, Br, J, F.

Не думаете ли Вы, что я составил классы, группы и т. п. наподобие французов, которые ничего не могут сделать, не начав с систематики. Я тщательно избегал утомлять читателя изучением подразделений, не встречаю-

щихся в природе. Я предполагаю у своих читателей или слушателей первоначальные познания в физике и сразу вступаю в область химии. Я начинаю с того, что даю им представление о химическом соединении. Говорю о химическом сродстве, о кратных (отношениях), о знаках и формулах. Я всегда начинаю с опыта и вывожу из него заключения. Может показаться, что это слишком много для первых уроков, однако я не раз убеждался на практике, что мои слушатели легко схватывают эти понятия и приобретают ясные представления, о которых всегда могут дать отчет. Здесь принято, что на лекциях, читаемых не для широкой публики, профессор уделяет часть своего времени на то, чтобы задавать вопросы своим слушателям» [32].

В 1834—1836 гг. Гесс сообщал Берцелиусу о своих исследованиях по органической химии. В ряде писем он подробно описывал изобретенные им прибор и метод органического анализа в токе кислорода и устройство спиртовой лампы для нагревания трубки с анализируемым веществом.

Вместе с письмами Гесс посылал Берцелиусу отдельные страницы своих опубликованных работ. Так, в письме от 3 мая 1836 г. он послал «Заметку о некоторых пиро-генических продуктах», посвященную изучению продуктов, полученных сухой перегонкой нефти и различных масел. В письме от 27 ноября 1833 г. Гесс писал Берцелиусу: «...Из Вашего письма мне сдается, что мое последнее письмо, написанное нынешней осенью, не дошло до Вас. Я отнес его, согласно Вашему указанию, в Посольство... и вручил два маленьких пакета советнику Посольства... Один из пакетов содержал несколько образцов минералов; в другом был экземпляр моей химии на русском языке и письмо с некоторыми замечаниями о русской номенклатуре и о других вещах. Будьте любезны осведомиться насчет этих двух пакетов.

Вы читали в № 6 журнала⁷ Поггендорфа о методе, предложенном мною для обработки колыванского теллуритого серебра. Краткое изложение Вашей работы⁸, напечатанное в том же №, показало мне, что теллурат калия

⁷ Hess H.— Ann. Phys. Chem., 1833, Bd. 104, S. 407—411.

⁸ Berzelius J. J. Ueber das Tellur, dessen Darstellung, Atomgewicht, Dichtigkeit und Sauerstoffsäuren.— Ann. Phys. Chem., 1833, Bd. 104, S. 322—401.

следовало фильтровать, я же его только отцедил. Мне затем встретились трудности при его плавке, Вы же о них не поминаете; если их у Вас не было совсем, я должен буду выяснить причину их возникновения... На воздухе он медленно окисляется, а при промывании через фильтр сначала идет чистая жидкость, затем она становится молочной, так как вода, в которой он растворен, осаждает теллуристую кислоту. Через полмесяца я освобожусь от работы над кратким курсом химии, который издаю, и тогда снова возьмусь за эту тему, если, однако, Вы сочтете ее заслуживающей труда. Я знаю твердо одно, что не возьмусь в ближайшем будущем за писание книг; надо быть похожим на Вас, чтобы это не мешало экспериментам. Прошу Вас передать мои приветы Мозандеру. Скажите ему, что я сдаюсь: у меня за 4 года только две дочери, а у него разом два сына!

Я очень ленив на письма, но Вы видите, что я твердо решил исправиться. Преданный Вам...» [33, с. 178].

В письме от 6 октября 1833 г. Гесс сообщил Берцелиусу основные результаты своего исследования состава сахарной кислоты, образующейся при действии разбавленной азотной кислоты на сахар. В письме от 6 января 1839 г. Гесс послал Берцелиусу «Заметку о составе везувиана» и «Заметку о природе пламени».

Берцелиус также знакомил Гесса с результатами своих новых исследований и открытий. Так, в письме к Гессу от 5 февраля 1839 г. из Стокгольма Берцелиус сообщал о новом металле, обнаруженном шведским химиком Мозандером в церите. Получив азотнокислый церий, Мозандер выделил из него новую «землю», названную, по предложению Берцелиуса, лантановой.

В этом письме Берцелиус писал: «Я надеюсь иметь возможность сообщить в следующем моем годичном донесении открытие двух новых металлов. Но как поныне только один из них с достоверностью исследован, то я промолчу теперь о другом. Это наш друг Мозандер, который открыл его в церите. Незадолго до моей болезни он дал мне около двух граммов нового оксида для подробнейшего исследования, и я убедился, что его открытие не подлежит ни малейшему сомнению. Оксид церия, добываемый из церита, содержит около 40% другого основания, которое несравненно сильнее, нежели оксид церия, от которого его отделяют растворением в весьма слабой кислоте. Понимается, что для этого нужно, чтобы церий был со-

вершенно превращен в состояние оксида и прокален до-красна. Новый оксид есть землистое щелочное вещество, восстанавливающее синий цвет лакмусовой бумаги. Он нерастворим в углекислом аммиаке; соли его имеют вкус чисто вяжущий. Я предложил Мозандеру назвать тело это лантановым оксидом, но не знаю еще, принял ли он это название» [34].

28 декабря 1840 г. Гесс писал Берцелиусу: «...Посылаю Вам второй лист моих термохимических исследований, результаты которых Вам, вероятно, уже известны из статей, посланных мною за границу. Я продолжаю свои исследования, которым занимаюсь более чем какими-либо другими вопросами, ввиду того, что это поле еще совершенно новое для науки, дает богатые плоды. В следующей статье, над которой я работаю, Вы увидите, между прочим, доказательство неправильности допущения, что кислоты можно рассматривать как водородные кислоты: что, например, следует писать $\text{H}^2 + \ddot{\text{S}}$ и что совершенно неправильно писать $\text{H}^2 + \ddot{\text{S}}$. Пора разрешить этот вопрос, потому-то столь справедливые усилия, как усилия Грэма¹⁰, уже направляются на эти представления, как только будет убедительно доказано, что все, допущавшееся до сих пор как вполне возможное, есть лишь пустая игра формулами...

У меня уже нет никаких сомнений по поводу основного вопроса; выделяемое тепло есть мера сродства. Это сообщает всей химии иной характер; может быть, мне выпадает на долю счастье — открыть общий закон сродства, но во всяком случае я уверен в том, что приготовил путь к этому открытию. Как только я немного подвинусь вперед, я надеюсь опубликовать мой курс химии на немецком языке, он будет весь разработан по этому принципу, однако не увлекаясь гипотезами. Моя цель — показать ученому миру, какого множества работ требует эта новая точка зрения, и тем самым побудить возможно большее число работников принять в них участие.

Преданный Вам Г. Гесс» [32].

⁹ Точка зрения Гесса оказалась неверной. Как показали электрохимические исследования Дж. Даниеля (1839), серную кислоту нужно рассматривать не как $\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (по Берцелиусу), а как $2\text{H}^+ + \text{SO}_4^-$.

¹⁰ Томас Грэм (1805—1869) — английский химик, с 1837 по 1855 г. профессор Лондонского университетского колледжа.

1840 год был ознаменован открытием закона постоянства сумм тепла. В формулировке Гесса он гласил: «Когда образуется какое-либо химическое соединение, то при этом выделяется всегда одно и то же количество тепла, независимо от того, происходит ли образование этого соединения непосредственно или косвенным путем». Относительно открытия одного из основных законов термодинамики Гесс сообщил Берцелиусу в письме от 10 февраля 1841 г.

В «Ежегодных сообщениях» работам Гесса Берцелиус уделил большое внимание. На страницах «Ежегодника» нашли отражение термодинамические исследования Гесса, в частности закон термодинамической эквивалентности [35].

О работах русских химиков Берцелиус часто информировал также Н. Г. Норденшельд¹¹, который работал в Петербурге. Так, в своих письмах он сообщал Берцелиусу о работах П. П. Шубина, Р. И. Германа, П. И. Евреинова, А. И. Ходнева и др.

«Евреинов,— писал он,— получил патент на метод платинирования меди и железа, который останется тайной еще в течение 2-х лет... Фрицше работает над рутением и при этом нашел быстрый легкий метод растворения осмистого иридия» [36].

Берцелиус очень интересовался минеральными и рудными богатствами России. Он просил знакомых русских ученых присылать ему экземпляры минералов и руд из различных месторождений Урала и других мест России. Состав многих из этих минералов был изучен и описан Берцелиусом.

А. Я. Купфер, тогда профессор Казанского университета, сообщал Берцелиусу 15 октября 1828 г., что он посылает ему небольшой ящичек с разными минералами, привезенными им с Урала, откуда он только что вернулся. Купфер просил Берцелиуса исследовать эти минералы и сообщить ему результаты анализов. «Мне,— писал Купфер,— нужны совершенно точные данные для труда по минералогическому описанию Урала, которое я намерен выпустить в ближайшее время.

В тех же Ильменских горах близ Миасса найден корунд (коричневого цвета). Крайне огорчен, что не могу Вам

¹¹ Нильс Густав Норденшельд (1792—1866) — химик, геолог и минералог. С 1819 г.— член-корреспондент Петербургской Академии наук.

его послать... Голубой корунд, найденный недавно в Кыштыме (в той же горной цепи), имеется там в таком изобилии, что его намерены применять в качестве наждака на фабрике холодного оружия в Златоусте.

Это важное нововведение сделано инспектором этих заводов Аносовым, имя которого уже известно минералогам в связи с его геогностическим описанием Урала» [32].

Берцелиусу как непременно секретарю Шведской Академии наук посылались различные труды русских ученых. Получив книгу «Сборник магнитных наблюдений, произведенных в С. Петербурге и других пунктах Российской империи», Берцелиус написал академику Купфёру (письмо от 12 декабря 1838 г.):

«Академия получила труд под заглавием «Сборник магнитных наблюдений, произведенных в С. Петербурге и других пунктах Российской империи», который Вы благоволили ей прислать. Она поручила мне выразить Вам благодарность от ее имени. Труд передан в библиотеку Академии. Як. Берцелиус» [32]. К этому официальному письму сделана следующая приписка рукой Берцелиуса: «Я имел честь получить прошлым летом письмо от Вас и г. Озерского вместе с инструкцией к производству магнитных наблюдений. Шлю Вам за нее тысячу благодарностей. У нас в Швеции имеется до сих пор лишь две обсерватории, где производятся магнитные наблюдения, именно: в Упсале и в Стокгольме. Эти два пункта так близки один к другому, что могут служить только для взаимного контроля. В данное время производятся также наблюдения в Альтене близ Нордкапа; можно надеяться, что эти наблюдения будут продолжаться. В Лунде наблюдений нет ввиду большой близости Копенгагена» [37, л. 3].

16 сентября 1845 г. Берцелиус писал Купфёру: «Стокгольмская Академия наук поручила мне просить Вас передать благодарность Академии, русскому Горному институту за присланные ими «*Annaires magnétiques et météorologiques*» с начала до 1842 г., полученные прошедшим летом.

В отношении сопровождающего последнее отправление циркуляра, где Горный институт просит прислать в обмен те издания Академии, которые содержат магнитные или метеорологические наблюдения или статьи по общей физике, Академия вышлет Горному институту за его счет через здешнего русского генерального консула вновь основанные «*Öfversigt at K. Vetenskapsakademiens Förhand-*

ligar» с самого начала, а также и продолжение. Статьи по физике встречаются в «Abhandlungen der Akademie» очень редко, но если бы они встретились, то отдельные их оттиски также будут посланы (Институту)» [37, л. 4].

В Архиве Академии наук СССР хранится интересное письмо Я. Берцелиуса к Б. С. Якоби (от 1 сентября 1840 г.). В ответ на сообщение Якоби об изобретении им гальванопластики Берцелиус писал:

«Искренне Вас благодарю за любезно присланную Вами двойную медную пластинку с моим именем, причем одна из них была получена гальваническим путем, а также за интересную печатную статью о гальванопластике. Желаю от всего сердца, чтобы Вам посчастливилось на вновь проложенном Вами пути широкого применения электрических и магнитных сил.

Какое, действительно, великое дело заставить служить себе первоначальные силы природы.

С глубоким уважением имею честь оставаться преданным Вам Як. Берцелиус» [38].

В «Ежегоднике» в одном из рефератов Берцелиус писал по поводу этого изобретения: «Этот метод снятия копий с медных пластинок, медалей и т. д., получивший название гальванопластики, уже начал завоевывать широкое применение. Его распространили даже на копирование неметаллических предметов: гипсовых орнаментов, фарфора, керамики» [39]. Среди других работ Берцелиус реферировал сообщение Якоби о новой конструкции электрической батареи с горизонтально поставленными электродами, описывает также новую конструкцию гальванометра и опыты, касающиеся сравнения показаний электромагнитного и электрохимического гальванометров.

Большой интерес представляют данные о работе русских химиков в стокгольмской лаборатории Берцелиуса. Мало известно, что в лаборатории Берцелиуса, кроме Г. И. Гесса, работали также Г. В. Озанн, Ю. Ф. Фрицше, Г. В. Струве, К. Э. Шмидт¹².

¹² 17 мая 1846 г. Ю. Ф. Фрицше из Петербурга писал Берцелиусу: «...Беру на себя смелость рекомендовать Вам подателя этих строк, молодого здешнего химика г. Шмидта, который только что закончил свое образование в Дерпте и сейчас хочет посетить за границу. Вы осчастливите его, если разрешите ему познакомиться с учреждением, откуда вышло все новое направление нашей науки» [32].



Юлий Федорович Фрицше

В письмах Фрицше подробно информировал Берцелиуса о своих научных исследованиях. Так, в письме от 23 января 1846 г. он писал: «Глубокоуважаемый друг... решаюсь вновь сообщить Вам о том, что я делаю в научной области... Друг Норденшельд уже сообщил Вам предварительно о моем методе растворения осмистого иридия. Я очень прилежно работал над продолжением исследований солей осмия... Интересные результаты, которые обещают дать все платиновые металлы при новой обработке, побудили меня заняться исследованием веществ, переходящих в раствор вместе с платиной при очистке. Для этого я получил, по своей просьбе, достаточное количество материалов. Как

только я получу результаты, заслуживающие того, чтобы о них сообщить, я возьму на себя смелость осведомить Вас об этом, ибо полагаю, что предмет, которому и Вы посвятили много времени, должен живо Вас интересовать...

Вероятно, Вы получили платиновые остатки (5 фунтов), которые по моей просьбе были выделены для Вас Горным департаментом.

...В свою очередь, мне очень хотелось бы получить несколько фунтов церита, а также некоторое количество минералов, содержащих иттриевую землю... Как только представится случай, я пошлю Вам образчик моих новых препаратов. В заключение позволю себе сообщить Вам, что г. Клаус недавно получил за открытие рутения Демидовскую премию в 5000 руб. от Академии» [32].

29 сентября 1846 г. Берцелиус писал Фрицше: «Если Вы продолжили свои опыты над лейкогарминами, хризогарминами и пр., я был бы Вам признателен за любезное сообщение о них; тогда я смогу включить Ваши данные в новое издание моего учебника» [40].

Вскоре Фрицше писал Берцелиусу: «Уже давно я горячо желал посетить Вас в Стокгольме и сейчас имею возможность осуществить это желание... Для меня чрезвычайно важно получить Ваш ценный совет по многим вопросам моей работы о платиновых металлах...» [32].

2 октября 1846 г. Берцелиус писал Норденшельду в Петербург: «В тот момент, когда я пишу эти строки, входят Фрицше и молодой химик Струве. Они собираются задержаться здесь на 14 дней или даже дольше.

Как я наговорюсь с ними!» [41].

В письме к Ф. Вёлеру 27 октября 1846 г. Берцелиус общался: «У меня находился в течение месяца Фрицше из Петербурга и с ним также сын астронома Струве, который, если я не заблуждаюсь, станет со временем отличным химиком. К этому он имеет все основания, глубоко размышляет и выдержан. Они работали у меня с платиновыми металлами и главным образом с новой солью осмиамовой кислоты, о чем я думаю еще упомянуть в ближайшем письме. Поскольку можно судить о проведенных опытах, эта соль состоит из $\text{KOs} + \text{Os} \ddot{\text{N}}$ и при нагревании разлагается с детонацией. Кислота $\ddot{\text{O}}\text{s} + \text{Os} \ddot{\text{N}}$ может быть получена в водном растворе, однако это продолжается недолго, пока она не начинает разлагаться, осаждая $\text{Os} \ddot{\text{N}} \text{H}^3$ и выделяя

свободную осмиамовую кислоту. Серебряная соль детонирует уже при + 60°.

Тебе понятно, что существование этой соли, или, вернее сказать, этой кислоты, меня в высшей степени заинтересовало, так как оно дает поразительное, хотя и не прямое доказательство предложенного мной представления о химической природе гремучей кислоты.

Эта новая кислота — также гремучая кислота, но составлена из других элементов.

Фрицше показал мне свой метод разделения осмия — иридия с помощью $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{K}}\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Cr}}$ и $\overset{\cdot}{\text{K}} + \overset{\cdot}{\text{H}}$, которое происходит по волшебству» [42, с. 520].

В «Ежегодных сообщениях» Берцелиус подробно описывает труды Фрицше, в частности дает высокую оценку его методу выделения осмия из осмистого иридия. «Химическая операция разложения осмистого иридия принадлежит, особенно вследствие трудности растирания руды, к самым трудным. Фрицше нашел метод, благодаря которому она стала одной из легких. Я опишу его так, как соблаговолил показать мне его Фрицше в моей лаборатории». [43] Этот метод разложения осмистого иридия обладает значительными преимуществами по сравнению с прежними, так как отпадает необходимость в трудоемкости операции измельчения осмистого иридия, а сам процесс протекает быстро и с незначительной затратой тепла. Дважды реферировал Берцелиус работы Фрицше и Струве, связанные с открытием и изучением свойств осмиамовой кислоты.

Возвратясь из Стокгольма, Фрицше послал Берцелиусу письмо, в котором благодарил за теплый прием, статью о гармалине¹³ и некоторые препараты (главным образом соли гармалина). «Я надеюсь, — писал Фрицше, — что еще удастся использовать содержание этой статьи для Вашего учебника... Гармин, при Вашем одобрении, я называю лейкогармином. Повторные анализы совершенно устранили все мои сомнения относительно состава гармалина и гармина, и я сейчас считаю установленным, что гармин отличается от гармалина лишь тем, что содержит на два эквивалента водорода меньше, чем последний».

¹³ Гармалин — алкалоид, входящий в состав растения «степная рута».

Далее Фрицше сообщал Берцелиусу о работе Струве над соединениями осмия. Сообщения Фрицше весьма заинтересовали Берцелиуса.

12 января 1847 г. Берцелиус писал Вёлеру:

«В предыдущей почте, кроме твоего письма, получил я также письмо от Фрицше, которое до ухода почты я не смог прочитать. Теперь я сообщу тебе кое-что из него. Ты помнишь, что он и Струве работали очень прилежно в течение нескольких недель у меня с осмиамовой гремучей кислотой, причем они не смогли прийти к точному определению содержания азота. Это произошло теперь. Осмиамовая гремучая кислота состоит из $\text{Os} + \text{Os}\ddot{\text{N}}$, где $\text{Os}\ddot{\text{N}}$ составляет пару. Она насыщает 1 атом основания, и ее соли при известной температуре разлагаются со взрывом. Из этого ты видишь, что мой взгляд на обычную гремучую кислоту косвенно может быть доказан...

Фрицше нашел в семенах *Reganum harmala*, кроме гармалина, также лейкогармин, который он раньше получил из гармалина. Он нашел простой метод разделения оснований» [42, с. 647—648].

Зимой 1847/48 г. Струве работал у Берцелиуса в качестве лаборанта. «Он настолько передовой химик, — писал Берцелиус Вёлеру, — что я считаю большим удовольствием наблюдать за его работами и иметь возможность между прочим дать совет» [42, с. 691].

В письме из Стокгольма Берцелиус писал Струве: «Дорогой Струве! Очень рад Вашему приезду. Только дай Бог, чтобы болезнь мне не помешала быть Вам полезным в той мере, как бы мне того хотелось. Если Вы найдете какое-либо новое оборудование, которое может пригодиться при Ваших химических работах, то привезите его с собой, потому что у меня все более или менее старомодное. Вероятно, нынче осенью я уеду с дачи только 12-го или 13-го октября. Жена шлет Вам привет. Ваш друг Як. Берцелиус» [32].

В течение длительного времени Берцелиус проводил исследования химии платиновых металлов. Естественно, что он не мог не заинтересоваться богатейшими уральскими месторождениями платины. В 1827 г. Е. Ф. Канкрин¹⁴ преподнес ему для его исследовательских работ пол-

¹⁴ Егор Францевич Канкрин (1774—1845) — министр финансов (с 1823 г.). С его деятельностью связано развитие отечественной

фунта платины. В России в то время не знали, что делать с этим металлом; его сплавляли с медью и пытались даже изготовить из него пушки.

В 1828 г. в «Горном журнале» была опубликована статья Берцелиуса «Разложение нижнетагильской и гороблагodatской платины», в которой он описал метод разделения платиновых металлов и результаты анализа. В нижнетагильской руде он обнаружил платину, иридий, родий, палладий, медь, железо и нерастворимый остаток; в гороблагodatской руде он нашел те же самые металлы, кроме иридия [44].

В 1829 г. «Указатель открытий» сообщил, что Берцелиус, коему посланы были образцы уральской платины для разложения от российского горного начальства, подарил обширным, практическим и теоретическим описанием способов для разложения сырой платины, напечатанным в нынешнем году в Парижских летописях химии и физики... Он излагает сравнительно следствия сделанных им разложений сырой платины гороблагodatской, нижнетагильской и колумбийской, или американской...» [45].

В одном из писем к П. К. Сухтелену¹⁵ от 13 мая 1828 г. Берцелиус сообщал об анализе уральской платины: «Господин граф, имею честь препроводить при сем мой труд по анализу сибирской платины в сопровождении официального письма на имя Вашего Превосходительства. Если когда-либо встанет вопрос о вознаграждении за работу, выполнение которой я так затянул, разрешите мне сказать, что я счел бы себя полностью вознагражденным, если бы г. министр финансов распорядился в Горном Управлении о высылке мне образцов руды из каждого места добычи платины весом не менее чем в две унции каждый. У меня двойная цель: исследовать их и поместить затем некоторые образцы в минералогическую коллекцию Публичного музея, находящегося в ведении Академии наук» [33, с. 178].

фабричной и заводской промышленности в первой половине XIX в.

¹⁵ Русский посол в Стокгольме Петр Корнильевич Сухтелен (1751—1836) был лично знаком с Берцелиусом. Он собрал большую коллекцию рукописей, инкунабулов, книг, карт, писем, среди которых имеется 4 письма Берцелиуса и 158 писем к нему от различных европейских ученых. Эта коллекция хранится в Ленинградской Публичной библиотеке им. М. Е. Салтыкова-Щедрина [33].



Карл Карлович Клаус

Изучением русской платиновой руды занимались в то время многие ученые. В 1826 г. Г. В. Озани в Дерпте сделал работу, в которой заявил об «открытии» им в платиновой руде трех новых элементов: плурана, рутения и полина. Дальнейшие исследования в этом направлении показали ошибочность работы Озанна.

Являясь крупным авторитетом в области химии платиновых металлов, Берцелиус, однако, не считал свои работы по платине и ее спутникам последним словом в науке. Более того, он признавал, что его работы представляют только главные «черты химической истории этих трудно исследуемых» элементов. Авторитет Берцелиуса и его точные исследования способствовали тому, что последующие исследователи химии платиновых металлов относились очень внимательно и осторожно к своим результатам и выводам.

К. К. Клаус, профессор Казанского университета, оставил нам интересное свидетельство о том, что несходство его экспериментальных данных с данными Берцелиуса заставило русского ученого очень тщательно по-

вторять свои опыты. В 1854 г. Клаус писал: «Пусть не сочтут за дерзость с моей стороны то, что я выступаю с фактами, которые противоречат наблюдениям этого великого химика, перед заслугами которого весь химический мир снимает шляпу и память которого и для меня навсегда останется чтимой и дорогой. Каждый беспристрастный критик поверит, что я проявил достаточно рассудительности и что я предпринимаю такой рискованный шаг не только на основании беглых исследований; напротив, чем больше в моих опытах было противоречия этому авторитету, с тем большей осторожностью и тщательностью я должен был контролировать мои работы, и именно этот контроль дал мне смелость высказать, что превратило их в мои убеждения» [46].

Нет сомнения, что именно это помогло Клаусу прийти в 1844 г. к важному открытию нового химического элемента — рутения. Некоторые препараты рутения Клаус (15 ноября 1844 г.) послал в Стокгольм Берцелиусу. Берцелиус призвал открытие Клауса и послал ему письмо от 24 января 1845 г., в котором писал: «Примите мои искренние поздравления с превосходными открытиями и изящной их обработкой: благодаря им Ваше имя будет неизгладимо начертано в истории химии. В наше время очень принято, если кому-либо удалось сделать настоящее открытие, вести себя так, как будто вовсе не нужно упоминать о прежних работах и указаниях по тому же вопросу в надежде, что ему не придется делить честь открытия с каким-либо предшественником. Это — плохое обыкновение, и тем более плохое, что преследуемая им цель все же через некоторое время ускользает. Вы поступили совсем иначе. Вы упомянули о заслугах Озанна и выдвинули их, причем даже сохранили предложенное им название. Это такой благородный и честный поступок, что Вы навсегда вызвали во мне самое искреннее, глубокое почтение и сердечную симпатию, и я не сомневаюсь, что у всех друзей доброго и справедливого это встретит такой же отклик.

Я взял на себя смелость представить извлечение из Вашей статьи Академии наук, которая напечатает его в своем Отчете об этом заседании. С глубочайшим уважением имею честь оставаться. Преданный Вам Як. Берцелиус» [47].

Труды Клауса нашли широкое освещение в «Ежегодных сообщениях» Берцелиуса. Большое внимание было

уделено шведским химиком открытию и исследованию свойств рутения [48]. Берцелиус отмечает работу Клауса по изучению свойств платины и металлов платиновой группы. Реферируются также работы, связанные с получением роданидов некоторых металлов, и работа, посвященная изучению свойств камфоры.

Подробно Берцелиус излагает работу И. В. Авдеева «О глиции и его соединениях». Свой реферат он начал такими словами: «Очень важное исследование о составе бериллиевой земли и об атомном весе бериллия поставлено под руководством Генриха Розе Авдеевым» [49].

В 30–40-х и последующих годах XIX в. отношение русских ученых к работам и теориям Берцелиуса заметно изменилось. Если раньше русские ученые только популяризировали работы Берцелиуса, переводили их на русский язык без каких-либо критических замечаний, то в эти годы проявляется явно критическое отношение к различным теориям Берцелиуса.

В учебнике «Основания чистой химии» Гесс писал: «Всякая теория имеет целью облегчать понятие известных явлений, подводя их под общую точку зрения, но коль скоро встречаются явления, явно противоречащие теории, то она уже не соответствует своему назначению и не может быть принята. Посему-то я не следовал электрохимической теории. Однако несмотря на сие, электрохимическое отношение тел как частное явление для нас весьма важно. Сверх того, отношение сие не есть предположение, но явление, истинно встречающееся, а по сему, и не принимая электрохимической теории, не должно исключать из химии наблюдения электрохимического отношения тел» [50].

Профессор Харьковского университета А. И. Ходнев, ученик Гесса, подверг критике электрохимический дуализм. В содержательной обзорной работе «О соединении минеральной и органической химии в одно целое» (Харьков, 1848) Ходнев по поводу теории сложных радикалов писал: «Берцелиус, который принадлежит к числу ревностных защитников теории сложных радикалов, не всегда действует согласно с нею. Он не принимает водородной теории, которая в сущности есть то же, что и теория сложных радикалов; допускает радикалы, содержащие серу, и отвергает кислородные радикалы, тогда как сера и кислород, по его же мнению, суть тела электроотрицательные и могут замещать одно другое, и т. п.» [51, с. 35].

По словам Ходнева, Берцелиус, чтобы согласовать факты с теорией, должен был «придумать для них (химических соединений. — *Авт.*) совершенно неестественные формулы». Ходнев отмечал, что «Берцелиус очень часто восставал особенно против того, что теория типов допускает замещение простого тела, водорода, сложными радикалами, каковы амид, азотноватая кислота, сернистая кислота и т. д. Но нападки его несправедливы уже по одному тому, что и сам он допускает, что сложные органические радикалы играют роль элементов, а следовательно, еще скорее могут выполнять то же самое назначение тела менее сложные, и при том известные в свободном состоянии» [54, с. 65—66].

Критическое отношение передовых русских ученых к электрохимической дуалистической теории Берцелиуса, однако, нисколько не умаляет влияние трудов Берцелиуса на русских ученых. Для многих из них он был учителем и мудрым советчиком. Сотрудничество русских химиков со шведским ученым вошло большой главой в историю химии первой половины XIX в. в России.

Заключение

Перед нами прошла жизнь замечательного ученого — жизнь удивительная своими свершениями и трудолюбием. История химии дарит нам прекрасный пример отношения к труду, истине и науке. «Наука захватывает нас,— говорил Д. К. Максвелл,— только тогда, когда, заинтересовавшись жизнью великих исследователей, мы начинаем следить за историей их открытий»¹.

Берцелиус стал великаном в науке благодаря непреклонной воле и радостному стремлению к исследованию. Если счастье — в радости труда, то Берцелиус был счастливым человеком, ибо жизнь его — всецело творчество.

Он экспериментировал и делал новые открытия, выдвигал смелые гипотезы и писал учебники, реферировал работы для «Ежегодника» и читал лекции. Попутно он успевал прочитывать присланные ему книги по химии, минералогии и другим наукам и писал ответы авторам с оценкой их труда. Ум его охватывал всю химию, он был авторитетным специалистом почти в любом вопросе не только химии, но и минералогии, геологии и других наук. Это был, пожалуй, едва ли не единственный ученый-химик, который был в курсе всех достижений современной ему науки и который суммировал почти все естественно-научные знания своего времени.

Берцелиус оказал мощное воздействие на развитие всего естествознания первой половины XIX в. Умелой рукой систематика и синтетика в период ярко выраженного процесса дифференциации наук он находил связующие звенья, общие концепции, позволяющие усмотреть в химии неорганической и органической, физике, минералогии и физиологии то общее, что лежало в основе этих наук.

Берцелиус хорошо понимал, что быстрота мысли опережает медлительность опыта. Но он никогда не стремился ускорить «бег» опыта, чтобы молниеносно подтвердить возникшую гипотезу. Он строил «химический дом» осно-

¹ Максвелл Д. К. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 335.

вательно. Главная его забота была о фундаменте будущего величественного здания. Здесь каждый «кирпич» должен был быть многократно проверен и измерен, прежде чем его можно было уложить в основание. Фундаментом естественных наук он считал атомистическую теорию, обогащенную электрохимическим учением.

При всей многогранности этого яркого таланта научная деятельность Берцелиуса была исключительно целенаправленной. Он начал с того, что определил химический состав тысячи различных веществ и обосновал один из основных законов химии — закон простых и кратных отношений. Затем он воздвигает монумент атомистической теории — систему атомных весов всех известных тогда химических элементов.

Последовательно расширяя сферы влияния атомистической теории, Берцелиус выдвигает гипотезу о силах, действующих между атомами. Электрохимическая теория Берцелиуса была «всеобъемлющей, строго последовательной теорией атомов, которая ставила своей задачей не только найти общие свойства атома, но и дать сведения о силах, которые обуславливали их стремление к соединению, и о влиянии расположения атомов на химическое соединение»².

Берцелиус высказал совершенно новые оригинальные положения о распределении электричества на атомах, о неравноценности их полюсов, что существенно отличало его теорию от менее совершенных электрохимических теорий, предложенных другими учеными.

Чтобы облегчить понимание атомистической теории, он вводит язык химических знаков, сыгравший исключительно важную роль в развитии химии. С помощью химических символов химики стали составлять эмпирические и рациональные формулы химических соединений и химические уравнения. Этот язык не только передавал точную информацию обо всех уже известных химических объектах, но и позволял ставить новые проблемы. Комбинацией химических знаков химики получили возможность предсказывать существование новых соединений определенного состава и строения. Эвристическая мощь этого языка особенно проявилась в структурной химии.

² *Blomstrand C. W. Die Chemie der Jetztzeit vom Standpunkte der elektrochemischen Auffassung aus Berzelius Lehre entwickelt. Heidelberg, 1869, S. 11—12.*

От изучения отдельных элементов и их соединений Берцелиус перешел к их систематизации на основе электрохимических представлений. Затем он распространил эту систематизацию на минералогию, наведя и в ней порядок. От «минерального царства» он подошел к проблемам жизни и к силам, проявляющимся в органическом мире.

Как последовательный и убежденный сторонник атомистической теории Берцелиус не раз говорил о большом научном значении этой теории.

В предисловии к «Учебнику химии» (1828) Берцелиус писал: «...Придет время, когда гипотезы об атомных частицах и общее электрическое взаимодействие тел превратятся в прекрасно обоснованную теорию, и тогда химия станет на прочный путь, если ее изучение будет начинаться со знакомства с этой теорией»³.

Берцелиус критиковал идеалистическую динамическую теорию Канта—Шеллинга, которая отрицала атомы и считала, что вещество является результатом взаимодействия нематериальных сил. Он называл динамическую теорию «умозрительной» философией известных немецких школ и отвергал ее в интересах «превосходной атомистической философии».

Динамической системе Берцелиус противопоставил атомистическую теорию, которую он рассматривал как основную теорию химии.

Берцелиус всегда исходил из опытов, систематически и скрупулезно собирал факты, выявляя ту или иную закономерность. Большая часть фактов, приведенных в пяти объемистых томах (4625 страниц) его «Учебника химии», была им экспериментально проверена, многочисленные вещества впервые получили свое научное обозначение, были созданы новые понятия.

Берцелиус был учителем многих химиков различных стран, которые учились по его «Учебнику», читали его «Ежегодные сообщения», получали от него письма, следовали советам и указаниям учителя. Его лаборатория стала своеобразной Меккой для химиков. Именно там многие учились методам химического исследования у Мастера эксперимента.

Генрих Розе, характеризуя учителя, писал: «... Если человек, вооруженный исключительнейшим исследова-

³ Жизнь науки. Антология вступлений к классике естествознания. М.: Наука, 1973, с. 241.

тельским талантом, обогащает все отделы своей науки важнейшими фактами, выделяется равным образом в экспериментальных и теоретических исследованиях, охватывает все философским взглядом, при этом ясно систематизирует отдельные факты... и, наконец, становится также в любознательном кругу учеников возвышенным примером практического и теоретического учителя, то такой человек исполнил в своей науке высочайший долг такой степени, что он и в будущие времена будет светить как яркий пример.

Таким был Берцелиус. Редко соединяются в одном человеке все эти качества в большем совершенстве, чем у него. Никто не превзошел его в этом, по крайней мере, в химической науке»⁴.

«Беззаветное служение науке» — не фальшивая нота, но точная характеристика жизненного пути Берцелиуса. Именно служение, именно беззаветное, именно бескорыстное.

В историю науки Берцелиус вошел как ученый, который осветил все области химии и смежных с ней дисциплин ярким факелом атомистической теории. В этом мы видим его главную заслугу перед современной наукой, немислимой без атомно-молекулярной теории.

⁴ *Rose H. Gedächtnissrede auf Berzelius.— Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Aus dem Jahre 1851. Berlin, 1852, S. XVII—XIX.*

Литература

Цитированная литература

I

1. *Berzelius J. J.* Autobiographical Notes. Baltimore: 1934. 194 p.
2. *Бобров Е. Г.* Линней, его жизнь и труды. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. 217 с.
3. *Гиртаниер Х.* Начальные основания химии, горючее существо опровергающей. СПб.: 1801, с. 2—3.
4. *Thomson T. A.* The History of Chemistry. 2nd ed. London, 1832, p. 26—27, 190—250.
5. *Канницаро С.* Исторический обзор применения атомистической теории и химии и систем формул, выражающих строение соединений.— Унив. изв. (Киев), 1873, № 1, с. 5.
6. *Volta A. G.* On the Electricity Excited by the Mere Contact of Conducting Substances of Different Kinds.— Phil. Trans. Roy. Soc. of London, 1800, vol. 90, p. 403—431; см. также перепечатку под ред. Сартона в ISIS, 1931, vol. 15, p. 124—147.
7. *Nicholson W., Carlisle A.* Account of the New Electrical or Galvanic Apparatus of Sig. Alex. Volta, and Experiments Performed with the Same.— Journal. of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts (Ed. W. Nicholson), 1800, vol. 4, p. 179—187.
8. *Ritter J. W.* Versuche zum Erweise, dass auch bei der gewöhnlichen Elektrizität in chemischer Hinsicht die positive die Oxygene, die negative hingegen die Hydrogene ist.— Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1801, Bd. 9, S. 1—17.
9. *Nicholson W.* A Dictionary of Chemistry, Exhibiting the Present State of the Theory and Practice of that Science, its Application to Natural Philosophy, the Processes of Manufactures, Metallurgy etc. 2 vols. London, 1795. Vol. I. 672 p.
10. *Berzelius J. J.*— Jahres-Bericht, 1828, Jg. 7, S. 19.
11. *Rose H.* Gedächtnissrede auf Berzelius.— Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Aus dem Jahre 1851. Berlin, 1852, S. XXII—XXIII.
12. *Jac. Berzelius* Bref. / Ed. H. G. Söderbaum: Correspondance entre Berzelius et C. L. Bertollet (1810—1822). Uppsala: Almqvist, 1912, Section I, t. I. 246 p.
- 12a. *Jac. Berzelius* Bref. / Ed. H. G. Söderbaum: Correspondance entre Berzelius et C. L. Bertollet (1810—1822). Uppsala: Almqvist, 1912, Section II, t. I. 251 p.
13. Письмо Берцелиуса.— Химия и жизнь, 1968, № 10, с. 47—48.
14. *Wöhler F.* Jugend-Erinnerungen eines Chemikers.— Ber. Deutsch. Chem. Ges., 1875, Bd. 8, S. 838—852; русский перевод: *Вёлер Ф.* Юношеские воспоминания химика.— Горный журнал, 1876, кн. 2, с. 312—326; см. также: *Мусабеков Ю. С. Ф.* Вёлер и значение его трудов в развитии химии.— Тр. / Ин-т истории естествознания и техники. М.: Изд-во АН СССР, 1960, т. 30, с. 71—96.
15. Берцелиус.— Сын отечества, 1850, июль, № 7, с. 22—24.

16. Briefwechsel zwischen J. Berzelius und F. Wöhler. Leipzig, 1901, Bd. I, S. 418.
17. Berzelius und Liebig. Ihre Briefe von 1831—1845. München; Leipzig, 1893. 279 S.
18. *Мусабеков Ю. С.* Юстус Либих. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 215 с.
19. *Walden P.* Berzelius und wir.— Z. angew. Chem., 1930, Bd. 43, S. 327.
20. *Джуа М.* История химии. М.: Мир, 1975, с. 196.
21. *Berzelius J. J.* Lehrbuch der Chemie: 2-te Aufl. Dresden, 1827. Bd. III. 618 S.
22. *Остевальд В.* Эволюция основных проблем химии. М., 1909. 232 с.
23. *Вюрц А.* История химических доктрин. СПб., 1869, 111 с.
24. *Berzelius J. J.* Lehrbuch der Chemie. 5-te Aufl. Dresden; Leipzig, 1843. Bd. I. 890 S.

II

1. *Кедров Б. М.* Три аспекта атомистики. II. Учение Дальтона. Исторический аспект. М.: Наука, 1969. 317 с.
2. *Dalton J.* A New System of Chemical Philosophy. London, 1808, vol. 1, part 1. 253 p.
3. *Boas M.* Structure of Matter and Chemical Theory in the Seventeenth and Eighteenth Centuries.— In: Critical Problems in the History of Science / Ed. M. Clagett. Madison: University of Wisconsin Press, 1959, p. 499—514.
4. *Berzelius J. J.* Försök, rörande de bestämda proportioner, hvarden oorganiska naturens bestandsdelar finnas förenade.— Afhandlingar i fysik, kemi och mineralogi, 1810, bd. 3, s. 162—276.
5. *Berzelius J. J.* Självbiografiska anteckningar, utgifna af Kongl. Svenska Vetenskapsakademien genom H. G. Söderbaum. Stockholm, 1901. 120 s.
6. *Jac. Berzelius* Bref./Ed. H. G. Söderbaum: 2. Lettres détachées (1809—1847). Uppsala: Almqvist, 1920, Section VII, t. III, 320 p.
7. *Wollaston W. H.* On Super-acid and Sub-acid Salts.— Phil. Trans. Roy. Soc., 1808, vol. 98, p. 96—102.
8. *Berzelius J. J.* Förslag till en förbättrad hydrometer.— Afhandlingar i fysik, kemi och mineralogi, 1807, bd. 2, s. 35—40.
9. *Lundgren A.* Berzelius och den kemiska atomteorin. Uppsala: Almqvist and Wiksell, 1979. 210 s.
10. *Dalton J.* On the Absorption of Gases by Water and other Liquids.— Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts (ed. W. Nicholson), 1806, vol. 13, p. 291—300.
11. *Зотов А. Ф., Воронцова Ю. В.* Буржуазная «философия науки» (становление, принципы, тенденции). М.: Изд-во МГУ, 1978. 199 с.
12. *Söderbaum H. G. J.* Berzelius. Levnadsteckning. Uppsala: Almqvist, 1929, Bd. I. 657 s.
13. *Berzelius J. J.* An Address to those Chemists who Wish to Examine the Law of Chemical Proportions, and the Theory of Chemistry in General.— Annals of Philosophy, 1815, vol. 5, p. 122—131.
14. *Murray J.* A Supplement to the first Edition of a System of Chemistry, Containing a View of the Recent Discoveries in the Science. Edinburgh, 1809. 152 p.
15. *Jac. Berzelius* Bref./Ed. H. G. Söderbaum: Correspondance entre

- Berzelius et Humphry Davy (1808—1825); Uppsala: Almqvist, 1912. Section II, t. I. 251 p.
16. *Roscoe H. E., Harden A.* A New View of the Origin of Dalton's Atomic Theory. London, 1896. 210 p.
 17. *Hess G. H. Ueber J. B. Richter's Arbeiten.*—J. prakt. Chem., 1841, Bd. 3, Hf. 7/8, S. 420—438.
 18. *Berzelius J. J.* Versuch über die Theorie der chemischen Proportionen. Dresden, 1820. 198 S.
 19. *Berzelius J. J.* Om de bestämda proportioner hvori den oorganiska naturens bestandsdelar finnas förenade.—Kongliga vetenskapsakademiens handlingar, 1811, S. 169—197.
 20. *Berzelius J. J.* Experiment to determine the Definite Proportions in which the Elements of Organic Nature are combined.—Annals of Philosophy, 1814, vol. 4, p. 323—331.
 21. *Berzelius J. J.* Essay on the Cause of Chemical Proportions, and on some Circumstances Relating to them: together with a Short and Easy Method of Expressing them.—Annals of Philosophy, 1813, vol. 2, p. 443—454.
 22. *Berzelius J. J.* Experiments to Determine the Definite Proportions in which the Elements of Organic Nature are Combined.—Annals of Philosophy, 1815, vol. 5, p. 93—101.
 23. *Jac. Berzelius Bref.* / Ed. H. G. Söderbaum: 2. A Häftet, Correspondance entre Berzelius et J. G. Gahn (1804—1818). Uppsala: Almqvist, Section IX, t. IV, 1922. 156 p.
 24. *Jac. Berzelius Bref.* / Ed. H. G. Söderbaum: Correspondance entre Berzelius et C. Berthollet. Uppsala: Almqvist, Section I, t. I. 1912. 152 p.
 25. *Berzelius J. J. Ueber die Streitigkeiten zwischen Davy und den H. H. Gay-Lussac und Thenard, die Metalle aus den Alkalien, das Ammoniak und den Stickstoff betreffend.*—Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1810, Bd. 36, S. 198—203.
 26. *Berzelius J. J.* Schreiben des Hrn. Berzelius an den Prof. Gilbert, über einige Gegenstände, welche zwischen Davy und den H. H. Gay-Lussac und Thenard streitig sind, und über ein zweites neues Gesetz, welches er im Verfolge seiner Untersuchungen aufgefunden hat.—Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1811, Bd. 37, S. 208—220.
 27. *Berzelius J. J.* Fortsetzung des Versuchs, die bestimmten und einfachen Verhältnisse aufzufinden, nach welchen die Bestandtheile der unorganischer Natur mit einander verbunden sind (Erste, Zweite, Dritte).—Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1811, Bd. 38, S. 161—266; 1812, Bd. 40, S. 162—208; 253—330.
 28. *Gay-Lussac J. L.* Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres.—Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil, 1809, t. 2, p. 207—234.
 29. *Berzelius J. J., Marcet A.* Experiments on the Alcohol of Sulphur, or Sulphuret of Carbon.—Phil. Trans. Roy. Soc., 1813, vol. 27, p. 171—199.
 30. *Фаврштейн М. Г.* История учения о молекуле в химии (до 1860 г.) / Под ред. д.х.н. С. А. Погодина. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 368 с.; с. 35.
 31. *Frické M.* The Rejection of Avogadro's Hypotheses.—In: Method and Appraisal in the Physical Sciences / Ed. C. Howson. Cambridge. University Press, 1976. 350 p.; p. 277—307.
 32. *Канницаро С.* Обзор развития понятия об атоме, частице и эк-

- виваленте и различных систем формул.— Унив. изв. (Киев), 1873, № 1/6, с. 8—9.
33. *Davy H.* Elements of Chemical Philosophy. London, 1812, vol. I, pt 1. 197 p.
 34. *Berzelius J. J.* Försök, att, genom användandet af den electrokemiska teorien och de kemiska proportionerna grundlägga ett rent vetenskapligt system för mineralogien. Stockholm, 1814. 104 s.
 35. *Berzelius J. J.* Försök till ett rent kemiskt mineralsystem.— Afhandlingar i fysik, kemi och mineralogi, 1815, vol. 4, s. 1—148.
 36. *Berzelius J. J.* Untersuchungen über die Zusammensetzung der Phosphorsäure, der phosphorigen Säure und ihrer Salze.— Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1816, Bd. 53, S. 393—446; Bd. 54, S. 31—55.
 37. *Berzelius J. J.* Neue Untersuchungen über die Nature des Stickstoffs, des Wasserstoffs und des Ammoniaks.— Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1814, Bd. 46, S. 131.
 38. *Mitscherlich E.*— Ann. chim. et de phys., 1821, vol. 19, p. 350.
 39. *Вюрц А.* Атомическая теория. Киев, 1882, с. 45.
 40. *Фигуровский Н. А., Куринной В. И.* Определение атомных весов русскими химиками в XIX веке (до 1869 г.).— Ж. физ. химии, 1937, т. 31, вып. 6, с. 1429—1433.
 41. *Einbrodt P.*— J. prakt. Chem., 1836, Bd. 8, S. 345—359.
 42. *Berzelius J.*— Jahres-Bericht, 1847, Jg. 26, S. 146—147.
 43. *Berzelius J. J.*— Annals of Philosophy, 1813, vol. 2, p. 354.
 44. *Berzelius J. J.* Ueber die chemischen Zeichen und die Art inner Anwendung zum Ausdrucke der chemischen Proportionen.— J. für die Chem. und Phys. (Hgn. von A. F. Gehlen), 1815, Bd. 13, S. 241.
 45. *Berzelius J. J.* Ueber die Schwefelsäure.— Pogg. Ann., 1826, Bd. 7, S. 9.
 46. *Berzelius J.* Lehrbuch der Chemie. Dresden und Leipzig, 1845, Bd. III, S. 1168.
 47. *Ströker E.* Denkwege der Chemie Elemente ihrer Wissenschaftstheorie, Freiburg—München, 1967.
 48. *Berzelius J. J.* Lehrbuch der Chemie. Dresden; Leipzig, 1840, Bd. IX, S. 48.
 49. *Блох М. А.* К истории гипотезы Праута.— Усп. химии, т. 9, вып. 2/3, 1940, с. 278.
 50. *Праут В.* Об отношении между удельными весами тел в их газообразном состоянии и весами их атомов.— Там же, с. 293.
 51. *Berzelius J. J.* Attack on Dr. Thomson's «Attempt to establish the First Principles of Chemistry Experiment».— Phil. Mag., 1828, vol. 4, p. 450—453.
 52. *Thomson T.* Reply to Berzelius «Attack on Dr. Thomson's Attempt to establish the First Principles of Chemistry Experiment».— Phil. Mag., 1829, vol. 5, p. 217—223.
 53. *Berzelius J. J.* On the Hypothesis of Mr. Prout, with Regard to Atomic Weights.— Amer. J. of Science (ed. Sillemann), 1845, vol. 48, p. 369—372; перепечатано в сборнике: Classical Scientific Papers. Chemistry, Second Series. London, 1970, p. 67—70.

III

1. *Nicholson W., Carlisle A.* Account of some Important Experiments in Galvanic Electricity.— Phil. Mag., 1800, vol. 7, p. 337—347.
2. *Nicholson W.* A Dictionary of Chemistry. London, 1795, vol. 1.

3. Royal Institution. London: Library, Davy's coll., MS 1 (без даты).
4. *Berzelius J. J.* Afhandling om Galvanismen. Stockholm, 1802. 145 S.
5. *Hisinger W., Berzelius J. J.* Versuche über die Wirkung der elektrischen Säule auf Salze und auf einige von ihren Basen.— Neues allgemeines Journal der Chemie (Hgn. von A. F. Gehlen), 1803, Bd. 1, S. 115—149; перепечатка: Försök med elektriska stapelns verkan på salter och på några af deras baser.— Afhandlingar i fysik, kemi och mineralogie (Af. W. Hisinger och J. Berzelius), 1806, D. 1, s. 1—38 и, в несколько измененном виде: *J. Berzelius, W. Hisinger.* Versuche über die Wirkung der elektrischen Säule auf Salze und deren einige von ihren Basen.— Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1807, Bd. 27, S. 270—304; реферат: Expériences galvaniques par M. M. Hisinger et Berzelius.— Annales de chimie ou recueil de memoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent, 1804, Ser. 1, t. 51, An. XII, p. 167—174.
6. *Lundgren A.* Berzelius och den kemiska atomteorin, Uppsala: Almqvist och Wiksell, 1979. 210 s.
7. *Berzelius J. J.* Traité de Chimie minerale, végétale et animale. 2 édition française, trad. par M. Esslinger et Hoefler. T. 1—6. Paris: Fermin Didot Frères, 1845—1850 (издание не завершено), t. 1, 1845. 846 p.
8. *Berzelius J. J.* Lehrbuch der Chemie. 3. Auflage, übersetzt von F. Wöehler, Bd. 1—10. Dresden; Leipzig: Arnoldischen Buchhandlung, 1833—1841, Bd. I, 1833. 242 S.
9. *Berzelius J. J.* Traité de chimie minérale, végétale et animale: 1-er édition française, trad. Jourdan et Esslinger. T. 1—8. Paris: Fermin Didot Frères, 1829—1833, t. IV, 1831.
10. *Brooke J. H.* Laurent, Gerhard and the Philosophy of Chemistry.— In: Historical Studies in the Physical Sciences/Ed. R. McCormach. Princeton: Univ. Press, 1975, Sixth Annual Volume, 750 p.; p. 405—429.
11. *Baudrimont A. E.* Introduction à l'Étude de la Chimie par la théorie atomique. Paris: Louis Colas, 1833. 268 p.
12. *Berzelius J. J.* Elektroskopiska försök med färgade papper.— Afhandlingar i fysik, kemi och mineralogie (Af. W. Hisinger och J. Berzelius), 1806, D. 1, s. 50—57.
13. *Berzelius J. J.* Elektriska stapelns teori.— Afhandlingar i fysik, kemi och mineralogi (Af. W. Hisinger och J. Berzelius), 1807, D. 2. s. 14—34; перевод: Theorie der electrischen Säule.— J. für die Chemie und Physik. (Hgn. von A. F. Gehlen), 1807, Bd. 3, S. 177—193 и в J. der Pharmacie für Aerzte und Apotheker (Hgn. von J. B. Trommsdorff), 1808, Bd. 17, S. 417.
14. *Söderbaum H. G.* Berzelius' Werden und Wachsen. 1779—1821, Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1970. 230 S.
15. *Davy H.* An Account of some Experiments Made with the Galvanic Apparatus of Signor Volta.— Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts (Ed. W. Nicholson), 1801, vol. 4, p. 337—342.
16. *Russel C. A.* The Electrochemical Theory of Sir Humphry Davy. Pt I: The Voltaic Pile and Electrolysis.— Annals of Science, 1959, vol. 15, N 1, p. 1—13; Pt II: Electrical Interpretation of Chemistry.— Ibid., p. 16—25; Pt III: The Evidence of the Royal Institution Manuscripts.— Annals of Science, 1963, vol. 19, p. 255—271.

17. *Leveré T. H.* Affinity and Matter. Elements of Chemical Philosophy 1800—1865. Oxford: Clarendon Press, 1971. 230 p.
18. *Partington J. R.* A History of Chemistry. London: Macmillan, 1964, vol. 4. 1006 p.
19. *Rowning J. A.* Compendious System of Natural Philosophy. London, 1774, vol. 2. 248 p.
20. *Boscovich R. J.* Theoria philosophiae naturalis. Venice, 1763. 270 p.
21. *Davy H.* On some Chemical Agencies of Electricity (Bakerian Lecture 20 November 1806).—Phil. Trans. Roy. Soc. of London, 1807, vol. 97, p. 1—56.
22. *Grotthus T.* Sur la décomposition de l'eau et des corps qu'elle tient en dissolution à l'aide de l'électricité galvanique.—Annales de chimie ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent. Ser. 1, 1806, t. 58, p. 54—74.
23. *Davy H.* The Collected Works: 9 vols./Ed. J. Davy. London: Foreign Associate of the Institute of France, 1839—1840; vol. 8, 1839. 430 p.
24. *Курсанов В. С.* Эфир и генезис классической теории поля.—В кн.: Механика и цивилизация XVII—XIX вв./Под ред. А. Т. Григорьяна и Б. Г. Кузнецова. М.: Наука, 1979. 526 с.; с. 219—260.
25. Royal Institution. London: Library, Davy's coll., 1814, MS. 12.
26. *Davy J.* Fragmentary Remains Literary and Scientific of Sir H. Davy. London, 1858. 210 p.
27. *Мысливченко А. Г.* Философская мысль в Швеции. Основные этапы и тенденции развития. М.: Наука, 1972. 264 с.
28. *Berzelius J. J.* Essai sur la nomenclature chimique.—J. de Physique, de Chimie et d'Histoire Naturelle, 1811, t. 78, p. 253—286.
29. *Berzelius J. J.* Essai sur la théorie de proportions chimiques et sur l'influence chimique de l'électricité. Traduit du Suédois sur les yeux de l'auteur, et publié par lui — même. Paris, 1819. 122 p.
30. *Davy H.* Elements of Chemical Philosophy. London, 1812, pt 1, vol. 1. 505 p.
31. *Фигуровский Н. А.* Очерк общей истории химии. Развитие классической химии в XIX столетии. М.: Наука, 1979. 477 с.
32. *Berman M.* Social Change and Scientific Organization. The Royal Institution, 1799—1844. New York: Cornell University Press, 1978. 224 p.
33. *Бартоп В. И.* Сравнение как средство познания. Минск: Изд-во БГУ, 1978. 128 с.
34. *Berzelius J. J.* Erste Fortsetzung des Versuchs, die bestimmten und einfachen Verhältnisse aufzufinden, nach welchen die Bestandtheile der unorganischen Natur mit einander verbunden sind.—Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), Neue Folge, 1811, Bd. 38, S. 161—226.
35. *Russell C. A.* The Electrochemical Theory of Berzelius. Pt 1. Origins of the Theory.—Annals of Science, 1963, vol. 19, N 2, p. 117—126; Pt 2. An Electrochemical View of Matter.—Ibid., p. 127—145.
36. *Berzelius J. J.* An Explanatory Statement of the Notions or Principles upon which the Systematic Arrangement is Founded, which was Adopted as the Basis of an Essay on Chemical Nomenclature.—J. of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts (Ed. W. Nicholson), 1813, vol. 34, p. 142—146; 153—166; 240—246; Supplement to vol. 34, p. 313—319.
37. *Avogadro A.* Reflexions sur la theorie electrochimique de J. Ber-

- zelius.—Annales de chimie ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent, 1813, p. 87, p. 286—292; перевод: Bemerkungen über die elektrochemische Theorie des J. Berzelius.—Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1814, Bd. 46, S. 248—254.
38. *Быков Г. В.* Амедео Авогадро. Очерк жизни и деятельности. М.: Наука, 1970. 184 с.
 39. *Фаерштейн М. Г.* Электрохимическая теория Авогадро (1809).— В кн.: Из истории науки и техники: Материалы I конференции историков естествознания и техники Молдавии (17 мая 1962). Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1963. 188 с.
 40. *Фаерштейн М. Г.* История учения о молекуле в химии (до 1860 г.) / Под ред. д.х.н. С. А. Погодина. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 368 с.
 41. *Berzelius J. J.* Versuch der chemischen Ansichten, welcher die systematische Aufstellung der Körper, in meinem Versuch, einer Verbesserung der Chemischen Nomenclatur begründen zu rechtfertigen.— J. für Chemie und Physik (Hgn. von J. S. C. Schweigger), 1812, Bd. 6, S. 119—176, 284—322; Bd. 7, S. 43—78.
 42. *Jac. Berzelius Bref.* / Ed. H. G. Söderbaum: Correspondance entre Berzelius et A. Marcet (1812—1822). Uppsala: Almqvist, 1914, Section III, t. I. 198 p.
 43. *Berzelius J. J.* Auszug aus einem Schreiben des Herr Prof. Berzelius an den Prof. Gilbert.— Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1814, Bd. 48, S. 326—340.
 44. *Berzelius J. J.* De l'influence de l'électricité sur les affinités. Base d'une théorie électrochimique / Traduit par M. Vogel.— Annales de chimie ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent, 1813, t. 86, p. 146—174, 225—261; 1813, t. 87, p. 50—97, 113—152.
 45. *Berzelius J. J.* Försök till ett rättfärdigande af theoretisk kemiska åsigtter, på hvilka den systematiska Uppställningen i mitt försöket till en förbättring af den kemiska nomenclaturen grundar sig.— Kongliga vetenskapsacademiens nyhandlingar, 1812, D. 33, s. 166—198, 223—244; 1813, D. 34, s. 39—62, 175—215.
 46. *Прыткова О. Ф.* Из истории возникновения и развития представлений о двойственной реакционной способности.— В кн.: Развитие представлений в области кинетики, катализа и реакционной способности / Отв. ред. д.х.н. Я. Т. Эйбус. М.: Наука, 1966, с. 214—234.
 47. *Erman P.* Ueber die fünffache Verschiedenheit der Körper in Rücksicht auf galvanisches Leistungsvermögen.— Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1806, Bd. 22, S. 14—50.
 48. *Berzelius J. J.* An Address to those Chemists who Wish to Examine the Laws of Chemical Proportions and the Theory of Chemistry in General.— Annals of Philosophy or Magazine of Chemistry, Mineralogy, Mechanics, Natural History, Agriculture and the Arts (ed. T. Thomson), 1815, vol. 5, p. 122—131.
 49. *Berzelius J. J.* Versuch über die Theorie der chemischen Proportionen und über die chemischen Wirkungen der Elektrizität / Übersetzt K. A. Blöde. Dresden, 1820. 200 S.
 50. *Dalton J.* Remarks on the Essay of Dr. Berzelius on the Cause of Chemical Proportion.— Annals of Philosophy or Magazine of Chemistry, Mineralogy, Mechanics, Natural History, Agriculture and the Arts (Ed. T. Thomson), 1814, vol. 3, p. 174—180.

51. *Berzelius J. J.* Essay on the Cause of Chemical Proportions and on some Circumstances Relating to them together with a Short and Easy Method of Expressing them.—Annals of Philosophy or Magazine of Chemistry, Mineralogy, Mechanic Natural History, Agriculture and the Arts (Ed. T. Thomson), 1813, vol. 2, p. 443—454.
52. *Mitscherlich E.* Ueber die Krystallisation der Salze, in denen das Metall der Basis mit zwei Proportionen Sauerstoff verbunden ist.—Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1818—1819, S. 427—437.
53. *Kapoor S. C.* The Origin of Laurent's Organic Classification.—ISIS, 1969, vol. 60, pt 4, N 204, p. 477—527.
54. *Fischer N. W.* Organic Classification before Kekulé.—Ambix, 1973, vol. 20, N 2, p. 106—131; N 3, p. 209—233.
55. *Mitscherlich E.* Om Förhållandet emellan Chemiska Sammansättningar och Krystallformerna hos Arseniksyra och Fosforsyra Salter.—Kongliga vetenskapsakademiens handlingar, 1821, S. 4—79; перевод см.: Sur la relation qui existe entre la forme cristalline et les proportions chimiques: II-me mémoire sur les arsenates et les phosphates.—Ann. chim. et phys. Sér. 2, 1821, t. 19, p. 350—419.
56. *Jac. Berzelius* Bref./Ed. H. G. Söderbaum: 2. Lettres détachées (1809—1847). Uppsala: Almquist, 1920, Section VII, t. III, 320 p.
57. *Mauskopf S. H.* Crystals and Compounds. Molecular Structure and Composition in Nineteenth century French Science.—Trans. Amer. Phil. Soc., New Series, 1976, vol. 66, pt 3, p. 3—82.
58. *Berzelius J. J.* Essai sur la théorie des proportions chimiques et sur l'influence chimique de l'électricité: 2-me ed. française. Paris, 1835. 320 p.
59. *Mitscherlich E.* Gesammelte Schriften, Herausgegeben von A. Mitscherlich. Berlin: Ernst Siegfried Mittler und Sohn, 1896. 250 S.
60. *Berzelius J. J.* Versuch einer Vergleichung der älteren und der neueren Meinungen über die Natur der oxydirten Salzsäure, zur Beurtheilung des Vorzugs der einen vor der andern.—Annalen der Physik (Hgn. von L. W. Gilbert), 1815, Bd. 50, S. 356—446.
61. *Berzelius J. J.* Examination of some Compounds which Depend on Very Weak Affinities.—The Edinburgh Philosophical Journal, 1819, vol. 1, N 1/2, p. 63—75, 243—253.
62. *Ehl R. Cr., Ihde A.* Faraday's Electrochemical Laws and the Determination of Equivalent Weights.—J. Chem. Educ., 1954, vol. 31, N 2, p. 230.
63. *Helmholtz H.* On the Modern Development of Faraday's Conception of Electricity.—J. Chem. Soc. (London), 1881, vol. 39, p. 277—304.
64. *Faraday M.* Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions of 1831—1852. London, 1839—1855, para. 852.
65. *Кедров Б. М.* Энгельс о химии. М.: Наука, 1971. 305 с.
66. *Быков Г. В., Крицман В. А.* Станислао Канниццаро. Очерк жизни и деятельности. М.: Наука, 1972. 215 с.
67. *Менделеев Д. И.* Удельные объемы. СПб., 1856. 224 с.
68. *Менделеев Д. И.* Периодический закон. Дополнительные материалы / Ред. и комментарии акад. Б. М. Кедрова. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 711 с. (Сер.: Классики науки).

69. Кедров Б. М. Три аспекта атомистики. II. Учение Дальтона. Исторический аспект. М.: Наука, 1969, 317 с.
70. Berzelius J. J.— Jahres-Bericht, 1834, Jg. 13, 398 S.
71. Berzelius J. J.— Jahres-Bericht, 1835, Jg. 14, 402 S.
72. Briefwechsel zwischen J. Berzelius und F. Wöhler / Hrsg. O. Wallach. Wiesbaden, 1966. 612 S.
73. Мур Дж. История химии. М.; Л.: Госиздат, 1925. 291 с.
74. Berzelius J. J. Lehrbuch der chemie. Dresden; Leipzig, 1843, Bd. 1.
75. Gerhardt C. Notice sur les Travaux de M. Ch. Gerhardt.— Comptes rendus des travaux de chimie, Sixième Année, 1850, p. 427—441.
76. Jacques J. La naissance de l'idée de structure chimique et les savants du XIX-e siècle.— In: Conférences du Palais de la Découverte. Paris, Ser. D, 1956, N 38, p. 1—20.
77. Dumas J.-B. Considérations générales sur la composition théorique des matières organiques.— J. of Pharmacie, 1834, vol. 20, p. 261—294.
78. Brooke J. H. Chlorine Substitution and the Future of Organic Chemistry. Methodological Issues in the Laurent — Berzelius Correspondence (1843—1844).— Studies in History and Philosophy of Science, 1973, vol. 4, N 1, p. 47—94.
79. Бутлеров А. М. О различных способах объяснения некоторых случаев изомерии.— В кн.: Избранные работы по органической химии. М.: Изд-во АН СССР, 1951, с. 80—94.
80. Dictionnaire de chimie pure et appliquée par Ad. Wurtz. Paris, 1876, t. 2, Deuxième partie, статья «Sels», p. 1470.
81. Дмитриев И. С., Семенов С. Г. Квантовая химия, ее прошлое и настоящее. М.: Атомиздат, 1980. 220 с.
82. Левин А. А. Введение в квантовую химию твердого тела. Химическая связь и структура энергетических зон в тетраэдрических полупроводниках. М.: Химия, 1974. 237 с.; гл. I.
83. Локализация и делокализация в квантовой химии (Атомы и молекулы в основном состоянии) / Под ред. О. Шальве, Р. Доддель, С. Дине, Ж.-П. Мальрьё: Пер. с англ. М.: Мир, 1978. 411 с.
84. Быков Г. В. История классической теории химического строения / Под ред. проф. Н. А. Фигуровского. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 311 с.
85. Дмитриев И. С., Карцова Л. А. Теория химического строения и проблема ароматичности (Исторический аспект).— В кн.: Вопросы истории и методологии химии / Под ред. проф. Р. Б. Добротина. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978, вып. 2. с. 3—23.
86. Jac. Berzelius Bref. / Ed. H. G. Söderbaum: 2. Correspondance entre Berzelius et G. J. Mulder (1834—1847). Uppsala: Almqvist, 1916. Sect. V, t. II. 240 p.
87. Jacques J. La Thèse de Doctorat d'Auguste Laurent et la theorie des combinaisons organiques (1836).— Bull. Soc. chim. France, 1954, sér. 5, t. 1, D. 31 — D. 39.
88. Correspondance de Charles Gerhardt: 2 vols. / Ed. M. Tiffeneau. Paris, 1918—1925, vol. 1. 278 p.
89. Менделеев Д. И. Органическая химия. СПб.; Издательство товарищества «Общественная польза», 1861. 408 с.
90. Karoor S. Dumas and Organic Classification.— Ambix, 1969, vol. 16, N 2, p. 1—64.
91. Dumas J.-B. Recherches sur les combinaisons de l'hydrogène et du carbone.— Ann. Chim. et Phys., 1832, Série 2, t. 50, p. 182—197.

92. *Laurent A.* Théorie des combinaisons organiques.— *Compt. rend.*, 1836, t. 2, p. 130—132.
93. *Berzelius J. J.* Jahres-Bericht, 1838, Jg. 17.
94. *Berzelius J. J.* Lettre à M. Pelouze.— *Compt. rend.*, 1838, t. 6, p. 629—644.
95. *Dumas J.-B.* Réplique.— *Ibid.*, p. 646—648; дополнение: *Ibid.*, p. 689—702.
96. *Dumas J.-B.* Mémoire sur la loi des substitutions et la théorie des types.— *Compt. rend.*, 1840, t. 10, p. 149—178.
97. *Меншуткин Н. А.* Очерк развития химических воззрений. СПб., 1888. 394 с.
98. *Laurent A.* Chemical Method / Transl. W. Olding. London, 1855. 560 p.
99. *Hofmann A. W.* Lectures on Chemistry. Lecture XVII.— *Medical Times and Gazette. N. S.*, 1859, vol. 9, p. 540—582.
100. *Kolbe H.* Ueber die chemische Constitution und Natur der organischen Radicale.— *Liebig's Annalen der Chemie*, 1850, Bd. 75, S. 211—239.
101. *Бутлеров А. М.* Исторический очерк развития химии.— В кн.: *Сочинения*, т. 3 / Под ред. А. П. Терентьева и др. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 429 с., с. 169—280.
102. *Ostwald W.* Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Leipzig, 1891, Bd. I, 1200 S.
103. *Blomstrand C. W.* Die Chemie der Jetztzeit vom Standpunkte der Electrochemischen Auffassung aus Berzelius Lehre Entwickelt. Heidelberg: C. Winter's Universitätsbuchhandlung, 1869. 417 S.
104. *Kekulé A.* Die Wissenschaftlichen Ziele und Leistungen der Chemie. Bonn, 1878. 50 S.
105. *Бекетов А. Н.* Избранные произведения по физической химии. Харьков, 1955.
106. *Вант-Гофф Я. Г.* Зависимости между физическими и химическими свойствами и составом. СПб., 1903.
107. *Абегг Р., Бодлендер Г.* Электросродство, новый принцип химической систематики.— *ЖРФХО*, 1900, т. 32, вып. 7, отд. II, с. 119—143.
108. *Stark J.* Atomstruktur und Atombindung. Berlin, 1928.
109. *Зоммерфельд А.* К 60-летию Вальтера Косселя.— В кн.: *Зоммерфельд А.* Пути познания в физике: Сборник статей / Под ред. Я. А. Смородинского. М.: Наука, 1973, с. 177—179.
110. *Льюис Г.* Атом и молекула.— В кн.: *Новые идеи в химии*. Л., 1924, № 10, с. 1—78.

IV

1. *Walden P.* Von der Jatrochemie zur «Organischen Chemie». Historisches über Entstehung und Namenbildung der «organischen Chemie».— *Z. angew. Chem.*, 1927, Bd. 40, S. 1—16.
2. *Гельм Э.* История органической химии с древнейших времен до настоящего времени. Харьков; Киев: ОНТИ, 1937. 333 с.
3. *Dennstedt M.* Die Entwicklung der organischen Elementaranalyse.— In: *Sammlung chemischer und Technischer Vorträge*. Stuttgart, 1899, Bd. IV, Heft 13.
4. *Berzelius J. J.*— *Ann. chim. phys.*, 1815, t. 94, p. 170, 296.
5. *Мин Д. Е.* Об успехах новейшей химии и заслугах Берцелиуса.— *Москвитянин*, 1853, т. 1, с. 14.

6. *Benrath A. J.* Liebig und seine Zeit. Leipzig, 1921.
7. *Berzelius J. J.* Versuch die bestimmten und einfachen Verhältnisse aufzufinden.— *Gilb. Ann. Phys.*, 1811, Bd. 37, S. 249, 415; Bd. 38, S. 161.
8. *Berzelius J. J.*— *Gilb. Ann. Phys.*, 1811, Bd. 37, S. 471.
9. *Berzelius J. J.*— *Gilb. Ann. Phys.*, 1812, Bd. 42, S. 52.
10. *Berzelius J. J.* Expériences pour déterminer les proportions définies dans lesquelles les éléments de la nature organique sont combinés.— *Ann. chim. phys.*, 1815, t. 94; 1815, t. 95.
11. *Berzelius J. J.* Lehrbuch der Chemie. Dresden, 1827, Bd. III.
12. *Mitscherlich E.* Gesammelte Schriften. Berlin, 1896, S. 92.
13. *Berzelius J. J.* Ueber die Zusammensetzung der Weinsäure.— *Ann. Phys. Chem.*, 1830, Bd. 19, S. 305—335.
14. *Марковников В. В.* Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1955, с. 281. (Сер.: Классики науки).
15. *Berzelius J. J.* Versuch über die Theorie der chemischen Proportionen. Dresden, 1820.
16. *Wöhler F., Liebig J.* Untersuchungen über das Radical der Benzoesäure.— *Ann. chem. Pharm.*, 1832, Bd. 3, S. 249.
17. *Berzelius J. J.* Schreiben von Berzelius an Wöhler und Liebig über Benzoyl und Benzoesäure.— *Ibid.*, S. 282.
18. *Ладенбург А.* Лекции по истории развития химии от Лавуазье до нашего времени. Одесса, 1917, с. 119.
19. *Berzelius J. J.* Ueber einige Fragen des Tages in der organischen Chemie.— *Ann. chem. Pharm.*, 1839, Bd. 31, S. 1.
20. *Laurent A.* Sur les acides primaire, pyromarique, azomarique.— *Ann. chim. phys.*; 1839, série 2, t. 72, p. 409.
21. *Berzelius J.* Jahres-Bericht, 1841, Jg. 20, S. 537.
22. *Вюрц А.* История химических доктрин от Лавуазье до настоящего времени. СПб., 1869, с. 35.
23. *Berzelius J. J.*— Jahres-Bericht, 1840, Jg. 19, S. 361.
24. *Dumas J. B.*— *Compt. rend.*, 1840, t. 10, p. 173.
25. *Шорлеммер К.* Возникновение и развитие органической химии. М.: ОНТИ, 1937, с. 83.
26. *Berzelius J.* Übersicht der Fortschritte und gegenwärtigen Zustandes der thierischen Chemie.— *J. chem. Phys.*, 1814, Bd. 12, S. 290—294.
27. *Никулина Е. П.* Исторический очерк развития органического синтеза в первой половине XIX в.— В кн.: Очерк по истории органической химии. М.: Наука, 1977, с. 21—63.
28. *Wöhler R.* Analytische Versuche über die Cyansäure.— *Pogg. Ann. Phys.*, 1824, Bd. 77, S. 115—124.
29. *Wöhler F.* Ueber künstliche Bildung des Harnstoffes.— *Ann. Phys. und Chem.*, 1828, Bd. 12, (2), S. 253—256.
30. Briefwechsel zwischen J. Berzelius und F. Wöhler. Leipzig, 1901, Bd. I, S. 208.
31. *Berzelius J. J.* Jahres-Bericht, 1829, Jg. 9, S. 266.

V

1. *Berzelius J.* Jahres-Bericht, 1822, Jg. 1.
2. *Berzelius J.* Jahres-Bericht, 1823/1825, Jg. 4, S. 60.
3. *Mitscherlich E.* Ueber die Aetherbildung.— *Progg. Ann. Phys. Chem.*, 1834, Bd. 31, S. 273.
4. *Оствальд В.* Эволюция основных проблем химии. М., 1909. 232 с.

5. *Berzelius J. J. Jahres-Bericht*, 1836, Jg. 15, S. 353 (немецкий перевод годового отчета за 1834 г.).
6. *Berzelius J. J. Quelques idées sur une nouvelle forc agissant dans les combinaisons des corps organiques.*— *Ann. chim. et phys.*, 1836, t. LXI, p. 146; см. русский перевод: Горный журнал, 1837, ч. 2, кн. V, с. 375 и сл.
7. *Митташ и Тейс*. От Дэви и Деберейнера до Дикона. Харьков. 1934. 224 с.
8. *Шамин А. Н.* Биокатализ и биокатализаторы. М.: Наука, 1971. 195 с.
9. *Кузнецов В. И.* Значение обобщений Берцелиуса в области катализа.— *Вопросы истории естествознания и техники*. М.: Изд-во АН СССР, вып. 11, с. 82—87.
10. *Berzelius und Liebig. Ihre Briefe von 1831—1843.* München; Leipzig, 1893.
11. *Liebig J.*— *Ann. Pharm.*, 1839, Bd. 30, S. 262.
12. *Зинин Н. Н.* О соединениях бензоила и об открытых новых телах, относящихся к бензоиловому ряду. СПб., 1841.
13. *Арбузов А. Е.* Избранные работы по истории химии. М.: Наука, 1975. 266 с.; с. 56; см. более подробно: *Кузнецов В. И.* Развитие учения о катализе. М.: Наука, 1964. 422 с.
14. *Ostwald W.*— *Z. phys. Chem.*, 1894, Bd. 15, S. 706.
15. *Оствальд В.* Катализ. М., 1903. 23 с.

VI

1. *Даннеман Ф.* История естествознания, т. 2. М.; Л.: ОНТИ, 1936, с. 369.
2. *Блох М. А.* Торберн Бергман.— В кн.: Академику В. И. Вернадскому к пятидесятилетию научной и педагогической деятельности. Л.: Изд-во АН СССР, 1936, т. 2, с. 1239—1265.
3. *Берцелиус Я.* Руководство к разложению неорганических тел.— Горный журнал, 1832, кн. 8.
4. *Wilhelmi A.* Geschichte der Chemie im 19. Jahrhundert. Berlin, 1901, S. 60.
5. *Ostwald W.* Lebenslinien. Berlin, 1926, Bd. I, S. 222.
6. *Jac. Berzelius Bref.* /Ed. H. G. Söderbaum: Correspondance entre Berzelius et C. L. Bertollet (1810—1822). Uppsala: Amquist, 1912, Section I, t. I, p. 37.
7. *Berzelius J.* Von der Anwendung des Löthrohrs in der Chemie und Mineralogie. Nürnberg, 1821.
8. *Берцелиус*. Об употреблении паяльной трубки при химических и минералогических исследованиях: Перевод со 2-го нем. изд. СПб., 1831.
9. *Клаус К. К.* Избранные труды по химии платиновых металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 304 с. (Сер.: Классики науки).
10. *Lavoisier A. L.* Traité élémentaire de chimie. Paris, 1793.
11. *Weeks M.* Discovery of the Elements. New York, 1956.
12. *Berzelius J. J.* Autobiographical Notes. Baltimore, 1934.
13. *Трифонов Д. Н.* Редкоземельные элементы и их место в периодической системе. М.: Наука, 1966. 191 с.; см. также: *Трифонов Д. Н.* Роль Берцелиуса в изучении химии редкоземельных элементов.— *Тр. /Ин-т истории естествознания и техники АН СССР (История химических наук)*. М.: Изд-во АН СССР, 1962, т. 39, с. 77—86.

14. *Berzelius J. J.* Versuch einer Vergleichung der älteren und der neueren Meinungen über die Natur der oxydierten Salzsäure.— *Annalen der Physik*, 1815, Bd. 50, S. 444.
15. *Berzelius J.*— *J. für Chem. und Phys.*, 1831, Bd. 62, S. 316—374; Bd. 63, S. 26—54.
16. Briefwechsel zwischen J. Berzelius und F. Wöhler. Leipzig, 1901, Bd. I, S. 334.
17. *Berzelius J. J.* Eigenschaften des Tantal — Metals.— *Schweiger's J. Chem. Phys.*, 1816, Bd. 16, S. 439.
18. *Bugge G.* Das Buch der grossen Chemiker. Berlin: Weinheim Chemie, 1955, Bd. 2. 559 S.
19. *Berzelius und Liebig.* Ihre Briefe von 1831—1845. München; Leipzig, 1893, S. 251.
20. *Велер Ф.* Юношеские воспоминания химика.— *Горный журнал*, 1876, кн. 2, с. 312—326.
21. *Berzelius J. J.* Lehrbuch der Chemie. Dresden, Bd. I, 1825, S. 61. Цит. по ст.: *Горбов А.* История вопроса о конституции кислот.— *ЖРФХО*, ч. хим., 1914, т. 46, отд. 2, вып. 4, с. 137.
22. *Berzelius J. J.* *Ibid.*, S. 65. Цит. по ст.: *Горбов А.*— Там же.

VII

1. *Кронштедт А.* Опыт рудословия. М., 1777; СПб., 1789.
2. *Северин В. М.* Первые основания минералогии или естественной истории ископаемых тел. СПб., кн. 1/2, 1798.
3. *Найи R.-J.* *Traité de minéralogie.* Paris, 1803, p. 23.
4. *Шафрановский И. И.* А.-Г. Вернер — знаменитый минералог и геолог (1749—1817). Л.: Наука, 1968.
5. *Werner A. G.* Von den äusserlichen Kennzeichen der Fossilien. Leipzig, 1774.
6. *Berzelius J. J.* Jahres-Bericht, 1822, Jg. 1.
7. *Rose H.* Gedächtnissrede auf Berzelius, S. LXIX — L.
8. *Berzelius J. J.* Versuch durch Anwendung der elektrisch-chemischen Theorie und der chemischen Verhältnisslehre ein rein wissenschaftliches System der Mineralogie zu begründen. Nürnberg, 1815.
9. *Berzelius J. J.* Über die Veränderungen, welche in dem chemischen Mineralsysteme durch die Eigenschaft der isomorphen Körper einander in unbestimmten Verhältnissen zu ersetzen notwendig geworden sind.— *Pogg. Ann.*, 1824, Bd. 12, S. 1.
10. *Берцелиус Я.* О переменах, необходимых в химической системе минералогии и зависящих от свойства одновидных тел замещаться одни другими в неопределенных пропорциях.— *Горный журнал*, 1829, кн. 1, с. 69.
11. *Берцелиус Я.* Об употреблении паяльной трубки при химических и минералогических исследованиях. СПб., 1831.
12. *Nordenskiöld N.* Über die atomchemisches Mineralsystem und das Examinations der Mineralien, 1849.
13. *Rammelsberg C.* Über die Beziehungen der Chemie zur Mineralogie.— *Ver.*, 1870, Bd. 3, S. 830.
14. *Вернадский В. И.* История минералов земной коры. Л.: Госхимтехиздат, 1927, т. 1, вып. 2, с. 210.
15. *Уэвелл В.* История индуктивных наук. СПб., 1869, т. III, с. 322—333.
16. *Вернадский В. И.* Избр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1955, т. 2, с. 12—13.

VIII

1. *Berzelius J. J.* Lehrbuch der Chemie. Dresden; Leipzig, 1843, Bd. I.
2. *Berzelius J. J.* Versuch über die Theorie der chemischen Proportionen. Dresden, 1820.
3. *Гьельм Э.* История органической химии с древнейших времен до настоящего времени. Харьков; Киев: ОНТИ, 1937. 333 с.
4. *Rose H.* Gedächtnissrede auf Berzelius.— Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Aus dem Jahre 1851. Berlin, 1852, S. LXIX.
5. *Berzelius J. J.*— Ann. Phys. Chem. 1830, Bd. 19, S. 326.
6. *Berzelius J. J.*— Ann. Phys. Chem., 1832, Bd. 26, S. 320—321.
7. *Berzelius J. J.* Ueber Allotropie bei einfachen Körpern, als eine der Ursachen der Isomerie bei ihren Verbindungen.— Ann. Phys. Chem., 1840, Bd. 49, S. 247.
8. *Berzelius J. J.*— Jahres-Bericht, 1822, Jg. 1, S. 3.
9. *Berzelius J. J.*— Jahres-Bericht, 1828, Jg. 7, S. 1.
10. *Berzelius J. J.*— Jahres-Bericht, 1839, Jg. 18, S. 1—2.
11. *Grimaux E. et Gerhardt Ch.* Charles Gerhardt, sa vie, son oeuvre, sa correspondance. Paris, 1900, p. 66.
12. *Berzelius J. und Wöhler F.* Briefwechsel, Leipzig, 1901, Bd. 2, S. 332.
13. *Walden P.* Berzelius und wir.— Z. angew. Chem., 1930, Jg. 43, S. 367.
14. *Annuaire des sciences chimiques.* 1837: Rapport annuel sur les progrès de la chimie présenté à l'Académie Royale de Science de Stockholm / Trad. du suédois par Ph. Plantamour. Paris, 1841—1848, Année I (1840) 8 (1847).
15. Краткий отчет об усовершенствованиях во всеобщей химии в течение 1825 г.— Горный журнал, 1828, кн. 5, с. 45—69; кн. 6, с. 35—58; кн. 7, с. 21—48; кн. 9, с. 36—66; Отчет об усовершенствованиях, сделанных во всеобщей химии, и именно в определении свойств неметаллических тел, в 1829 и в начале 1830 года.— Горный журнал, 1832, кн. 5, с. 193—221. Переводы сделаны с 6-го и 10-го выпусков ежегодников Берцелиуса.
16. *Ostwald W.* Berzelius «Jahresbericht und the international organisation of chemists».— J. Chem. Educ., 1955, vol. 32, N 7, p. 373—375.
17. *Forschen und Nutzen, Wilhelm Ostwald zur wissenschaftlichen Arbeit.* Berlin, 1978, S. 136.

IX

1. Архив АН СССР, ф. 1, оп. 1-а, 1820, № 31.
2. *Куриной В. И.* Неопубликованные письма Гизе Берцелиусу.— Тр./Ин-т истории естествознания и техники. М., 1960, т. 30, с. 333—443.
3. *Павлов М. Г.* О полярно-атомической теории химии.— Новый магазин естественной истории, 1821, ч. II, № 3.
4. Новый магазин естественной истории, 1823, ч. II, № 2, с. 103—105.
5. Новый магазин естественной истории, 1824, ч. II, № 1, с. 88.
6. Новый магазин естественной истории, 1824; ч. III, № 1/4.
7. Новый магазин естественной истории, 1824, ч. I, № 1, с. 112—123.
8. Указатель открытий, 1827, т. IV, с. 23.

9. Указатель открытий, 1826, т. VI, № 3.
10. Указатель открытий, 1832, т. VIII, № 4, с. 539—542.
11. *Berzelius J.* Общие замечания о телах, имеющих одинаковый состав, но различные свойства.— Горный журнал, 1831, кн. 4, с. 114.
12. Горный журнал, 1826, кн. 1—3.
13. Горный журнал, 1827, кн. 2, с. 69.
14. Горный журнал, 1827, кн. 1, с. 74.
15. Горный журнал, 1828, кн. 5, с. 24; кн. 6, с. 35; кн. 7, с. 36, кн. 8, с. 44, кн. 9, с. 45.
16. Извлечение Варвинского из «Jahres-Bericht», 1831, Jg. 10.
17. Горный журнал, 1832, кн. 5, с. 193—221.
18. Горный журнал, 1829, кн. 10, с. 95—121.
19. Горный журнал, 1829, кн. 5, с. 239—249.
20. Горный журнал, 1833, кн. 3/4, с. 91, 238, 388.
21. Горный журнал, 1832, кн. 9, с. 435—444.
22. Горный журнал, 1832, кн. 3/4, с. 1, 124, 185, 266, 370, 421.
23. Горный журнал, 1833, кн. 1, с. 88—238.
24. Архив АН СССР, ф. 1, оп. 1, 1831, § 297.
25. *Куринной В. И.* Отражение научной деятельности русских химиков в реферативном журнале И. Я. Берцелиуса.— Вопросы истории естествознания и техники, 1960, вып. 10, с. 85—88.
26. *Berzelius J.*— Jahres-Bericht, 1844, Jg. 23, S. 545.
27. *Страдынь Я. П.* Некоторые архивные документы о Теодоре Гротгусе.— В кн.: Из истории Латвийской ССР. Рига, 1964, т. 5, с. 185—195.
28. *J. J. Berzelius.* Lehrbuch der Chemie. Dresden, 1825, Bd. IV, S. 784.
29. *Соловьев Ю. И.* О научных связях Г. И. Гесса с Я. Берцелиусом.— Вопросы истории естествознания и техники, 1958, вып. 6, с. 166—175.
30. Briefwechsel zwischen J. Berzelius und F. Wöhler. Leipzig, 1901, Bd. I, S. 98.
31. Архив АН СССР, ф. 1, оп. 4, 1828, § 491.
32. Архив Берцелиуса, Стокгольм.
33. *Люблинская А. Д.* Архив Я. Берцелиуса в Ленинградской публичной библиотеке им. М. Е. Салтыкова-Щедрина.— Вопросы истории естествознания и техники, 1957, вып. 5, с. 177—182.
34. Горный журнал, 1839, кн. 2, с. 284; см. также: Sur un nouveau métal dé couvert dans la corite. Extrait d'une lettre de M. Berzelius à M. Hess, datée de Stockholm le 5 février 1839.— Bull. sci., publ. par l'Acad. des sci., 1839, t. V, N 13, Correspondance, col. 201—202.
35. *Berzelius J. J.*— Jahres-Bericht, 1843, Jg. 22, S. 19.
36. *Jac. Berzelius.* Bref./Ed. H. G. Söderbaum. Uppsala: Almqvist, 1927, Section XI, t. IV, S. 273.
37. Архив АН СССР, ф. 32, оп. 2, № 11.
38. Архив АН СССР, ф. 187, оп. 1, л. 343.
39. *Berzelius J. J.*— Jahres-Bericht, 1841, Jg. 20, S. 142.
40. Химия и жизнь, 1979, № 8, с. 67.
41. *J. J. Berzelius.* Bref. Stockholm; Uppsala, Bd. 5, 1927.
42. *Berzelius J. und Wöhler F.* Briefwechsel. Leipzig, 1901, Bd. 2.
43. *Berzelius J. J.*— Jahres-Bericht, 1848, Jg. 27, S. 131, 155, 339.
44. *Berzelius.* Разложение Нижнетагильской и гороблагодатской платины.— Горный журнал, 1828, кн. 8, с. 21—35.
45. Указатель открытий, 1829, т. VI, ч. II, с. 760.

46. *Клаус К. К.* Избранные труды по химии платиновых металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 304 с. (Сер.: Классики науки).
47. *Соловьев Ю. И.* Неопубликованное письмо Я. Берцелиуса к К. Клаусу от 24.I.1845 г.— Вопросы истории естествознания и техники, 1959, вып. 7, с. 148—149.
48. *Berzelius J.*— Jahres-Bericht, 1846, Jg. 25, S. 205.
49. *Berzelius J.*— Jahres-Bericht, 1844, Jg. 23, S. 112—115.
50. *Гесс Г. И.* Основания чистой химии. СПб., 1833, ч. II, с. 609.
51. *Ходнев А. И.* О соединении минеральной и органической химии в одно целое. Харьков, 1848.

Литература о Я. Берцелиусе

- Müller L.* Berzelius Ansichten: Ein Beitrag zur theoretischen Chemie. Breslau, 1846.
- Martius C. F. Ph. von.* Denkrede auf J. J. Berzelius.— Bulletin der Königl. (Bayer) Akademie der Wissenschaften, 1848, N 47/50, S. 365—391.
- Pontin M. M.* Biografi över Professoren och Kommendören M. M. Friherre J. J. Berzelius.— Kongliga Vetenskapsakademiens handlingar för År 1848, 1849, s. 195—264.
- Rose H.* Gedächtnissrede auf Berzelius.— Abhandlungen der Königl. ch. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Aus dem Jahre 1851. Berlin, 1852, S. XVI—LXXVII.
- Phillips S. J. J.* Berzelius-Chemist. London, 1854.
- Blomstrand C. W.* Die Chemie der Jetztzeit vom Standpunkte der elektrochemischen Auffassung, aus Berzelius Lehre entwickelt. Heidelberg, 1869.
- Sönderbaum H. G.* Berzelius Werden und Wachsen, 1779—1821. Leipzig, 1899.
- Sönderbaum H. G.* Aus J. J. Berzelius, Jugenderinnerungen. Leipzig, Wien, 1909.
- Sönderbaum H. G.* Berzelius und Hwasser, ein Blatt aus der Geschichte der schwedischen Naturforschung.— In: Studien zur Geschichte der Chemie. Berlin, 1927, S. 176—186.
- Sönderbaum H. G.* Jac. Berzelius. Levnadsteckning. Bd. 1/3. Uppsala, 1929—1931.
- Walden P.* Berzelius und wir.— Z. angew. Chem., 1930, Bd. 43, S. 325, 336, 351.
- Holmberg A.* Bibliografi över J. J. Berzelius. Stockholm, 1933, D. 1, 256 s.; 1936, D. 2, 290 s.; 1953, Supplement 1/3 till D. 1 и Supplement till D. 2, 198 s.
- Holmberg A.* Berzelius — portrett. Stockholm, 1939.
- Hartley H.* The Place of Berzelius in the History of Chemistry.— Kungliga svenska vetenskapsakademiens Årsbok, 1948, s. 31—50.
- Klingelmann G.* Jacob Berzelius. Reiseerinnerungen aus Deutschland. Winheim, 1948.
- Prandtl W.* Humphry Davy, Jöns Jacob Berzelius, zwei führende Chemiker aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Stuttgart, 1948.
- Blanck A.* Berzelius som medicine studerande.— Lychnos, 1948—1949, s. 168—205.
- Oesper R. J.* Berzelius — J. Chem. Educ., 1949, vol. 26, p. 202.

- Mac Nevin W. M.* Berzelius — Pioneer Atomic Weight Chemist.— J. Chem. Educ., 1954, vol. 34, p. 207—210.
- Люблинская А. Д.* Архив И. Я. Берцелиуса в Ленинградской публичной библиотеке им. М. Е. Салтыкова-Щедрина.— Вопросы истории естествознания и техники, 1957, вып. 5, с. 177—182.
- Соловьев Ю. И.* О научных связях Г. Й. Гесса с Я. Берцелиусом: По материалам стокгольмского архива Берц.— Вопросы истории естествознания и техники, 1958, вып. 6, с. 166—175.
- Соловьев Ю. И.* Неопубликованное письмо Я. Берцелиуса к К. Клаусу от 24.I.1845 г.— Вопросы истории естествознания и техники, 1959, вып. 7, с. 148—149.
- Куриной В. И.* Неопубликованные письма Ф. И. Гизе к И. Я. Берцелиусу.— Ин-т истории естествознания и техники АН СССР, 1960, т. 30, с. 333—344.
- Куриной В. И.* Отражение научной деятельности русских химиков в реферативном журнале И. Я. Берцелиуса.— Вопросы истории естествознания и техники, 1960, вып. 10, с. 85—88.
- Кузнецов В. И.* Значение обобщений Берцелиуса в области катализа.— Вопросы истории естествознания и техники, 1961, вып. 11, с. 82—88.
- Solovjev Yu. I.* New materials for the scientific biography of J. J. Berzelius.— Chymia, 1961, N 7, p. 109—125.
- Соловьев Ю. И., Куриной В. И.* Якоб Берцелиус. Жизнь и деятельность. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 174 с.
- Russel C. A.* The Electrochemical Theory of Berzelius. Pt I. Origins of the Theory.— Annals of Science. 1963, vol. 19, N 2, p. 117—126; Pt II. An Electrochemical View of Matter.— Ibid., p. 127—145.
- Eriksson G.* Berzelius och atomteorin: den idehistoriska bakgrunden.— Lychnos, 1965—1966, s. 1—37.
- Jorpes J. Jac.* Berzelius. His Life and Work /Trasl. B. Steele. Stockholm, 1966. 195 p.
- Russel C. A.* Berzelius and the Development of the Atomic Theory.— In: John Dalton and the Progress of Science. Manchester, 1968, p. 259—273.
- Melhado E. Jac.* Berzelius: Foundations and Development of his Chemistry: Dissertation. Princeton: University, 1977, 406 p.
- Lundgren A.* Berzelius och den kemiska atomteorin. Uppsala, 1979, 210 s.

Приложения

Приложения открываются письмом Дж. Дальтона Я. Берцелиусу, в котором английский ученый высказывает свою точку зрения о работах шведского коллеги по химической атомистике.

В Приложениях впервые на русском языке публикуются фрагменты из переписки Я. Берцелиуса и Ю. Либиха — двух крупнейших химиков XIX столетия. Эта переписка представляет исключительный интерес, поскольку в ней отразилась борьба различных направлений в развитии теоретической химии того времени.

В Приложения включены также фрагменты из переписки Берцелиуса с американским химиком Робертом Хэйем и французским химиком О. Лораном, в которой шведский ученый высказывает свои взгляды по некоторым вопросам химической атомистики и строения органических соединений.

Впервые на русском языке публикуются отрывки из работ Я. Берцелиуса «Заметки по поводу химических пропорций и некоторых связанных с ними обстоятельств, вместе с кратким и удобным методом их выражения», «Отличие изомерии от аналогичных состояний», а также реферат «Об изомерии».

Приложение 1

Письмо Дж. Дальтона Я. Берцелиусу*

Манчестер, 20 сентября 1812

Уважаемый друг! Я получил Ваше письмо от 1-го пред. месяца и приятный подарок, который Вы были столь добры прислать вместе с ним. Я получил большое удовлетворение, читая его, но еще большее — при чтении Ваших собственных статей в «Анналах химии» выпуски которых я регулярно получал в последнее время вплоть, до марта 1812 г. включительно.

Я решил сравнить Ваши результаты с моими собственными и рад был убедиться, что они настолько близки друг другу, насколько мы вправе ожидать это при современном состоянии науки. Мы оба согласны с тем, например, что первичная частица серы имеет

* Впервые опубликовано в кн.: Roscoe H. and Harden A. A New View of the Origin of Dalton's Atomic Theory. London, 1896, p. 158—161; цит. по кн.: Дальтон Джон. Сборник работ по атомистике. Л.: Госхимиздат, 1940, с. 101—102.

почти вдвое больший вес, чем частица кислорода, как показано на примере серной кислоты и оксида свинца. Мои величины для атомов серы и кислорода равны соответственно 13 и 7, но в результате последующих размышлений я склонен принять 14 как ближайшее целое число для серы, и я намереваюсь изменить некоторые другие числа, которые я ниже заключаю в скобки. Ваши и мои данные можно сопоставить так:

	Берцелиус	Дальтон
Кислород	7	7
Сера	14	14
Свинец	90	95 (90)
Угольная кислота	19+	19,4
Барит	67 или 68	68
Медь	55 или 56	56
Серебро	88,6	100 (90 или 92)
Соляная кислота	23	22 (23)
Железо	48	50
Поташ	41	42
Сода	27	28
Аммиак	14	12
Известь	25	24 (25)
Цинк	57	56
Фосфорная кислота	25 или 26	23 (24) и т.д., и т.д.

Вы принимаете отношение водорода к кислороду в воде так же, как и Дэви, как $7\frac{1}{2}$ к 1 только на основании авторитета Био; я склонен предпочесть отношение 7 к 1, в пользу которого высказываются так много авторитетов.

Существует по меньшей мере 5 соединений серы с железом.

Ж[елезо] С[ера]

1. $50 + 14 = 78$ +22 Вокелен (An. de Chimie) недавно
2. $50 + 28 = 64$ +36 Гатчет (Philosophical Transactions) о магнитном пирите
3. $50 + 42 = 54\frac{1}{2} + 45\frac{1}{2}$ Гатчет и Пруст
4. $50 + 56 = 47$ +53 Гатчет
5. $50 + 168 = 23$ +77 Получено из сульфата железа и сульфиды извести

Красный оксид свинца, как я полагаю вместе с Прустом, является соединением *желтого* и *коричневого* оксидов. Черный оксид железа есть второй, а красный — третий, первый же еще не открыт.

Ваш анализ желтого порошка из сульфата железа, как мне кажется, не совсем правилен. Порошок состоит из 1 атома оксида + 1 атома кислоты; оксид весит 64 или, пожалуй, вернее, 71 + 35 серной кислоты: под действием тепла кислота выгоняется и оставляет приблизительно от 60 до 71 красного оксида.

В отношении оксисоляной кислоты и соляной кислоты мои идеи совпадают с Вашими. Потасий и содий я теперь рассматриваю как металлы; кальций, барий и т. д., как таковые, несколько сомнительны.

Я никак не могу согласиться с исследованиями Дэви и Вашими по вопросу о том, что Вы называете *аммонием*. Я считаю азот и водород простыми телами, насколько мне известно по сие время.

Французское учение о соединении *равных объемов* газов я не могу признать, понимая его в математическом смысле. В то же время я признаю, что имеется нечто удивительное в столь частом повторении таких приближений.

Учение об определенных соотношениях кажется мне *таинственным*, если мы не признаем атомной гипотезы. Эти соотношения выглядят сами по себе так же, как выглядели *мистическими отношениями* Кеплера, пока их столь удачно не разъяснил Ньютон. Продолжение исследования этих соотношений, как я себе представляю, неизбежно должно привести к развитой мною системе представлений о частице, присоединяющейся к частице...

Я не предполагаю быть в Лондоне в ближайшем будущем, а потому был бы рад, если бы Ваши взгляды привели Вас к посещению этого места и если бы Вы назначили *время* для химической дискуссии по тем вопросам, по которым мы с Вами расходимся. Я ответил бы Вам раньше, но хотел сначала прочесть Ваши статьи, чтобы сделать некоторые замечания. Остаюсь с величайшим к Вам почтением, искренно Ваш

Джон Дальтон.

P. S. Если Вы не окажете нам чести своим визитом, я был бы рад, если бы Вы написали еще раз прежде, чем покинуть эту страну.

Приложение 2

Из переписки Я. Берцелиуса и Ю. Либиха *

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 11 февраля 1831

Так как я теперь занимаюсь переработкой своей «Растительной химии» для французского перевода, меня особенно интересуют результаты Ваших последних анализов, и я буду Вас настоятельно просить сообщить их мне для использования.

Я занят теперь изучением свойств нового металла, открытого проф. Сефстрёмом, который он назвал ванадием. Это интересная вещь. Он займет свое место между хромом и молибденом. Как и хром, он дает прекрасно окрашенные соединения, соответствующие всем цветам радуги. Я пришлю Вам некоторое количество их, когда за-

* Из книги: Berzelius und Liebig. Ihre Briefe von 1831—1845. München; Leipzig, 1893; перевод с немецкого и примечания В. И. Куринного.

кончу свои опыты... Вёлер близок к открытию этого тела. Он хотел проанализировать хромовокислый свинец из пимапана (Zimapan); он нашел, что то, что считалось хромовой кислотой, не соответствует действительности, однако не стал себя утруждать, чтобы доказать, что это нечто другое. Когда ты получил от меня разъяснения о свойствах ванадия, он сообщил мне о том, что нашел он, и оказалось, что это оксид ванадия. Сефстрём озабочен тем, что это тело, которое он впервые извлек из шведского полосового железа, можно получить в Германии, куда он хочет послать шлаки этого железа, содержащего ванадий.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 22 апреля 1831

Наконец я покончил с ванадием, это привело к 5-недельной задержке в подготовке моего Ежегодника. Но теперь я настолько увлечен ванадием, что в свободное время сообщаю Вам кое-что

о нем. Ванадиевокислый аммоний NH_3^{V} содержит 72% ванадиевой кислоты. Ванадий (Vanadin) — очень интересное тело, обладающее бесчисленным количеством соединений, которые получаются при работе с ним... Его атомный вес — 855,8. Он образует три оксида V , V и V , первый является закисью, второй образует с кислотами прекрасные голубые соли, а с основаниями — коричневые. Третий дает с кислотами желтые, а с основаниями также частично желтые, частично оранжево-красные соли, однако окраска этих солей исчезает при нагревании как в случае соединений с кислотами, так и в случае ванадатов, образуя изомерные модификации. На днях я перешлю Поггендорфу свою довольно объемистую статью, в которой подробные описания солей, по-видимому, усыпят некоторых читателей.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 2 марта 1832

Мои опыты с теллуrom продвигаются медленно. Я занимаюсь пока соединениями оксидов и еще не скоро закончу эту работу. Исключительно трудная задача — получать теллур в чистом виде, так как S осаждает не только небольшие порции теллуристого висмута, но и теллуристую медь и даже теллуристое железо. Единственный метод, который принес мне удачу, заключается в том, чтобы обработать теллур углекислым калием и углем или маслом, при этом не выделяется в щелочном растворе — золото и медь наряду с марганцем и железом сопутствуют теллуру. Затем я перегоняю последний из продолговатого сосуда в фарфоровую трубку, прокаливаю в токе водорода... Его атомный вес я установил 801, 75, следовательно, он довольно близок к прежнему... Оксид теллура, который я хочу назвать теллуристой кислотой, дает довольно характерные соли: щелочные хорошо растворимы в воде, высушенные — напоминают землистые соляные скопления... Имеются также бителлуриды. Последние растворяются в кипящей воде полностью...

Если теллур растворить в царской водке, а жидкость отогнать, а затем последний остаток растворить в азотной кислоте и высушить его на водяной бане и долго прокалить, то получают желтую, слаборастворимую в воде массу, которая является теллуристой кислотой = $\overset{\cdot\cdot}{\text{Te}}$...

Если теллуристокислый калий смешать с едким кали и пропускать газообразный хлор до тех пор, пока образующийся сначала осадок не растворится, то получают еще более высокую степень окисления теллура... Осадок выпадает с трудом; разлагая его серной кислотой, получают растворимую в воде теллуговую кислоту, которая прекрасно кристаллизуется. Я ее еще не анализировал, но предполагаю, что она $\text{Te}...$

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 30 мая 1832

Мне было очень приятно, что Вы взяли результаты моей последней работы для французского издания своего учебника, я боюсь только, что в моем письме они не настолько полны, как теперь в напечатанной работе. Я благодарю Вас очень за замечательное и интересное сообщение о теллуре. Вы меня премного обяжете, если позволите прислать нам для «Annalen der Pharmacie» полное содержание этой работы.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 25 июля 1832

С теллуrom я еще не закончил. Я не настолько прилежен, как прежде, я взял, по-видимому, слишком большой рабочий план. С оксидами большей частью закончено, однако об этом ничего не хочу публиковать, так как в дальнейшем много может быть улучшено или появятся новые добавления. Имеются только 2 оксида $\overset{\cdot\cdot}{\text{Te}}$ и $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Te}}$; $\overset{\cdot\cdot\cdot}{\text{Te}}$, который, я предположил, не может быть получен...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 27 ноября 1832

Мои исследования теллура вытеснила лимонная кислота. Я сообщу Вам, если Вы пожелаете, свои результаты в форме письма на Ваше имя, чтобы привести его в Ваших «Annalen». Но я прошу улучшить в нем язык...

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 18 декабря 1832

Я получил сообщение от Вёлера о Ваших исследованиях лимонной кислоты, и для меня теперь очень важно познакомиться поближе с Вашими результатами, так как я как раз снова занялся анализом яблочной кислоты и получил замечательный результат, что она имеет тот же состав, что и лимонная кислота...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 15 января 1833

Чрезвычайно интересно, что яблочная кислота изомерна лимонной кислоте. Я надеюсь, что Вы ничего не имеете против того, что использую этот результат в своем новом издании; вычисления, связанные с составом различных солей лимонной кислоты, доставили мне большое удовольствие. Обзор на самом деле очень интересен, хотя я все же не думаю, что он является правильным представлением... Впрочем, некоторые из формул, предложенные Вами, Вы найдете в моей статье, которая довольно скоро появится в «Poggendorff's Annalen».

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 15 марта 1833

Я получил последнее дружественное письмо, доставившее мне удовольствие, я позволил себе изложить дискуссию о составе лимонной кислоты так, как она происходила, не добавляя ничего нового, однако я считаю, что этот раздел может способствовать лишь большому прогрессу в органической химии.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 21 мая 1833

Сравнение анализов этилового эфира серной кислоты (Weinschwefelsäure), этилового эфира фосфорной кислоты (Weinphosphorsäure) и серного эфира (Etherschwefelsäure) в последнем ежегодном отчете побудило меня отступить от представления, как следует рассматривать сложные атомы первого порядка в органической природе. По-видимому, именно из состава этих соединений ясно следует, что они не могут быть соединениями этерина с серной и фосфорной кислотами, так как в этом случае вода, которая в них предполагается, была бы только химически связанной водой, а в солях был бы кристаллической водой. Но так как в солях этилового эфира фосфорной кислоты она не выделяется при $+200^{\circ}$, то она находится там не как таковая, а ее водород и кислород являются действительными элементарными составными частями спирта. Серный эфир Магнуса подоспел как раз вовремя, чтобы это подтвердить, так как соль серного эфира не превращается в серный эфир, причем он теряет одну молекулу воды, и эти два класса солей отличаются друг от друга иначе, чем соли с большим или меньшим количеством кристаллизационной воды. Из этого следует, по-видимому, несомненно, что спирт и эфир не являются $E + 2H$ и $E + H$, поэтому такое представление должно быть отброшено. В общем, по-видимому, следует на основании этих опытов выдвинуть идею относительно состава органических соединений, исходя при этом из сравнения их с неорганическими соединениями. В них (органических соединениях.—В. К.) поэтому мы должны видеть всегда соединения двойные, т. е. состоящие из положительной и отрицательной

составных частей. Поскольку мы имеем только две эти соли, то мы должны их применить в такой же степени в органических соединениях. Поскольку мы рассматриваем циановую и цианистую кислоты как неорганические соединения, то мы не имеем никакого основания рассматривать первую как оксид, а вторую как гидрид сложного

вещества, $\text{CN} + \text{O}$ и $\text{CN} + \text{H}$, и, насколько мне известно, еще

никто не пытался рассматривать по-другому. Но это дает ключ к другим третичным соединениям, отсюда, по-видимому, можно сделать вывод, что спирт и эфир являются оксидами сложных радикалов, а имен-

но спирт $\text{C}_2\text{H}_5 + \text{O}$, а эфир $\text{C}_2\text{H}_5 + \text{O}$. Они так хорошо выражают состав

древесного спирта, он является так же, как предположили и Вы, вторым оксидом того же самого радикала $\text{C}_2\text{H}_5 + \text{O}$, таким образом, имеется такое же различие между этими двумя оксидами, как между

C_2H_5 и C_2H_5 . Разновидности эфиров водородных кислот есть не что иное, как хлориды, бромиды, иодиды тех же самых радикалов $\text{C}_2\text{H}_5 + 2\text{HCl} = \text{C}_2\text{H}_5 + \text{Cl}$, и, следовательно, они в своих проявлениях согласуются полностью с разновидностями эфиров, содержащих кислородные кислоты и встречающихся в неорганической природе.

Соединения кислот с оксидами $\text{C}_2\text{H}_5\text{O} + \ddot{\text{N}}$, $\text{C}_2\text{H}_5\text{O} + \text{A}$ и т. д.,

и теперь ацеталь, состав которого Вы так прекрасно определили, является $(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})^2\text{A}$, уксусный эфир относится к последнему, как, например, PbA к Pb^3A .

Это прекрасное согласование с неорганической природой, которое известно нам из легко воспринимаемых соотношений, по-видимому, говорит о том, что мы ступили здесь не на совсем неверную тропу. Мы имеем, следовательно, два оксида указанного радикала: закись, в которой 2 ат. радикала соединены с 1 ат. кислорода, и оксид, в котором 1 ат. первого соединен с 1 ат. второго. Сернистые соединения Вы скоро не представите так, как это Вы сделали с сернистым бензоилом, мы имеем далее хлориды, бромиды и иодиды, и кислородные соли закиси (если их так можно назвать). Они уже хорошо известны нам как оксиды. Из этих представлений следует, что мы должны допустить для органических соединений два вида формул, из которых те, какие мы до сих пор употребляли, называются эмпирическими, так как они содержат только результаты анализа без всяких выводов. Так, например, эмпирическая формула эфира $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$. Другая, которую я буду называть рациональной, выражает внутренний состав, по-моему, рациональная формула эфира $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$. Другой, например, Дюма, по-видимому, напишет ее $\text{C}_4\text{H}_8 + \text{H}$.

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 30 мая 1833

Я хочу выразить Вам удовлетворение, которое доставило мне изложение Вашей идеи о составе винного спирта и эфира; после того как я прочел письмо, я сказал: «Черт возьми, я был на том же пути; я думал, ведь есть общее, которое должно удовлетвори-

тельно охватывать все явления и все соединения. Я настолько согласен с этой теорией, что выдержку из Вашего письма опубликовал незамедлительно в «Annalen»; мы нуждаемся в органической химии в новых представлениях, материал накапливается непрерывно и должен быть упорядочен. Только при упоминании этилового эфира фосфорной кислоты я внес изменение в Ваше письмо; я нашел, что

он представляет собой не $\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{P}}} + 2\text{C}^2\text{H}^6\text{O} = 1$ ат. фосфорной кислоты +

+ 2 ат. спирта, а $\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{P}}} + \text{C}^4\text{H}^6\text{O}$, так как, будучи высушенной при 200° ,

бариевая соль этилового эфира фосфорной кислоты не содержит спирта, а содержит эфир. Согласно Вашим новым взглядам, это может произойти лишь в том случае, если спирт рассматривать как гидрид оксида $\text{C}^2\text{H}^6 + \text{O}$.

Таким образом, различие между неорганическими и органическими соединениями исчезает все больше и больше; я считаю, что в органической природе принципы неорганической могут лишь повторяться, что установлено многими опытами, но с теми изменениями, которые так же бесконечны, как и сама природа...

Я определил удельный вес паров серы по методу Дюма, однако я получил настолько необычную разницу, что смущаясь об этом говорить, для других веществ метод неплох...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 30 августа 1833

Большое спасибо за многие прекрасные результаты. Я не ожидал, на самом деле, что анализ этилового эфира фосфорной кислоты Пелуза неправилен. При этом Вы высказываетесь, что спирт является гидридом эфира. Таким образом я его не рассматривал, и если различие в составе этилового эфира серной кислоты и серного эфира полностью справедливо, как это следует из теперь известных анализов, то спирт должен быть другим оксидом, а не оксидом эфира...

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 26 ноября 1833

Работая над содержанием статьи «Эфир» для лексикона, я счел необходимым утвердиться в определенном мнении, что привело меня с помощью эксперимента к ревизии. Теперь я считаю, что Ваш новейший взгляд на теоретический состав эфира ($\text{C}^2\text{H}^6 + \text{O}$) является более, чем мнением, он является неоспоримым фактом, и нельзя избрать другой, чтобы не впасть в заблуждение или обманчивый вывод...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 15 июля 1834

Рейхенбах прислал мне небольшую пробу метеорита, упавшего в ноябре 1833 г., с просьбой проанализировать его. Это привело

меня к далеко идущему исследованию метеоритов, но которое не дало заметных результатов. Я думаю, что мне повезло, так как удалось разложить метеориты на минералы, из которых они составлены. Последними являются: 1) никелевое железо, которое содержит кобальт, медь, олово, марганец, магний, серу, фосфор и уголь, ... 2) сернистое железо, по всей вероятности, FeS, 3) магнетит, 4) оливин, 5) пироксен, 6) хромистое железо, 7) оловянный камень...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 19 декабря 1834

Что скажете о работе Дюма о древесном спирте? Ряд фактов, которые он там приводит, исключительно важны. Дюма поставил свою работу несколько нефилософски, приняв метилен и полностью на нем базируясь, не поставив вне сомнения существование последнего (метилена.—В. К.). Если этот метод ввести в науку, то скоро исчезнет надежность. На самом деле, очень жаль, что это очень интересное открытие не обсуждается с философской основательностью.

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 31 декабря 1834

Что касается древесного спирта Дюма, то я не смог воспринять его результаты, я должен был проанализировать совсем другое вещество; но я попытаюсь получить большую порцию вещества и повторить работу от «А» до «Z»...

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 25 марта 1835

Я нашел, что безводный эфир, если его пары пропустить через раскаленную трубку, разлагается полностью на воду, газ и конденсирующееся легко летучее вещество с очень замечательными свойствами. Этот газ имеет следующий состав: C_4H_{10} , а вещество, которое я хочу назвать альдегидом, — $C_4H_8O_2$, так что из 3 ат. эфира получается 3 ат. газа, 1 ат. альдегида и 1 ат. воды. Что это за газ, я еще не знаю, возможно, что это смесь CH_4 с CH_2 или вещество, их производящее, в этом я надеюсь еще разобраться...

Вы, конечно, заметили, что альдегид имеет тот же состав, что и уксусный эфир. Соединение с аммиаком — $C_4H_8O_2 + N_2H_6$, оно обладает специфическим запахом, представляет собой жидкость, как и вода, и, по-видимому, получается так же, как уксуснокислый аммоний.

Другим важным свойством альдегида и его аммиачных соединений является то, что они легко при незначительном нагревании и без вскипания восстанавливают оксид серебра до металла...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 10 апреля 1835

Я приношу Вам мою благодарность за прекрасные сообщения, содержащиеся в Вашем сегодня пришедшем письме. Описание аль

дегида меня очень интересует. Его подобие по составу уксусному эфиру, а следовательно, также метиловому эфиру муравьиной кислоты Д-а и П-о (Дюма и Пелиго. — В. К.), внесет в историю изомерных соединений исключительно прекрасный пример, так как они имеют совершенно одинаковый процентный состав, но составлены совершенно разным способом. Газ, который образуется одновременно с альдегидом, как Вы сообщили, имеет состав C^4H^{10} , это как раз радикал эфира.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 3 января 1837

Ноябрь и декабрь были окутаны у нас туманом, так что я в своей не особенно светлой лаборатории без лампы мог работать за конторкой только три часа в день. Это время я использовал для переработки своего учебника. Главу об эфире я разработал с особой любовью. При этом я счел совершенно необходимой Вашу номенклатуру: этил, оксид этила и т. д. Некоторые результаты вычислений, к которым я пришел во время этой работы, Вас, конечно, заинтересуют, хотя они такого свойства, что их может получить каждый исходя из имеющихся данных.

1. Эфир состоит из 2 ат. радикала и 1 ат. кислорода. Оксид этила в парообразном состоянии имеет уд. вес 2,5809. Как известно из анализа, это составляет как раз половину объема кислорода. Другая половина весит 2,0926, это — газообразный этил. Это может быть как половина объема, так и целый объем, так как 2 об. газообразного этила соединяются с 1 об. кислорода, конденсируясь от 2 до 3. Хлорид этила весит в газообразном состоянии 2,2349. Половина его (т. е. по объему) составляет хлор и замещает 1,2202, давая $1,0147 \times 2 = 2,0294$. Это значит, что вес одного объема этила 2,0924, из чего неопровержимо следует, что в 1 об. оксида этила содержится 1 об. этила и $\frac{1}{2}$ об. кислорода.

2. Уксусная кислота (ацетилкислота) состоит также из 2 ат. радикала и 3 ат. кислорода. Удельный вес безводной уксусной кислоты вычислен из удельного веса уксуснокислого оксида этила (этилового эфира уксусной кислоты. — В. К.). Он равен 3,06340. Он содержит, как мы знаем из анализа, половину объема оксида этила 1,29045, что дает для веса половины объема уксусной кислоты 1,77295, и, таким образом, для всего объема 3,5459.

Ацетилхлорид, открытый Реньо, проанализированный и взвешенный в газообразном состоянии, имеет удельный вес $= 2,1661$, если учесть в нем $\frac{1}{2}$ об. газообразного хлора, то остается $\frac{1}{2}$ об. газообразного ацетила $= 0,9459$, который дает для всего объема 1,8920. Если теперь мы к последнему прибавим полтора объема кислорода 1,6539, то получим для одного объема безводной уксусной кислоты 3,5459, т. е. то же число, которое мы получили из веса уксуснокислого ацетила этилена. Следовательно, безводная уксусная кислота состоит из двух объемов газообразного ацетила и 3 об. газообразного кислорода, конденсируясь до 2 об.

Небольшие отклонения происходят из-за отбрасывания последних цифр десятичных дробей, которые накапливаются в конечных значениях.

Если теперь 1 об. ацетилоксида состоит из 1 об. ацетила и $\frac{1}{2}$ об. кислорода, то уд. вес будет 2,4433. Если положить к этому 1 об. газообразного водорода без конденсации, то получаем $0,6201 = 3,0634$; половина этого = 1,5312 является уд. весом газообразного альдегида, который, согласно этому, состоит из $\frac{1}{2}$ об. оксида ацетила и $\frac{1}{2}$ объема воды.

Согласно этому, уксуснокислый аммоний, если \dot{A} означает ацетил, = $\dot{A} + \ddot{N}H^4$, я хочу назвать, ацетилистокистый аммоний

(вернее оксид аммония). Осадок с $Ag\ddot{N}$ свидетельствует как раз о

том, что оксид ацетила может соединяться с другими основаниями. Мог бы не совсем обезвоженный альдегид дать с калием газообразный водород и $\dot{K}\dot{A}$? Я полагаю, что электроотрицательный ацетил ведет себя в этом случае, как сера и фосфор, что его низшая степень окисления является кислотой, хоть и очень слабой.

Очень жаль, что муравьинокислый эфир не взвешен в газообразной форме. Как было бы интересно провести аналогичное сравнение не только для высших хлоридов и бромистого формила.

Их цианистый эфир совсем не представляет исключения из общего правила. Он состоит, аналогично эфиру серной кислоты, из 1 ат. циановокислого оксида этила и 1 ат. циановокислой воды. Он, конечно, будет давать с точно соответствующим количеством основания соответствующие двойные соединения. Их хлораль является, по

всей вероятности, соединением высшего хлорида формила ($C^2H^2Cl^3$)

с тем же веществом, которое в оксамиде соединено с $\ddot{N}H^2$. Это вещество \ddot{C} не может быть идентифицировано с $2C$; исключительный характер этого вещества заключается в том, что оно дает с гидратом основания соль формила. Поэтому — разложение хлорала. То, что \ddot{C} в оксамиде не дает муравьиную кислоту, легко объясняется из образования аммония...

В моей голове не может уместиться, что спирт должен быть гидратом оксида этила, так как все нейтральные соединения оксида этила и даже хлорид, бромид и т. д. этила имеют основные свойства эфира, которые должны уничтожаться таким слабоэлектроотрицательным веществом, как вода. Или не существует никакого гидрата оксида этилена (что можно было бы уместно предположить из растворимости в воде соединений оксида этила), или речь идет только о спирте, как в случае водной цианистой кислоты в циановой. Если бы спирт содержал воду, то эта вода могла бы быть связана с помощью \dot{Ca} или \dot{Ba} , а оксид этила выделен. В противоположность этому меркаптан является, очевидно, сернистым этилом, связанным с сероводородом, и, по аналогии с гидратом оксида этила, сероводород может быть вытеснен сернистыми основаниями. Сернистое соединение, аналогичное спирту, т. е. C^2H^3S , совсем еще неизвестно.

Я предпринял попытку улучшить символы органических соединений. С тех пор как моя память не располагает, как раньше, числом

простых атомов, я нахожу большое несовершенство этих символов, так как от них памяти нет никакой помощи. Поэтому я нашел свое спасение в следующем: я беру начальную букву латинского названия, например, для уксусной кислоты А, затем слева вверху я указываю маленькой цифрой число атомов углерода, внизу — число атомов водорода, если присутствует азот, его число указывается в промежутке; поэтому ${}^4_6\text{A}$ является ацетилом, ${}^4_6\text{A} + \text{H}$ гидратом оксида ацетила, или альдегидом, ${}^4_6\ddot{\text{A}}$ уксусной кислотой, ${}^{10}_6\dot{\text{E}}$ этилоксидом и т. д. Двойные атомы там не указываются, как вопрос только теоретический, чуждый вычислениям. ${}^4_8\text{E} + \text{H}$ эфир Дюма, ${}^4_8\text{E}{}^4_6\text{A} + \text{H}$ уксусный эфир Дюма. Мне кажется вероятным, что Дюма очень близок к взгляду, судя по его статье о соединениях метила, что эфир является оксидом, а это, собственно, происходит от того, что он довольно неприглядным образом повторяет всегда, когда для этого есть обстоятельства, что он и Буллей являются авторами этого взгляда, что является явной неправдой, которая, однако, вдалбливается, по крайней мере определенное время, французам, как раз мало знающим немецкую научную литературу.

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 5 января 1837

Моя работа не имеет ни малейшего отношения к тому, чтобы доказать так называемую субстракцию воды в солях и кислотах, наоборот, она направлена на то, чтобы выяснить строение многих кислот, которые я не могу представить себе и объяснить иначе, как водородные кислоты...

Теперь можно спросить, образуется ли вода в готовом виде, отделяясь с помощью оксида, является ли циановая кислота $3\text{C}_2\text{O} + 3\text{aq}?$ или циановая кислота является водородной кислотой $\text{C}^6\text{N}^6\text{O}^6 + 6\text{H}$, подобно кремнефтористоводородной кислоте с 6 атомами водорода? Я считаю, что как раз водород находится вне радикала, это вполне вероятно; почему на самом деле едкое кали, которое является сильным основанием, не может заместить весь водород, почему для этого нужно применять легко восстанавливаемый оксид? Различие между циановой кислотой и гидратом цианистой кислоты должно быть вне обычных принятых представлений, но оно неясно и неудовлетворительно. Так как мы не знаем, проявляется ли калий в серноокислом калии как кали или как $\text{SO}_4 + \text{K}$, то это побуждает в конце концов к тому, чтобы создать представление, которое объединяло бы все соединения в гармоническую систему, формула $3\text{SO}_4 + \text{Al}_2$ была бы аналогична $3\text{Cl}_2 + \text{Al}_2$, короче, химия стала бы удивительно простой. Только не стоило бы в свойствах хлористоводородной кислоты искать этот новый и неизвестный солерод. Я чувствую, что близко то время, когда как выход из положения примут эти представления. Уже теперь определение нейтральной соли является невозможной задачей.

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 25 февраля 1837

Я вижу из Вашего письма, что мы расходимся с Вами в строении спирта и я страстно надеюсь, что мы сможем объединиться в

этом, так как наш раскол опять порождает определенное число противников теории эфира.

Я опубликовал два значительных сообщения о теориях замещения и эфира Дюма, одно в «Annalen», другое в «Annales de Chimie», я прошу прочесть Вас только последнее, в первом имеются ошибки, оно не так логично, как я надеялся. Я думаю, что обе эти теории исчезнут, и Дюма станет посмешищем, если он опять скажет о них одно слово...

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 26 ноября 1837

Мной как раз овладела идея, что все органические кислоты в известном смысле являются водородными соединениями, Вы скажете, что это старая история...

Я прошу Вас дать дельный совет.

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 12 декабря 1837

Я только что опубликовал пространную и подробную критику теории господина Лорана, представления которого в химии основываются на неустановленных фактах. Теория Лорана является детищем теории маслородного газа, наличие которого в эфире мы, собственно говоря, полагаем только с помощью необоснованного мнения, а вовсе не на основе фактов. Мы имеем право закрыть дверь для таких же малообоснованных взглядов... Это видит также Дюма, и это является главной первопричиной, почему он перешел под наши знамена.

Ваш взгляд на природу эфира, защиту которого я считаю своей задачей в последние годы, теперь, как я думаю, не имеет более противников.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 19 декабря 1837

Ваше примирение с Дюма доставило мне радость, так как мастера науки должны быть друзьями. Что касается перехода Дюма, то я посмеялся над этим. Из последних статей Дюма, по-видимому, обнаруживается, что он заботится о том, как избежать явного вранья, что он и Буллей являются предшественниками наших взглядов. Я высказал это предельно ясно также в своем последнем ежегодном обзоре. Но мы должны быть готовы, если я хорошо знаю Дюма, что он нанесет нам косвенный удар, выступив публично с измененными взглядами, и это выступление не принесет ему беды. От совместной работы с Дюма в органической химии я Вас полностью отговариваю, так как Вы скоро потеряли бы обретенное спокойствие.

Теперь я перехожу к Вашим в высочайшей степени интересным открытиям о поведении различных солей раст. кислот при повышенной температуре. Вы говорите, что рассматриваете эти кислоты в определенном смысле как водородные кислоты и требуете, чтобы

я сообщил Вам свое мнение об этом. Я хочу это сделать и при этом замечу, что водородные кислоты могут рассматриваться лишь в единственном смысле как кислоты, в которых водород замещается металлом. В упомянутых Вами случаях это не могло быть приемлемым объяснением. Уже необходимость в Ваших формулах принимать столько атомов неорганического основания заставляет задуматься, что здесь теория что-то предусматривает, что в природе не имеет места. По моему мнению, Вы натолкнулись на высочайшей степени интересный раздел сухой перегонки, который быстро обогатится новыми фактами, но для правильной теории фактов еще недостаточно. Мне кажется, что, например, превращение виннокислых оксидов сурьмы и калия как раз той же самой природы, как и, например, превращение яблочной кислоты в малеиновую путем выделения $2\text{H} + \text{O}$, которые связываются в воду. Вы полага-

ете двойную соль $\overset{\cdot\cdot}{\text{K}}\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}^4\overset{\cdot\cdot}{\text{H}}^4\overset{\cdot\cdot}{\text{O}}^5 + \overset{\cdot\cdot}{\text{S}}^{\cdot\cdot} \overset{\cdot\cdot}{\text{C}}^4\overset{\cdot\cdot}{\text{H}}^4\overset{\cdot\cdot}{\text{O}}^5$. При известной температуре из каждого атома кислоты выделяются 2H и O , связывающиеся

в воду, оставляя двойную соль $\overset{\cdot\cdot}{\text{K}}\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}^4\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}^2\overset{\cdot\cdot}{\text{O}}^4 + \overset{\cdot\cdot}{\text{S}}^{\cdot\cdot} \overset{\cdot\cdot}{\text{C}}^4\overset{\cdot\cdot}{\text{H}}^2\overset{\cdot\cdot}{\text{O}}^4$. Мы в химии

как раз подошли к тому положению, чтобы изучать продукты, которые получаются без примеси остатка из-за замещения элементов, и мы должны начинать в этом процессе с водорода и кислорода, которые наиболее распространены.

Кислород, выделяясь самостоятельно, дает, как известно, низшую степень окисления. То, что дает водород в качестве остатка, выделяясь самостоятельно, известно в немногих случаях, и не много лучше — то, что дают водород и кислород, выделяясь совместно. Этот вопрос возник благодаря опытам Лорана о превращениях, например, нафталина при замещении водорода с помощью хлора. То, что его способ объяснения непригоден, — очевидно.

Ильгрен у меня занимался общим исследованием продуктов замещения, которые получаются, если обработать обычные растительные вещества сухим хлором и отделить соляную кислоту, чтобы прийти таким образом к общим представлениям об этом. Я, например, считал, что очень вероятно, что многие животные вещества, содержащие серу, в своей основной массе, содержат 1 атома серы, это имеет место, определено, в фибрине, альбумине, клее (Colla), хондрине (Chondrin) и т. д. ... Вы видите, что я думал об этих соотношениях, и поэтому получается, что я рассматриваю результаты Ваших новейших опытов как своего рода видоизменение этого большого учения о замещении, правильная теория которого может появиться лишь после широкого рассмотрения этого учения во всем его объеме.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 20 февраля 1838

Я очень благодарен Вам за подробные результаты Ваших последних исследований, сообщенные в Вашем последнем письме. Что касается объяснений, которые Вы попытались дать в связи с этим, то они, конечно, очень проблематичны. Число примеров, в которых проявляются эти особенные явления, все же слишком ма-

лб, чтобы сделать надежный вывод, и довольно редко сбывается тот случай, когда правильный теоретический взгляд сразу подтверждается необходимым опытом. Первые поясняющие опыты появляются обычно позднее; редко, когда они появляются вначале, более или менее отклоняясь от действительного положения вещей. Я могу Вам напомнить прекрасный пример Араго, который воздерживался от всяких объяснений после того, как открыл явление ротационного магнетизма, и даже после того, когда многие пытались высказать довольно вероятные взгляды на это, он всегда отвечал: «Я не могу это объяснить, но мне ясно, что такое объяснение не могло бы быть правильным». Но если в конце концов правильное вытекает из других фактов, то мы признаем его, ведь все равны перед правдой.

Что касается сравнений с фосфорной кислотой, то они не выдерживают критики. Роль, которую играет там вода, согласно Грэму, не является особенной, она принадлежит воде во всех случаях, когда последняя соединена с кислотами и солями. Идея Грэма сделать из нее основание могла бы быть правильной, но в таком случае вода должна была бы рассматриваться во всех своих соединениях или как основание, или как кислота. Если вы при описании своих опытов хотите дать теоретическое объяснение, то я Вам советую последовать при этом примеру Ньютона, который после изложения фактического материала в конце позволял себе проследживать различные взгляды, причем он полагал, что форма вопросов должна вызывать размышление. Тем самым, авторы не попадают в неприятное положение, когда им приходится защищать свои взгляды или отказываться от них.

Такой метод вносит в науку смысл, никого ни к чему не принуждая...

Лишь теперь я прочитал заметку, принадлежащую Вам совместно с Дюма. Дорогой Либих, Вы попали, как мне кажется, в плохое положение. То, о чем там говорится, невозможно выполнить, а открытия, которые там признаются, следовало бы по возможности исключить или расценить как вероятные. Я хочу обратить Ваше внимание на две поговорки в Вашем дурном положении: *Noscitur ex socio, qui non noscitur ex se* и на английскую: *A man of senses says never what he does, only what he has done, a fool says what he will do*. Первая не всегда справедлива, но вторая не имеет исключений.

Я перехожу теперь к довольно неприятному для меня делу. Оно касается Вашего превосходного введения в анализ органических веществ. Вы поместили в нем меньше, чем сделал я для этого вида анализа; когда я исключил из употребления трубчатый аппарат для сжигания, все отбросив как или ненужное, или ошибочное, то Вы с этим выступили публично, в то время как мы собирались это сделать совместно в дружеской переписке. Вы бы могли сообщить мне о своих сомнениях, и я бы мог дать Вам объяснения по этому поводу, а Вы предпочли поставить меня в неприятное положение — необходимость защищаться от такого болтливого друга, как Вы. Мой дорогой Либих, я говорю об этом без малейшего следа злости, Вы должны внять резкому судье-химику, Вы стоите достаточно высоко, чтобы увидеть, что нельзя подавлять других, вокруг стоящих, чтобы самому лучше видеть. То, что Вы привели о моем способе отделять воду, неверно; Вы неправильно поняли мою методику операций; то, что Вы указали на каучуковые трубки как на гигроскопические тела, — в основе своей неверно... Откуда могли

появиться Ваши ошибочные указания, я не могу догадаться... Я буду публично защищаться в приложении к 6-й части своего учебника и обращу внимание химиков на ошибки наблюдения, к которым приводит каждый метод, в том числе и Ваш, и которые я смог заметить; однако Вы должны при этом воспринять мою защиту с таким же малым пристрастием, как и я принял Ваши упреки, так как мужчины должны спорить дружески и быть выше мнений...

ЛИБИХ ВЕЛЕРУ

Гиссен, 2 марта 1838

Я прошу Тебя, сделай все возможное, чтобы сгладить дурное впечатление, которое на него ((Берцелиуса.— В. К.) произвели хорошие намерения, высказанные без оглядки. Я далек от того, чтобы таким путем отвести упрек Берцелиуса, он должен быть высказан, и если я заслуживаю штрафа, то готов оплатить его безо всяких жалоб со своей стороны. Берцелиус своим дружеским и ободряющим поведением был с самого начала моей карьеры моим добрым гением; его влияние на нашу литературу очень велико, но его влияние на меня было еще больше. Нет такого человека, который был бы к нему настолько внутренне участлив, как я, и который больше бы признавал и ценил его заслуги. Никто из Вас настолько часто не соприкасался с его работами, я находил его всегда правдивым, постоянно искренним, и его глубокий острый взгляд всегда до конца оставался справедливым, даже тогда, когда я пытался найти у него ошибки. Как мне могло прийти на ум попытаться напасть на него?

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 7 марта 1838

Сегодня получил Ваше письмо от 20-го февраля, его содержание было для меня не совсем неожиданным, так как я мог предвидеть, что в нем могло бы быть высказано. Вы серьезно оскорблены моими высказываниями в словаре и хотели бы начать со мной публичный спор по этому вопросу. Это навряд ли оправдано, так как каждый знает, что мои высказывания направлены не против Вас, а против моих ожесточенных и злонамеренных врагов, которые опасны вдвойне, так как их трусость не позволяет им выступить против меня открыто, а только тайно. Я должен защищаться против них всеми способами, которые имеются в моем распоряжении, и я не защищал бы отца и брата, если бы они перешли на их сторону; Митчерлих пытается всеми средствами уничтожить мою репутацию и честь, но и этим он не ограничивается, а пытается похоронить мое существование. Представьте себе, он добился в прусском министерстве того, чтобы ни один пруссак, ни один фармацевт, который хотел бы изучать химию, не обучался в Гиссене... Он мне сказал, так же как Густаву Розе, Рудбергу и другим, что он возьмет немного у Вас, немного у меня, после чего добавит немного своей дряни и создаст аппарат, который он назовет аппаратом Митчерлиха, и на лекциях он говорит о своем методе, о своем аппарате для органического анализа, но только Вы один можете по праву и по справедливости отстаивать свой приоритет и взять его под защиту публично. После то-

го как этот человек провел два или три анализа, он считал для себя возможным ввести некоторые изменения в аппарате, которые, на мой взгляд, бесцельны или ненужны, а Вы узаконили эти изменения как хорошие и современные, написав об этом в своем учебнике. Вам было угодно ввести улучшения, которые я сделал после публикации о своем аппарате. В моей лаборатории ежегодно делается 400 анализов веществ различного рода; неужели на самом деле мои опыты могут быть настолько незначительными, что не обратят на себя внимания. Ваш метод улавливать воду я сначала принял; я же применял промывание аппарата водой и ртутью, высушивание проходящим через аппарат воздухом и едким кали... Бесчисленные опыты меня убедили, что с помощью более простых средств, описанных мною, цель достигается с равной надежностью и той же точностью. Должен ли я теперь ждать свой приговор?... Вы должны твердо поверить, мои высказывания не были направлены непосредственно против Вас, за исключением тех случаев, когда утверждения, на которые я нападал, не были утверждениями Митчерлиха или он не считал их своими собственными. Я прошу Вас, если Вы обратите внимание химиков на ошибки наблюдений, проистекающие из всех методов, а также из моих, проверить опыты, которые я описываю в словаре; если Вы отстаиваете не мнения, а только факты, то Вы не найдете никакой разницы между анализами, поставленными по Вашему и моему методу... Я указал на то, что Ваш аппарат с хлорнокислым калием имеет ограниченное применение, так как с его помощью нельзя анализировать азотсодержащие вещества, жидкости и жиры.

Напишите мне Ваши замечания в форме письма или другой — на Ваше усмотрение, и я опубликую их без промедления в своем журнале, но не давайте их в своем учебнике, так как в таком случае я мог бы подумать, что Вы не придаете значения нашей дружбе, а это причинило бы мне боль. Вы осуждаете меня совершенно несправедливо, когда думаете, что я пытаюсь принизить вокругстоящих, чтобы самому быть больше на глазах. Возвышение в глазах других имеет в отношении меня не большее значение... Вы можете поступить опрометчиво или бесцеремонно, но никогда не причините преднамеренно боль или страдание. Никогда не было человека, относящегося к Вам с большим признанием и любовью, чем я; спросите об этом Вёлера, был ли я когда-либо другим человеком, увлеченным с самого начала до восхищения Вашей огромной деятельностью и чистой любовью к правде. Ваша действительно отеческая дружба была немалым стимулом в моей деятельности, Ваши работы были для меня образцом, которого и я пытался достигнуть. Посмотрите какую-либо из моих работ, по принципам и методам она Ваша. Сын не мог бы испытывать большего чувства глубокого уважения и симпатии, чем я. Эти убеждения, которые я даже не скрывал от всех, должны быть Вам порукой, что все эти недостатки, которые Вы мне приписали, никогда у меня не были. Вы имеете намерение часто выступать против меня, я же никогда против Вас не выступлю. Ваши упреки объяснили мне, что я навредил Вам, а теперь я знаю, как избежать этого в будущем, и так оно, конечно, и будет...

Ваше письмо настолько жестко, что оно огорчило меня. Следует сказать Вам, что я не являюсь противником каталитической силы, что я считаю ее недостаточной для развития науки, так как ее принятие удовлетворяет, по-видимому, духу, но ограничива-

ет дальнейшее развитие исследований. Все это внесло раскол и причинило ущерб. Я это предвидел и с тяжелым сердцем вверю себя своей судьбе. Я представлял себе, что дружеские отношения сопряжены с различными мнениями в науке, я вижу, что я заблуждался.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 3 апреля 1838

Получил Ваше последнее письмо и спешу ответить на него, чтобы доказать Вам, что наша разница во взглядах не может возбудить недружественные мнения; я, как всегда, Ваш сердечный, преданный друг. Если я в вопросах науки не всегда согласен с Вами, то это нисколько не умаляет мою дружбу по отношению к Вам, как будто бы два брата высказывают различные мнения, например, по агрономическим вопросам и каждый защищает свое мнение. А теперь я, старший брат, прочту маленькую проповедь своему младшему брату.

При обсуждении научных вопросов не должно быть ни врагов, ни друзей. Мы боремся с тем, что считаем заблуждением, совсем не принимая во внимание личность, по-видимому, заблуждающуюся. Я довольно хорошо видел, что Вы метите в Митчерлиха, однако не обращал внимания. Я также видел, что Вы не хотели мне навредить. Однако факты принадлежат мне, и я должен, естественно, их защищать, если это можно защищать. А что касается Вашей вражды с Митчерлихом, зачем вносить это в научные сочинения. Я знаю М. довольно хорошо и, по-видимому, мог бы иметь настолько же основательный повод быть им неудовлетворенным, как и Вы, однако это никогда не давило, когда писал о вопросах, по которым мы с ним не были одинакового мнения. В сочинениях Митчерлиха Вы никогда не найдете ничего, направленного против Вас. Но при этом он следует своим собственным взглядам, и это он делает правильно. Но взгляды — это не личности, и взгляды мы можем отбросить, не ища повода к тому, чтобы враждебно обсуждать их авторов. Только в том случае мы имеем право сделать свое перо более острым, если имеет место очевидное научное воровство, но и тогда выговор лучше всего сделать без малейшего выражения пристрастия; так как последнее возбудит у каждого понятливого читателя мысль: *Andiatur et altera pars*, пристрастие всегда заставляет задуматься, что его сопровождает. Протяните поэтому мне Вашу братскую руку, чтобы мы изгнали из всех Ваших работ пристрастность... Я заканчиваю свою проповедь словами: «friendship for ever».

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 15 апреля 1838

Ваше письмо от 3-го апреля меня очень обрадовало, мои грехи, следовательно, отпущены, и, я надеюсь, забыты. Ваша проповедь не была напрасной, моим намерением всегда было спокойствие и беспристрастность, и один дьявол знает, что иногда происходит с моим пером. Я жму Вашу отеческую руку с искренней любовью и уважением и говорю вместе с Вами: «friendship for ever».

Я живу многие месяцы в страхе и заботах из-за теории органических кислот; если обобщить все явления, то, по-видимому, в конце концов для объяснения достаточен взгляд, который Вы применили для родана и роданистоводородной кислоты. Вопрос о том, состоит ли последняя из родана Cu_2S и сероводородной кислоты или из солерода Cu_2S_2 и водорода, — решается в зависимости от существования воды в так называемых гидратах кислот. Если серная кислота на самом деле является $\text{SO}_4 + \text{H}_2$, то ее способность к насыщению зависит только от водорода, который находится вне радикала; если мы заберем кислород из радикала и внесем в радикал серу и кислород, или оксид азота, или эфир, или что-либо другое, то это совершенно не повлияет на способность кислоты насыщать основание. Но если водород изменен вне радикала, то в результате изменится способность к насыщению.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 4 мая 1838

Я прочел с большим интересом разъяснения Ваших теоретических рассуждений. На меня они не произвели впечатления. Если сравнить в высшей степени отличное обобщающее изложение простых теоретических взглядов в Вашей совместно с Дюма изданной 23-го октября программе с опубликованным объяснением тех изменений, которые при $+190^\circ$ претерпевают цитраты, тартраты и некоторые другие, то невозможно избежать подозрения, что Вы все же не увидели, до какой степени правильны основные положения программы, чего совершенно не скажешь о Вашем первом совместном опыте. На деле было бы невозможно придумать что-либо, менее всего отвечающее этим взглядам. Ничто не могло бы вызвать, конечно, большего Вашего одобрения, как удивительный, я близок к тому, чтобы сказать, бессмысленный (извините меня все же за братскую болтовню) состав нейтрального виннокислого калия, где еще к наличию калия должен быть добавлен также водород в качестве основного радикала. Для меня это, по крайней мере, невозможно. Как раз то обстоятельство, что Вы употребляете 3 эквивалента водорода для насыщения одного атома органического вещества, показывает, что то, что Вы принимаете за один атом, на самом деле должно быть 3 атомами. Я знаю довольно хорошо, что это не подходит для Вашей теории, но как раз в этом лежит доказательство того, что этот взгляд неправилен. Вы построили искусную гирю, которая рассыпается при первом научном потрясении. Оно будет заслуженным Вами штрафом за то, что Вы так быстро пренебрегли прекрасной простой надежной теорией, которую Вы пропагандировали. Если бы Вы за нее крепко держались, то Вы не получили бы ничего другого, кроме как прекрасных результатов, которые из-за своей простоты и ясности каждому должны были бы бросаться в глаза. Пелуз написал мне и пожаловался на то, что Дюма украл у него теорию превращения цитратов. Я использовал это обстоятельство, чтобы восстановить справедливость и высказался как об этой теории, так и о теории замещения Дюма, поскольку она допускает замещение водорода хлором, об удивительных вещах Лорана и о некоторых других предметах, и я просил Пелуза опубликовать это письмо.

То, что Вы говорите о теории солей, совершенно верно, но что может дать эта теория, рассматриваемая изолированно. К тому же следовало бы ввести новую номенклатуру. В пользу этого говорит и то обстоятельство, что старая теория объясняет все явления не хуже, чем новая, а некоторые даже лучше, например, чем являются в

новой теории безводные $\dot{\text{N}}\ddot{\text{A}}\ddot{\text{S}}^2$, $\dot{\text{H}}\ddot{\text{S}}^{\ddot{\cdot}}$? Но эти соединения все же существ-

вуют и очень просто объясняются старой теорией. Поскольку нам известны безводные кислоты, а ни один-единственный из принимаемых новой теорией солеродов, например, $\text{S} + 4\text{O}$, $\text{Cr} + 4\text{O}$ и т. д., не может быть представлен, то было бы слишком успешным разрушить старое хорошее строение, не имея возможности построить на этом месте такое же надежное. Мы должны стремиться создать в науке понятия настолько ясные, насколько это возможно, и изменять настолько мало, насколько это возможно. Я мало склонен к тому, чтобы новый взгляд поставить рядом со старым в качестве другого способа объяснения, и что на самом деле представляют наши взгляды, как ни способ объяснения? Если бы мы смогли увеличить атомы настолько, что смогли бы увидеть лежащие рядом атомы в $\dot{\text{H}} + \ddot{\text{S}}$ и в $\dot{\text{K}} + \ddot{\text{S}}$, разве Вы думаете, что это пролило бы свет на то, принадлежит ли один из атомов кислорода водороду или калию? Мне кажется это невероятным. Но старая теория солей учит нас, что калий может занимать место водорода, однако дальше в этот вопрос мы углубляемся с довольно большим трудом...

Далее Вы говорите (извините меня, что я сейчас являюсь только критиком) о водороде внутри и вне радикала. Здесь мы попадаем в туманную химию Лорана. Опыты Лорана об отношении нафталина к хлору представляют собой прекраснейший пример этого. Предпосылая все это, я перехожу теперь к горькому миндальному маслу. Оно состоит из $\text{C}^{14}\text{H}^{12}\text{O}^2$. Если в соприкосновение с ним приходит хлор, то оно выделяет 2 ат. водорода, а хлор соединяется с остальным. Теперь там мы имеем радикал бензойной кислоты, как более стабильный. Соединение, получающееся в результате, будет

$(\text{Vz} = \text{C}^{14}\text{H}^{10}) 2\text{Vz} + \text{Vz}\text{Cl}^3$. Теперь Вы скажите, так ли это? Я отсылаю к основным положениям программы от 23-го октября 1837 г., где проводится аналогия с неорганическими соединениями и согласно им обсуждается состав органических. В неорганической природе мы имеем, по крайней мере, четыре полностью аналогичных со-

единения: 1) $\ddot{\text{C}} + \text{C}\text{Cl}^2$ (оксохлорид углерода), 2) $2\ddot{\text{C}}\text{r} + \text{Cr}\text{Cl}^3$,

3) $2\ddot{\text{M}}\text{o} + \text{M}\text{o}\text{Cl}^3$, 4) $2\ddot{\text{W}} + \text{W}\text{Cl}^3$. То, что в органической природе встречаются многие подобные соединения, не вызывает сомнения. Так, например, я отошлю Вас к проанализированному Лораном соединению (Annales de Chim., LXIII, 384), которое может быть

позображено, если положить C^2H^4 (formil)-F, $2\ddot{\text{F}} + \text{F}\text{Cl}^3$, и получают

формилистую кислоту вместо формиловой. Теперь, между прочим, если Вы сравните эту формулу с формулой Лорана, то увидите,

насколько глубоко проникают, если строго выполняют прекрасные основные положения программы от 23 окт....

Относительно бензоила я не сомневаюсь, что Вы примите мой взгляд. Ясно, что бензоил, как это мы до сих пор представляли, или не существует, или, если его можно получить, является бензойной кислотой или высшим оксидом, который относится к бензойной кислоте, как, например, $Mn : Mn$. Тогда отпадает невероятная сама по себе идея радикалов, содержащих кислород, а бензоил есть название радикала бензойной кислоты $Bz = C^{14}H^{10}$...

ЛИБИХ ВЕЛЕРУ

Гиссен, 18 мая 1838

Берцелиус дремлет, а мы работаем; узда выскользнула из его рук; лев, у которого затушились зубы, издал в связи с этим рев (против Парижской Академии), который больше не пугает мышей. Не пиши мне больше ничего из писем Берцелиуса, ему можно указывать лишь на вещи, в которых он чрезвычайно неправ; им овладела идея fixe, что все мои опыты направлены на то, чтобы выделить воду из упомянутых солей; я пытался два раза вывести его из этого заблуждения, но напрасно.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 19 июля 1838

Хотя я сегодня собственно говоря ничего не могу сообщить из области науки, все же я Вам пишу, так как из Вашего последнего письма я вижу, что Вы опять мной недовольны. Видимо, невозможно, чтобы мы с Вами о научных предметах были всегда одинакового мнения. Поэтому мы должны проявления наших несопадающих взглядов не доводить до раскола, так как в этом случае ученые никогда не смогли бы стать друзьями. То, что я не могу разделить новые взгляды на исследованные Вами растительные кислоты, я сказал Вам в нашей переписке, почему же я об этом не могу сказать в печати, имея в виду, что эти представления в окончательном виде появятся в печати в ноябрьском выпуске «Pogg. Annalen». Если таким путем Вы угрожаете мне опять объединиться с Дюма, чтобы выступить против меня, то я рассматриваю это как выражение возбужденного душевного состояния в момент написания.

...Я очень интересуюсь статьей Дюма, вызванной моим письмом. Пелуз написал мне, что первая половина большей частью содержит личное, другая собственно говоря — факты. Мое мнение, не следует спорить с Дюма или пытаться найти у него правду. Я высказал свои взгляды; если они пригодны, то они сохраняются без дальнейшего моего содействия; если же они непригодны, то они будут отвергнуты, если бы даже я их и защищал...

Основанием теории органических соединений, представленной Дюма своим и Вашим именем, является то, что органические соединения содержат сложные радикалы, которые с кислородом соединяются в оксиды. Теперь это является основанием, к которому сводится все остальное, это положение находится в моем учебнике уже с 1817 г. в начале раздела «Кислоты со сложными радикалами» и перешло оттуда в немецкий перевод, так же как и во французский. Оно все-

гда было основой моих теоретических рассуждений в органической химии и, следовательно, ничуть не было новым. 23-го октября 1837 г. Дюма в «Journal des Debats Donee'» представил меня так, как будто бы я старый консерватор, который в этом вопросе хотел бы задерживать развитие науки и поэтому работает против Вашей и его новой теории. Но я знаю довольно хорошо, что история науки с течением времени не меняется и не делаю поэтому ни одного шага, чтобы защитить себя от этого посягательства...

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 28 июля 1838

Мне стало очень больно из-за того, что Вы нашли в моем письме выражение, которому Вы, конечно, не совсем серьезно придали иной смысл. Я никогда не думал о том, тем более не смог бы сказать, что помышляю объединиться с Дюма, чтобы выступить против Вас. У меня нет более копии своего письма, если только Вы сообразовите просмотреть его еще раз, то Вы, конечно, найдете в нем другой смысл. Ваше нападение на Дюма было мне неприятно, так как тем самым Вы обвинили меня во взгляде, который не исходит от Дюма и который он только с трудом воспринимает; а именно, речь идет о водородных кислотах, которые Дюма, к сожалению, понимает в другом смысле, чем я. Ваше нападение в такой именно форме было мне неприятно, так как он меня понуждал защищаться совместно с ним. Если бы Вы написали статью против нас обоих, то он защищался бы так же, как и я, каждый по своему счету...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 31 августа 1838

Теперь я хочу сообщить Вам рассуждения, к которым побудило меня изучение Вашей прекрасной статьи (Annalen der Pharm., XXXI, 113). Я рассматриваю как решенное и подтверждаемое жизнью то обстоятельство, что различие во взглядах не отягчает дружбу между нами. На основании фактов, приведенных в этой статье, каждый должен признать, что они представляют совсем особый интерес. Вы знали заранее, что я не склонен почитать точку зрения, с которой Вы объясняете эти факты. Теперь я хочу изложить Вам взгляды, которые определились у меня.

Я принимаю, что мы с Вами одинакового мнения по следующим пунктам: А. Органическими веществами являются: 1. Сложные радикалы и соединения таких радикалов между собой. 2. Соединения таких радикалов с простыми электроотрицательными веществами, в большинстве случаев с кислородом, и соединения оксидов сложных радикалов между собой.

Б. Законы взаимодействия, открытые в неорганической природе, являются единственной путеводной нитью, с помощью которой мы можем обсуждать с известной допустимостью способ органического взаимодействия, и только если последний находится в полном согласии с первыми, наши взгляды могут быть в какой то мере оправданы. Исходя из этого, насколько это необходимо, чтобы получить возможность установить правильный взгляд на предложенные соотношения в органическом составе, нужно ответить на сле-

дующий вопрос: какое наибольшее количество атомов электроотрицательных простых элементов, например кислорода, может содержаться в атоме органического оксида? Ответ на этот вопрос является настолько важным, что, не будучи с ним в какой-то мере знакомым, все время грозит опасность прийти к ложному взгляду, так как должна быть граница, и если ее перейти, то взгляд становится неверным. Но до сих пор мы все без исключения упускали это положение. Если мы спросим совета у законов неорганических соединений, то получим, что из оксидов простых радикалов известны только следующие: $2R + O$, $R + O$, $2R + 3O$, $R + 2O$, $2R + 5O$, $R + 3O$ и $2R + 7O$. Следовательно, ни один неорганический оксид не содержит более семи атомов кислорода. Будет ли это действительно последовательным руководством, что кислород в своих соединениях со сложными радикалами должен образовывать оксиды с большим числом кислородных атомов? Я думаю, что едва ли. Во всяком случае, по-видимому, мы не имеем никакого основания утверждать, что это число не ограничено; конечно, наибольшее число не могло бы превышать десяти или одиннадцати. Кристаллические квасцы содержат 40 ат. кислорода, однако прежде чем попытаться определить их с помощью вычислений, нам уже были известны все оксиды, из которых состоят квасцы. В органической природе, наоборот, мы можем вычислить число кислородных атомов, не зная органических оксидов, из которых могут состоять органические вещества...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 26 февраля 1839

Это письмо, как я надеюсь, положит конец несходству наших мнений. Я передал Академии наук статью, в которой я обсуждаю некоторые насущные вопросы в области органической химии.⁶ Эти вопросы следующие: 1. Сложные радикалы, их оксиды и другие соединения. 2. Максимум атомов кислорода в одном атоме оксида. 3. Метаморфозы оксидов сложных радикалов.

Скажу Вам откровенно, что большая часть высказанных в этой статье мыслей пришла ко мне при переработке для учебника Вашей и Вёлера образцовой работы о мочево́й кислоте. Я рассматриваю эту статью как важнейшую из тех, которые появлялись когда-либо в органической химии. В статье рассматривается довольно уже не новая область органической химии, никогда раньше не представлявшаяся в таком свете, а именно учение о метаморфозах органических оксидов. Я совершенно убежден, что если бы Вы написали эту статью до статьи о составе органических кислот, то Ваши взгляды и выводы из опытов, проведенных в последнее время, были бы совершенно другими. Наши спорные вопросы сводятся к следующему. Я утверждал, что выделение воды солью органической кислоты от $+130^\circ$ до 200° было бы превращением. Вы защищали мнение, что оно заключается только в потере химически связанной воды. Однако вопрос решается гораздо проще, чем мы думали: необходимо только исследовать новые продукты, которыми пренебрегли Вы и все химии, следовавшие за Вашим взглядом. Теперь я это сделал, по-видимому, не со всеми известными, но только с некоторыми, и все они испытывают превращение; их воссоздание с помощью воды не является общим...

Мозандер открыл новый металл. Он является так же, как и перий, составной частью церита. Он назвал его лантаном... Оксид лантана имеет бледный кирпично-красный цвет, но является настолько сильным основанием, что может сравниться только с оксидом магния. Его гидрат белого цвета и окрашивает в синий цвет красную лакмусовую бумагу. Металл может быть получен только с помощью калия из хлористых соединений. Это — серый порошок, который окисляется водой, превращаясь в гидрат; при этом выделяется водород. Сернистый лантан — грязно-желтого цвета и разлагается водой...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 23 августа 1839

Ваше последнее письмо доставило мне наибольшую радость своей сердечной и дружеской откровенностью, с которой Вы высказывались по вопросам, по которым мы с Вами неодинакового мнения. Особенно мне было приятно выражение «отеческая дружба»... Теперь я как раз перехожу к нашей научной дискуссии.

...У меня вызвало небольшое удивление, что Ты все же принял теорию замещения Дюма и рассматриваешь хлор как составную часть органических сложных радикалов, и поэтому я искренне хотел бы иметь возможность переубедить Тебя, так как этот вопрос глубоко проникает в теорию органических соединений. Ты принимаешь органические радикалы, Ты успешно их защищал; из этого допущения должно следовать, что эти радикалы в своих соединениях с кислородом, серой, хлором и т. д. следуют тем же законам, что и неорганические. Противоположное — было бы третьей предположением, противоречащим химической теории соединения, ничего третьего не должно быть допущено, так как тогда мы все равно запутались бы. Ты знаешь, что сера, хром, молибден, вольфрам (по опытам Г. Розе, я могу еще добавить селен, фосфор и олово) соединяются с кислородом и хлором и скорее всего по формуле

$R\dot{C}l^3 + 2\ddot{R}$. Возможно, сказал бы Ты, что в этом соединении ки-

слород замещен хлором, однако никогда Ты мне не возразишь, что эти соединения содержат радикал, состоящий из хлора и серы, или хрома, или вольфрама и т. д. Не правда ли?

Органические вещества состоят из сложных радикалов и кислорода, который в некоторых случаях может быть замещен серой, хлором и т. д. Поскольку число атомов кислорода не может быть более 7, в атом причина того, чтобы рассматривать соответствующие оксиды как единственные и неизменные.

Если же число атомов кислорода больше, то, по всей вероятности, органические вещества состоят из двух самостоятельных оксидов и могут содержать или один атом к одному или 1 к 2, 3, 4 и т. д., или 2 к 3, 5, 7 и т. д., так же, как и в случае неорганических соединений.

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 5 сентября 1839

Я Твой сын в сердце, я хочу им быть по духу. Я не могу Тебе описать, что я чувствовал, когда читал Твое письмо, в котором Ты,

я рассматриваю это так, усыновил меня. Действительно, я проникнут уважением, любовью к Тебе, я поставил Тебя превыше всего как редкий разум в науке; на деле, я едва ли знаю кого-либо, как человека Тебе равного. Я действительно несчастлив, ибо должен так резко выступать против Тебя в научных воззрениях; я знаю, что для установления истины противоположность необходима, что все больше вопросов решаются и глубоко обосновываются только в споре; но для науки безразлично, кто в своих мнениях больше всего приблизился к истине, хотя это и не безразлично для самих людей; мы видим то же в политике, мы видим то же в химии, где противоположные мнения разделяют людей. Но с нами этого не должно случиться; я был Твоим верным союзником в другом, не менее важном вопросе, в котором идет речь о существовании органических оксидов, а теперь я твой противник; почему судьба не хочет, чтобы я оставил в стороне Тебя — своего верного друга, проявляющего отеческую заботу? Но я не могу по-другому, я рассматриваю все наши теории только как выражение явлений, происходящих в органической химии, даже в том особом случае, когда речь идет о внутренних свойствах соединений. Кто может с определенностью сказать, что он это знает? Поэтому теперь я считаю простейшее выражение лучшим, если оно объясняет явление и не находится с ним в противоречии, поэтому я принимаю, что соединение Малагути, которое

Ты рассматриваешь как 1 ат. $\ddot{A}c + 2AcCl^3$, состоит из $Ac\left(\begin{smallmatrix} O \\ Cl_4 \end{smallmatrix}\right)$ и так-

же и для других случаев. Я не могу доказать, что твои формулы не правильны, однако они очень сложны, и даже слишком для такого простого процесса; формулы, которые я предлагаю, объясняют в одинаковой степени хорошо и соединение, и разложение...

Уже давно меня занимает в высшей степени важный для науки вопрос. Во время нашей поездки во Фрейбург, которую я совершал в обществе Л. Гмелина, Вёлера, Магнуса и Г. Розе, он обсуждался и мы были едины в этом. Пора решиться поставить в наших формулах вместо атомов объемной теории эквивалент. Вместо H_2 или H гораздо проще ставить H . Если бы Ты согласился действительно возглавить нас, то наука получила бы исключительную услугу; мы согласились предложить Тебе это, так как рано или поздно это надо сделать. Зачем мы переносим теоретические взгляды на знаки, с помощью которых мы выражаем состав, строение веществ? Наши теоретические взгляды будут изменяться, а наш способ написания не должен. Что должны сделать теория, философия химии со способом написания? Никогда не было единообразия в весах атомов, закон природы не имеет исключений; сера, фосфор и т. д. — какие различия они представляют? Исключений набирается больше, чем правил. Для преподавания различие в понятиях атома и эквивалента как раз очень невыгодно. Я убедительно прошу Тебя тщательно взвесить это обстоятельство; Ты будешь праздновать большую победу, если предложение будет исходить от Тебя, все химики, о которых я говорил, желают этого.

Позволь мне сказать еще несколько слов о наших расхождениях в органической химии. Мы спорим, собственно говоря, о принципах, Ты — за сохранение существующего, я — за совершенствование, за дальнейшее развитие. Принципы, которые Ты установил в теоретической, философской химии, долгие годы были руководящими; все строение химии покоится на этих основах, Твоя сильная рука об-

тесала и уложила каждый камень, до известной высоты этот фундамент довольно прочен, однако не безгранично; по мере того, как он поднимается вверх, нужно усиливать его основания, подводить опоры, скреплять железными скобами. Ты не хочешь этих скоб, так как они обезобразят внешний вид, так как они в целом нарушат гармонию. Однако симметрия сама опять восстановится, так как фундамент не изменяется...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 27 сентября 1839

Я продолжаю наш спор дальше. Ты говоришь, что рассматриваешь все теории только как выражения явлений и поэтому ищешь простейшего выражения при условии, что оно согласуется с фактами. Поэтому Ты находишь, что $C^4Cl^6O^3$ имеет преимущество перед

$\xi + \epsilon H^3$. Действительно, C^2H^4O — более простое выражение

состава уксуснокислого оксида этила или муравьинокислого оксида метила, однако Ты его не принимаешь. А почему нет? Проще он быть не может и согласуется с анализом. В теоретическом представлении, следовательно, должно лежать нечто, что не может быть выражено простым способом, и это есть то самое нечто, которое мы должны найти.

...Ты пытаешься меня убедить стать во главе тех, которые отбрасывают двойные атомы водорода, так как Ты думаешь, что это все же когда-то должно произойти в науке и произошло бы несколько раньше, если бы я выступил на их стороне. И в этом вопросе я не сторонник Твоего мнения. Кто хочет отбросить атомы и говорить только об эквивалентах, может, конечно, это сделать. Но в этом случае он никогда не должен говорить об атомах. Понятие эквивалента соотносено с известным соединительным рядом, и оно было бы полностью удовлетворительным, если бы вещества соединялись в одной единственной пропорции. Но это не имеет места. Посмотрим теперь, какая причина может заставить нас рассматривать объем водорода как половину атома. Ты, конечно, не будешь спорить, что все то, что в этом отношении справедливо для водорода, должно быть справедливо и для хлора. Следовательно, мы принимаем, что 2 об. хлора являются одним атомом, поэтому хлорноватая кислота состоит из 1 ат. хлора и 5 ат. кислорода, хлорная кислота из 1 : 7. Но хлорнокислые соли изоморфны с перманганатами, из этого должно следовать, что марганцевая кислота состоит из 1 ат. марганца и 7 ат. кислорода. Тогда оксид марганца состоит из 1 ат. марганца и 3 ат. кислорода, а закись марганца должна состоять из 1 ат. марганца и 2 ат. кислорода, так как она не может состоять из половины атома радикала и 1 ат. кислорода. Но теперь закись марганца изоморфна с большим числом других оксидов, так что остаются довольно немногие, которые могли состоять из 1 ат. радикала и 1 ат. кислорода; таким образом, мы приходим к результату, что большинство сильнейших оксидов содержат 2 ат. кислорода и что существует совсем небольшое количество оксидов, в которых 1 ат. радикала связан с 1 ат. кислорода, и, таким образом, мы получаем повод рассматривать воду как один из этих немногих оксидов, повод к тому, чтобы отбросить указание, которое следует из сравнения объемов и которое

является все же абсолютным, не основанным ни на каком произволе, и из которого можно исходить с полной уверенностью. Если Л. Гмелин и Г. Розе полагают, что 12,5 является правильным выражением веса атома водорода, то это происходит потому, что они нашли это более удобным, не имея в виду всю науку, и то, что нужно делать для теоретических вопросов. Ты, вероятно, найдешь на основании сказанного, что немногое можно изменить в нашем сегодняшнем научном построении, чтобы сделать его лучше. С тем, что Ты сказал о подпорках и опорах, я не соглашусь. Если строение не может стоять без таких наростов, которые являются лишними в каждом хорошо сооруженном строении, то оно падает... Более прочно и лучше укрепленное строение, которое будет стоять без подпорок, должно быть построено. затем из руин предшествующего. Я надеюсь, что наше современное строение стоит прямо. Если бы понадобились подпорки, которые чужды плану строения, то я хотел бы быть первым, кто поднял руку, чтобы отбросить их.

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 11 декабря 1840

Мне доставило большую радость то, что Ты занимаешься определением атомного веса углерода, так как в данный момент это важнейший вопрос, на который мы должны ответить...

Что касается каталитической силы, то мои познания об этом очень незначительны. Она является причиной химической деятельности, производимой телом, которое само не склонно вступать в химическую деятельность; природа этой причины нам, однако, совсем не известна. Я дал название этой неизвестной причине, чтобы говорить и писать об этом с большой легкостью. Химики, которые в этом отношении не согласны с моим мнением, собственно говоря, не поняли превратно это представление, но попытались вывести действие этой силы из обычных известных ранее причин как, например, Парадей и де ля Рив...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 29 апреля 1841

Первое, что мне бросилось в глаза, была таблица результатов опытов относительно атомных весов углерода, которая искренне меня порадовала, так как я особенно боялся, что в общем будет восхваляться французский тамбур-мажор (Дюма. — В. К.).

ЛИБИХ БЕРЦЕЛИУСУ

Гиссен, 1 ноября 1843

Хотя я и не знаю, могу ли я Тебя называть еще другом, но не могу не чтить высоко Тебя и не любить Тебя, как это было всегда. С тех пор как я начал применять свои работы для объяснения питания растений и животных, Ты отвернулся от меня, не всегда дружелюбно выступаешь против меня; это произошло без всякого

повода с моей стороны, и я часто думаю, что многое из моих работ должно было бы получить Твое одобрение. Этого не случилось, но Ты вместе с водой выплеснул и ребенка. Нельзя было ожидать, чтобы при создании нового поля для работы не будет ошибок. Ты постоянно видел только ошибки, но ни разу не попытался признать хорошее, помочь и исправить ошибки. Я не знаю, чем я заслужил такое обращение, так мало соответствующее Твоей справедливости, но я с этим ничего не могу поделать. От Тебя я не хочу защищаться, так как при этом я должен был бы напасть на Тебя; я могу противопоставить только пассивное противодействие...

БЕРЦЕЛИУС ЛИБИХУ

Стокгольм, 14 ноября 1843

Я получил Твое письмо от 1 ноября, Ты спрашиваешь, можешь ли Ты считать меня своим другом? Да, конечно...

В своем последнем письме Ты жалуешься на то, что с тех пор как Ты начал применять свои работы к объяснению питания растений и животных, я отвернулся от Тебя и т. д.

Да, мой дорогой друг, в этом есть правда, но не настолько, чтобы я не оставался более Твоим личным другом; я не могу оценить только Твои теории и взгляды. Вспомни, что когда Ты мне сообщил об изменении объекта своих работ, то я предостерегал от этого и предсказал Тебе судьбу мыльных пузырей, блестящих в красочном великолепии.

Чтобы продолжать нашу переписку, я от всего сердца желаю, чтобы мы понимали друг друга и чтобы каждый из нас знал, чем занимается другой. Поэтому разреши мне сообщить об этом кое-что. Поскольку Ты занимаешься исследованиями, раздвигающими науку, Ты вызываешь у меня искреннее удивление. Важность Твоих результатов и их удивительное количество поднимают Тебя на высочайшее место в науке...

Мои понятия о теоретизировании в опытной науке следующие. Кто хочет установить теорию, должен испытать ее на всех связанных с ней фактах без предвзятости в пользу этой теории, должен вскрыть одинаково открыто как слабые, так и сильные ее стороны. Он никогда не должен пытаться вызывать уверенность там, где есть только вероятность, поскольку тот, кто выдает возможность за правду, станет ложным руководителем, сам того не желая. Каждый теоретик должен следовать в этом отношении основному положению Ньютона, которому этот выдающийся исследователь отводил высочайшее место, хотя после него прошло столетие, в котором в естествознании было сделано больше, чем за все время до него. Кто хочет блистать, пусть делает это так, чтобы не бросить тень на последующее поколение.

Из статьи «Заметки по поводу химических пропорций и некоторых связанных с ними обстоятельств, вместе с кратким и удобным методом их выражения» *

... Тот факт, что тела соединяются в определенных пропорциях если только другие силы не препятствуют этому соединению, дополненный наблюдением, что соединяющиеся количества тел всегда кратны целым числам 1, 2, 3, 4 и т. д., приводит нас к выводу о существовании некой причины, вследствие которой все другие комбинации тел становятся невозможными. Что же это за причина? Очевидно, что ответ на этот вопрос должен составлять основу химической теории.

Когда мы размышляем над этой причиной, поначалу кажется очевидным, что она, по-видимому, имеет механическую природу; наиболее вероятной и наиболее соответствующей нашим экспериментам представляется идея, согласно которой все тела состоят из атомов или молекул, соединяющихся в отношении 1:1, 1:2 или 3:4 и т. д.; законы химических пропорций следуют отсюда с такой ясностью и очевидностью, что кажется чрезвычайно странным, почему столь простая и правдоподобная идея не только не была принята ранее, но даже не была предложена вплоть до наших дней.

... Я начну с краткого объяснения корпускулярной теории, как я ее принимаю. Я буду пользоваться словом *атом* для обозначения корпускул или мельчайших частиц, из которых составлены тела. Когда я говорю о *мельчайших частицах*, я имею в виду невозможность их дальнейшего разделения. Я не обсуждаю вопрос о том, делима ли материя до бесконечности или нет, а принимаю без доказательства, что атом механически неделим и, следовательно отдельных частей его не существует. Я допускаю также, что все атомы имеют сферическую форму и одинаковый размер... (Это последнее условие не связано неизбежно с самой идеей об атомах, но оно оказывается абсолютно необходимым, если при их соединении образуются правильные фигуры и если атомы соединяются в определенных пропорциях даже в наиболее сложных соединениях.) По-видимому, надо также допустить, что при соединении атома А с одним или несколькими атомами В первый касается всех остальных. Поэтому сложный атом образуется посредством определенного взаимного расположения нескольких элементарных атомов... Сложный атом, вероятно, не может рассматриваться как сферический... Очевидно также, что атом состава $A + 3B$ должен быть по своим размерам больше атома состава $A + B$ и отличаться от него по форме. Первый должен, по всей вероятности, представлять собой треугольную равностороннюю пирамиду, тогда как последний имеет линейную форму.

Атомы можно разделить на два класса: 1) элементарные и 2) сложные. Последние бывают трех типов: а) атомы, образованные из двух элементарных частиц, — их мы назовем *сложными атомами первого порядка*, б) атомы, составленные более чем из двух элементарных частиц (атомов), они встречаются в органических телах или телах, полученных при их разложении, поэтому мы назовем

* Опубликовано в: *Annales of Philosophy*, 1813, vol. 2, p. 443—454; перевод с английского И. С. Дмитриева.

эти атомы *органическими* и в) атомы, образованные соединением двух или большего числа сложных атомов, как, например, в солях; в этом случае мы будем говорить о *сложных атомах второго порядка*.

Наибольшее число сферических атомов одинакового диаметра, способных касаться некоторого атома того же диаметра, равно 12. Отсюда следует, что состав $A + 12B$ передает наибольшее число атомов, способных находиться в соединении первого порядка. Если же, с другой стороны, принять во внимание электрическую полярность атомов, то A не может соединяться более чем с 9 атомами B при условии, что $A + 9B$ сохраняет часть электрической полярности, присущей первоначально A .

...Эти рассуждения представляются мне как необходимые и неотделимые от атомной теории ее следствия, ни одно из которых нельзя отбросить, не впадая при этом в то, что называется «*contradictio in adjecto*» («внутренним противоречием»).

Приложение 4

Из статьи

«Отличие изомерии от аналогичных состояний» *

...Чтобы не смешивать друг с другом явления не вполне однородные, необходимо, по-видимому, остановиться на смысле слова «изомерия». Под изомерными я понимаю тела, образованные одним и тем же абсолютным и относительным числом атомов одних и тех же элементов и имеющие одинаковые атомные (молекулярные.— *И. Д.*) веса, например оба оксида олова, обе фосфорные кислоты.

С этим нельзя смешивать те случаи, когда имеет место равенство лишь относительного, но не абсолютного числа атомов. Так, относительное число атомов углерода и водорода в маслородном газе (этилене.— *И. Д.*) и в винном масле (бутилене.— *И. Д.*) одинаково (а именно, число водородных атомов в два раза больше числа углеродных), однако если в одном атоме (молекуле.— *И. Д.*) газа содержится один атом углерода и два атома водорода (C_2H_4), то в одном атоме (молекуле.— *И. Д.*) винного масла — четыре атома углерода и восемь атомов водорода (C_4H_8). Для отличия подобных случаев совпадения состава при различии свойств я предлагаю называть такие тела *полимерными* (от греч. πολλή — множественный и μέρος — часть.— *И. Д.*).

Но может иметь место и другая ситуация, когда тела, изомерные в собственном смысле слова, т. е. имеющие одно и то же абсолютное и относительное число атомов одних и тех же элементов, в действительности таковыми не являются. Это наблюдается, когда тела образованы из двух сложных атомов первого порядка, по-разному размещенных друг около друга и поэтому образующих различные соединения, например $Sn \bar{S}$ (сернокислая вакись олова) и $Sn\bar{S}$ (основной сернокислый оксид олова), содержат одинаковые абсолютные и относительные количества атомов, имеют одинаковый атомный (молекулярный— *И. Д.*) вес, но не могут рассматриваться как одно

* Опубликовано в: *Annalen der Physik und Chemie*, 1832, Bd. 26, S. 320—322; перевод с немецкого и примечания И. С. Дмитриева.

и то же тело... В таких телах с течением времени или с изменением температуры может происходить перемещение (*versetzung*) компонентов..., при этом соединение приобретает другие свойства, и нередко процесс сопровождается повышением температуры. Чтобы отличить эти случаи от явления изомерии, мы назовем такие тела *метамерными* (употребляя частицу *meta* в том же значении, как и в слове метаморфоза).

...Я полагаю, что указанные отличия достаточно важны для правильного понимания явлений и считаю, что образование названий от общего корня *mero*ζ («часть») будет бесполезным напоминанием о генетической связи этих специфических явлений.

Приложение 5

Реферат «Об изомерии» *

Барон Берцелиус выступил с некоторыми замечаниями по поводу не всегда правильного употребления слова «изомерия». Это слово происходит от греческого *ισομερής*, что означает «составленный из равных частей» и предназначенный для различения тех случаев, когда сложные тела, состоящие из одних и тех же элементов и обладающие одними и теми же атомными (молекулярными. — И. Д.) весами, отличаются друг от друга по своим физическим и химическим свойствам. Это название, однако, неправильно используется, когда речь идет о других сложных телах.

Так, опыт указывает на существование таких тел, которые мы имеем все основания считать простыми и различия в свойствах довольно сходны с различиями, наблюдаемыми между изомерными телами, хотя обусловлены другими причинами. При рассмотрении указанных тел некоторые ученые используют термин «изомерные модификации». Берцелиус упомянул в качестве примеров серу, углерод и кремний, отметив, что для характеристики различных состояний этих простых тел следует выбрать другое название; в качестве такового он предложил слово «аллотропия», или «аллотропные состояния», от греческого *αλλοτρολος*.

После этого Берцелиус указал три различные причины изомерии сложных тел, а именно:

1) нахождение одного или нескольких элементов в соединениях в разных аллотропных состояниях;

2) различие в местоположении элементарных атомов в сложном атоме, при отсутствии различий в состояниях элементов, например, этилформиат (*Murgrasid ethyloxid*) и метилацетат (*Attiksurasid methyloxid*), оба соединения имеют состав $6C + 12H + 4O$, но в первом атомы расположены так: $C^4H^{10}O + C^2H^2O^3$, тогда как во втором $C^2H^6O + C^4H^6O^3$, так что (группа) $2CH^2$ в первом случае находится в основании, а во втором — переходит в кислоту;

3) может иметь место одновременно и нахождение некоторого элемента в разных аллотропных состояниях и различное расположение атомов.

* Опубликовано в кн.: *Forhandlingar ved de skandinaviske Naturforskernes an det Möde, der holdtes i Kjöbenhavn fra den 3^{de} til den 9^{de} Juli 1840, 1841* (Bilag H); перевод со шведского И. С. Дмитриева.

Из письма Я. Берцелиуса
американскому химику Роберту Хэйю *

23 сентября 1834

...Если в экспериментах какие-либо реакции происходят совершенно аналогичным образом, то следует предположить, что скрытые от нас внутренние процессы также совершенно аналогичны, и если сходные факты мы объясняем по-разному, то ошибку следует искать в объяснении. Если, к примеру, правильное электрохимическое выражение состава сульфата калия не $\text{KO} + \text{SO}^3$, а $\text{K} + \text{SO}^4$, — и Вы это принимаете, несмотря на то, что сера и кислород являются электроотрицательными атомами, — то мы тогда должны принять SO^4 за сложное тело, имитирующее солеобразующие тела,

способные давать соли с металлами, подобно тому как в $\text{K} + \text{CN}$

циан имитирует простое солеобразующее тело, давая соль в соединении с калием. При таком рассмотрении гидратированные оксикислоты представляли бы собой водородные кислоты сложного солеобразующего тела, в которых металл замещает водород точно так же, как в водородных кислотах простых солеобразующих тел.

...Различие между обоими классами солей (кислородными и бескислородными. — *И. Д.*) можно представить следующими диаграммами. Например, в KFF имеется лишь одна линия разделения или, что то же, линия замещения, т. е. $\text{K}; \text{FF}$, тогда как в KOOOS таких линий две, а именно: $\text{K}; \text{OOOS}$ и $\text{KO}; \text{OOS}$. Обычно мы рассматривали исключительно последний случай, но более развитая химическая теория все больше и больше указывает нам на необходимость принимать во внимание обе возможности в равной мере. Я не знаю, насколько Вам дорого такое выражение внутренней природы оксисолей (что, впрочем, относится и к сульфосолям и т. п.), но, по моему глубокому убеждению, в нем заложено нечто большее, чем пустая спекуляция, ибо оно выявляет внутреннюю аналогию в явлениях, воспринимаемых нашими органами чувств как сходные.

Приложение 7

Из переписки Я. Берцелиуса и О. Лорана **

ЛОРАН БЕРЦЕЛИУСУ

Бордо, 12 мая 1843

...Мои первые работы по нафталину заставили меня предположить, что в *некоторых* случаях хлор может играть роль водорода, который он заменил... Я уверен, что в некоторых веществах хлор игра-

* Опубликовано в кн.: Jac. Berzelius Bref./Ed. H. G. Söderbaum. 2. Lettres détachées (1809—1847). Uppsala: Almquist, 1920, Section VII, tome III, p. 180—209; перевод с французского И. С. Дмитриева.

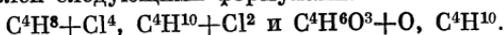
** Опубликовано в кн.: Jac. Berzellius Bref./Ed. H. G. Söderbaum. 2. Lettres détachées (1809—1847). Uppsala: Almquist, 1920, Section VII, tome III, p. 141—142; перевод с французского И. С. Дмитриева.

ет эту роль подобно тому, как в квасцах оксид хрома играет роль оксида алюминия. Я прекрасно понимаю, сколь неприятно будет ему (химику.— *И. Д.*) уподобить хлор водороду, но идея должна отступить перед фактами...

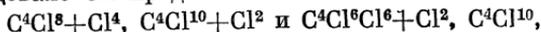
Позвольте мне повторить Вам то, что я не переставал публиковать вот уже несколько лет. Во-первых, я вовсе не принимаю закон замещений. Мною была опубликована лишь одна-единственная работа, где я, искажая факты, пытался согласовать их с этим законом, но впоследствии я не прекращал борьбы с ним. Эксперимент показывает, что он совершенно неправилен. Во-вторых, вот то, к чему я пришел относительно замещений. Когда хлор замещает водород эквивалент на эквивалент, он может играть роль последнего, только если он занимает его геометрическое место, т. е. когда свойства хлорированного тела аналогичны свойствам исходного, оно даже может быть изоморфно ему. По-моему, для замещения совершенно недостаточно, чтобы из соединения выделилось столько же атомов водорода, сколько атомов кислорода или хлора в него вошло. Ведь не происходит замещения, когда спирт превращается в уксусную кислоту, хотя последняя может быть представлена как спирт, у которого на 2 эквивалента водорода меньше и на 2 эквивалента кислорода больше. Молекулярная группировка в этих телах не одна и та же.

Правда, Дюма, отвергнув поначалу эти идеи, все же впоследствии счел возможным их сохранить, дав им более широкое толкование, за которое я не ответствен. По его мнению, при эквивалентном замещении молекулярная группа никогда не изменяется. Если два тела обладают аналогичными свойствами, они принадлежат к одному и тому же химическому типу (это — моя идея); если же свойства несхожи, — они относятся к одному механическому типу. Согласно Дюма, спирт и уксусная кислота, с одной стороны, и хлористый этил и перхлорид углерода (CCl_4 .— *И. Д.*) — с другой, являются веществами одного механического типа.

Но эти механические типы крайне легко опровергнуть. Действительно, масло голландских химиков (дихлорэтан.— *И. Д.*), хлористый этил и уксусный эфир (этилацетат.— *И. Д.*), которые, по Дюма, не принадлежат к одному типу, под действием хлора превращаются в хлорид углерода. Их состав может быть представлен следующими формулами:



Если бы механические типы существовали в действительности, то продукты, полученные при действии хлора на эти три соединения, следовало бы представить так:



т. е. при этом должны были бы получиться три хлорида углерода различные, но изомерные.

...Однако, если очевидно, что в предыдущих случаях хлор не занимает место водорода, то следует ли отсюда, что он вообще никогда не может занимать его место и, следовательно, играть его роль?

Я посылаю Вам несколько образцов моих соединений. Сравните свойства изатина и хлоризатина и посмотрите, есть ли разница между ними... Сравните свойства хлорнафта с свойствами хлорнафтозы (так Лоран называл различные хлоропроизводные нафталина.— *И. Д.*) и т. д. и Вы будете поражены их сходством. Все эти тела имеют одинаковый вид, одинаковую кристаллическую

форму, они мягки как воск, хорошо растворимы в эфире, почти нерастворимы в спирте, испаряются без разложения, устойчивы к щелочам, с серной кислотой дают сходные соединения...

Если заменить частично или *полностью* атомы водорода в нафталине на то же число атомов хлора или брома, то всегда получается тело, переходящее в газ без разложения и устойчивое к щелочам, сколь бы мало или велико ни было количество поглощенного хлора. Если же наоборот, часть водорода в нафталине удалить и заменить на большее число атомов хлора, то всегда образуется соединение, распадающееся при перегонке и отдающее щелочи такое количество хлора (или хлора с водородом), что общее число атомов хлора и водорода в оставшемся теле равно числу атомов водорода в нафталине. Я не могу не видеть во всех этих соединениях некоего ядра состава $C^{20}(H, Cl, Br...)$, способного претерпевать множество различных замещений без изменения конституции.

Конечно, хлор вносит некоторые изменения в эти соединения. Я полагаю, что они тем глубже, чем проще конституция тела. Поэтому RH_3 может дать путем замещения PCl^3 .

...Здесь изменение природы составных частей приводит к значительному изменению свойств. Но если замещение происходит в телах, обладающих очень большим числом атомов, влияние свойств хлора будет чувствоваться меньше, его массы будет недостаточно, чтобы разрушить равновесие всех других атомов... Но по мере того как количество хлора будет возрастать, равновесие станет менее устойчивым и наступит момент, когда вся постройка разрушится.

БЕРЦЕЛИУС ЛОРАНУ

Стокгольм, 20 октября 1843

...Мы по-разному смотрим на некоторые химические явления. Вы дали мне объяснения по поводу Вашего способа рассмотрения хлорированных органических соединений, среди которых многие, как Вам кажется, обладают такой природой, как будто хлор в них играет роль водорода, хотя были и такие, где это не имело места, в то время как г-н Дюма и их рассматривал как продукты замещения. Мне представляется, что именно выражение «хлор играет роль водорода» разделяет нас: ибо если понимать его в буквальном смысле слова, оно заключает в себе идею абсолютно невозможную. Если бы Вы мне сказали, что хлор в хлорноватистой кислоте играет ту же роль, что водород в воде,— это было бы правильно, но в ограниченном смысле, ибо оба они играют роль радикала, но если этому выражению дать более широкое толкование, то оно будет неверным. Если Вы перегоняете изатин, водород образует различные соединения, но когда Вы перегоняете хлоризатин, хлор соединяется только с водородом, в итоге он изменяет продукты превращения и не играет, следовательно, роли водорода. Все, что можно сказать с уверенностью, это то, что хлор занимает то же место, какое до него занимал водород.

Вы приводите мне пример RH^3 и PCl^3 , где хлор и водород не играют одинаковой роли. Здесь мы сходимся, но причину, которую Вы приписываете этому, не кажется мне истинной. По Вашему мнению, она заключена в малом числе атомов водорода или хлора в

этих соединениях. Я же приписываю ее тому, что в PH^3 электроположительным элементом является водород, тогда как в PCl^3

— фосфор. Но вместе с тем хлор замещает водород в PH^3 и превращает его в PCl^3 совсем так, как в органических соединениях.

Если бы *оба* эти тела могли войти в соединение, то мы получили бы

формулы $\text{P} \left\{ \begin{array}{l} \text{H}^2 \\ \text{Cl} \end{array} \right.$ или , аналогичные $\text{S} \left\{ \begin{array}{l} \text{O}^2 \\ \text{Cl} \end{array} \right.$, и тогда уже

не преминули бы сказать, что хлор в них играет роль водорода.

В качестве примера тела, в котором хлор играет роль водорода, Вы называете различные производные нафталина, где один или несколько эквивалентов водорода замещены равным числом эквивалентов хлора. Посылая мне вещество, которое Вы называете хлорофтализом ($\text{C}^{20}\text{H}^{10}\text{Cl}^6$ по Берцелиусу.— *И. Д.*), Вы в то же время даете разъяснение того, что здесь имеет место. Обычно считают, что при замещении...эквивалент водорода заменяется эквивалентом хлора в каждом атоме (молекуле.— *И. Д.*) нафталина. Но эта мысль не что иное, как чистая фикция и к тому же она совершенно бездоказательна. С хорошей манерой рассуждения гораздо лучше согласуется допущение, что весь атом (молекула.— *И. Д.*) нафталина разом распадается при замещении. Если при этом новый атом соединяется с неразложившимися молекулами нафталина, то кажется, что в образовавшемся продукте водород частично замещен хлором. Но даже если бы этого химического соединения вовсе не было и если бы новое вещество обладало той же растворимостью и кристаллической формой, оно оказалось бы смешанным с нераспавшимися атомами (молекулами.— *И. Д.*) нафталина, и вся эта масса представлялась бы нам как одно единое тело. Принимая, для простоты вычисления, состав нафталина= C^5H^4 и допуская, что один атом (молекула.— *И. Д.*) превращается в C^5Cl^4 и соединяется затем с тремя нераспавшимися атомами (молекулами.— *И. Д.*) нафталина, получаем: $\text{C}^5\text{Cl}^4 + 3\text{C}^5\text{H}^4$, что теория замещений обозначила бы как $\text{C}^5 \left\{ \begin{array}{l} \text{H}^3 \\ \text{Cl} \end{array} \right.$. И так как эти тела, вероятно, могут соединяться довольно большим числом способов, можно получить большое число степеней замещения. Но если объяснение этого явления оказывается столь легким, когда имеют дело лишь с одним элементом, в данном случае с углеродом, то при наличии двух элементов, например, если в соединении присутствует еще и кислород, это уже не так легко сделать. Ясно, что частичное разложение сложных атомов происходит в той же мере, но более скрытым образом.

Вам известно, месье, что есть явления природы, знакомые нам давно, но которые тем не менее мы все еще не в состоянии объяснить. Спрашивается, выиграет ли наука от того, что их будут рассматривать как хорошо объяснимые некоторой теорией? Вот почему я настаиваю на том, что месье Дюма наносит большой вред науке, пользуясь хитроумной и убедительной диалектикой с целью заставить нас поверить, будто нам все ясно. Тем самым он отвлекает химиков от поисков истинного объяснения. В рассмотренном выше случае,

на мой взгляд, не следует принимать никакого определенного объяснения, а вместо этого изучить все возможности, сопоставляя их друг с другом и принимая их только как возможности. Рано или поздно будет сделано открытие, которое объяснит все так, что не останется ни сомнений, ни разногласий.

Должен искренне признаться, что я не вижу никакого удовлетворительного способа рассмотрения окисленных соединений. Но я ясно вижу, что идея, предлагающая принять для хлора природу водорода, не может быть верной, ибо хлор всегда будет хлором.

Вполне возможно, что это явление (т. е. замещение — *И. Д.*) связано с другим, которое мы сейчас начинаем понимать лучше, чем когда-либо, — я говорю о соединениях, называемых копулированными, или сопряженными... Очень может быть, что большое число органических тел имеет такую природу.

...Если представить уксусную кислоту как сопряженную с углеродистым водородом щавелевую кислоту $=C^2H^6 + C^2O^3$, то под действием хлора ее копула превращалась бы в (радикал) C^2Cl^6 , сохраняющий все характерные свойства копулы и тем самым полученная путем замещения кислота не сильно отличалась бы от исходной. Необходимо решить еще один вопрос, тесно связанный с явлением замещения, а именно: существуют ли сложные радикалы, состоящие из углерода и хлора? Наш опыт еще очень далек от того, чтобы дать на него ответ. В самом деле, как определить, представля-

ет собой хлоруксусная кислота $C^4Cl^6 + 3O$ или же $CCl^3 + \ddot{C}^2$? Не луч-

ше ли будет оставить на время всякие позитивные объяснения явлений замещения и удовольствоваться собиранием всех возможностей, пока наш опыт не достигнет того состояния, когда он даст окончательное решение?

В своих работах Вы принимаете идею Дюма, которая, Вы уж меня простите, представляется мне совершенно абсурдной. Она допускает замещение эквивалента водорода или атома кислорода эквивалентом N^2O^4 . То, что эквивалент водорода может быть замещен эквивалентом хлора, с механической точки зрения понять еще можно, но что место эквивалента водорода или атома кислорода может быть занято двумя атомами азота и четырьмя атомами кислорода — это невозможно механически. *Dormitat interdum bonus Nomerus*. Чтобы замещающее тело вошло в соединение, порядок (расположения) всех других элементов в нем должен измениться, но тогда исчезает и сама идея замещения.

Именной указатель

- Абегг Р. (Abegg R.) 161
Авдеев И. В. 82, 236, 254
Авогадро А. (Avogadro A.) 67—
69, 71, 75, 84, 96, 124—126
Айд А. (Ihde A.) 137
Ампер А. М. (Ampère A. M.) 24,
75, 84
Аносов П. П. 245
Араго Д. Ф. (Arago D. F.) 24, 25,
291
Арбузов А. Е. 194
Арфведсон Й. А. (Arfvedson
I. A.) 29, 30, 208
Афцелиус Й. А. (Afzelius I. A.)
11, 12, 13, 96, 196
Афцелиус П. (Afzelius P. von)
17
Аюи Р. Ж. (Haüy R. J.) 24, 25,
72, 135, 136, 215
- Беддоис Т. (Beddoes T.) 109
Бекетов Н. Н. 161
Беккариа Дж. В. (Beccaria G. V.)
94
Бергман Т. У. (Bergman T. O.)
72, 77, 195—197, 200, 215, 216,
231
Бертло М. (Berthelot M.) 185
Бертолле К. Л. (Berthollet C. L.)
22, 24, 26, 51, 60, 77, 102, 196,
231
Бертье П. (Berthier P.) 26
Берцелиус С. (Berzelius S.) 9
Берцелиус Ф. (Berzelius F.) 9
Берцелиус Э. Д. (Berzelius E. D.),
урожденная Съестин (Sjöste-
teen) 9
Берцелиус Э. И. (Berzelius E. I.),
урожденная Поппиус (Pop-
pius) 35, 37
- Бюи Ж. Б. (Biot J. B.) 24, 25, 110,
278
Бломстранд К. В. (Blomstrand
K. W.) 160
Боас М. (Boas M.) 45
Бодлендер Г. (Bodländer G.) 161
Бодримон А. (Baudrimont A.)
105, 143
Бойль Р. (Boyle R.) 75, 193
Бор Н. (Bohr N.) 88
Боскович Р. И. (Boscovich R. I.)
110, 111
Броньяр А. (Brongniart A.) 25
Брук Дж. Х. (Brooke D. Ch.) 156
Буллей П. (Boullay P.) 288, 289
Бунзен Р. (Bunsen R.) 176, 177,
198
Бутлеров А. М. 145, 147, 158, 171
Банкс Дж. (Banks J.) 14, 15, 23
- Валлах О. (Wallach O.) 7
Валлериус Й. Г. (Wallerius I. G.)
195, 215
Вальден П. (Walden P.) 7, 227
Вант-Гофф Я. Г. (van't Hoff
J. H.) 161, 171
Варвинский И. И. 231—233, 236
Венцель К. Ф. (Wenzel C. F.)
52, 197, 231
Вернадский В. И. 219
Вернер А. (Werner A.) 216
Вёлер Ф. (Wöhler F.) 27—33, 35,
36, 38, 43, 141, 149, 165, 169,
172, 177, 181, 184, 185, 190—
192, 198, 206, 209, 210, 227—
229, 238, 248, 250, 280, 281, 292,
297, 301
Воклен Л. Н. (Vauquelin L. N.)
19, 24, 25, 215, 216, 278
Вольты А. (Volta A.) 44, 15, 17,
19, 94, 97, 108

- Воскресенский А. А. 236
 Вюрц А. (Wurtz A.) 42, 80, 106, 145, 146, 177
- Гадолин И. (Gadolin I.) 196, 203
 Гальвани Л. (Galvani L.) 14, 94
 Ган И. Г. (Gahn I. G.) 59, 74, 96, 101, 196, 200, 206, 218
 Гатчет Ч. (Hatchett Ch.) 210, 278
 Гаусман Ф. Л. (Hausmann J. F. L.) 235
 Гёбель К. Х. (Göbel K. H.) 236
 Гей-Люссак Ж.-Л. (Gay-Lussac J.-L.) 24, 25, 32, 33, 63—65, 67, 68, 75—77, 95, 164—166, 213
 Гейман Р. 234
 Гельмгольц Г. (Helmholtz H.) 138
 Генри У. (Henry W.) 94
 Герман Р. И. 82, 236, 244
 Гершель В. (Herschel W.) 23
 Гесс Г. И. 7, 29, 53, 87, 235, 236, 238—244, 246, 254
 Гёте В. (Goethe W.) 27
 Гизе Ф. И. 230, 236, 237
 Гильберт Л. (Gilbert L.) 60, 61, 125, 126
 Гиртаннер Х. (Girtanner Ch.) 11
 Гмелин Л. (Gmelin L.) 27, 69, 70, 74, 82, 123, 301, 303
 Гмелин Х. Г. (Gmelin Ch. G.) 29, 196, 227
 Гольтье де Кюбри А. (Gaultier A.) 51
 Гофман А. (Hofmann A.) 157
 Гротгус Т. (Grotthus Th.) 110, 236—238
 Грэм Т. (Graham Th.) 243, 291
 Гумбольдт А. (Humboldt A. von) 97
 Гьельт Э. (Hjelt E.) 175
- Дальтон Дж. (Dalton J.) 5, 6, 8, 23, 24, 27, 44—49, 51, 52, 55, 56, 58, 63, 65, 67, 68, 71—73, 75—78, 81, 91—93, 111, 115, 130, 133, 139, 197, 231, 277—279
 Дан Дж. (Dana J.) 219
 Даниель Дж. Ф. (Daniell G. F.) 243
 Двигубский И. А. 231
 Деберейнер И. В. (Döbereiner I. W.) 187, 217
- Джонстон (Johnston) 33
 Дэви Г. (Davy H.) 19, 20, 22—24, 32, 33, 51, 58—60, 71, 90, 95, 96, 104, 106, 108—115, 118, 128, 162, 187, 200, 207, 211, 229, 278, 279
 Дюбранфо А. (Dubrunfaut A.) 168
 Дюлонг П. Л. (Dulong P. L.) 24—26, 32, 69, 70, 79, 83, 84
 Дюма Ж.-Б. (Dumas J. B.) 38, 69, 81, 143, 144, 152, 153, 155, 156, 175, 177—180, 283—295, 298, 300, 303, 309—312
- Еврейнов П. И. 236, 244
 Еремеев И. И. 235
- Жерар Ш. Ф. (Gerhardt Ch. F.) 70, 71, 140, 143—145, 150, 151, 226
- Загорский П. А. 230
 Захаров Я. Д. 11, 230
 Зацепин И. Я. 231
 Зинин Н. Н. 192, 193, 236
 Зоммерфельд А. (Sommerfeld A.) 162
- Иванов Н. А. 236
 Иерне У. (Hierne U.) 195, 196
 Изарн Ж. 95
 Илимов И. П. 236
 Ильенков П. А. 236
 Иовский А. А. 234
- Кавендиш Г. (Cavendish H.) 14, 94
 Канаев И. И. 27
 Канкрин Е. Ф. 202, 250, 251
 Канниццаро С. (Cannizzaro S.) 13, 69—71, 139, 197
 Кант И. 49, 112, 258
 Карпур С. (Caroor S.) 130
 Карлайл А. (Carlisle A.) 15, 94
 Карон Г. (Caron G.) 208
 Кедров Б. М. 75, 76, 139, 149
 Кекуле (Kekulé A.) 160
 Кеплер И. (Kepler I.) 279
 Кирхгоф К. С. (Kirchhoff K. S.) 187, 188, 236
 Клапрот М. Г. (Klaproth M. H.) 20, 206, 207, 210, 215, 216

- Клаус К. К. 202, 203, 236, 248, 252, 253
 Ковачько А. И. 236
 Колбе А. В. Г. (Kolbe A. W. H.) 157, 158, 185
 Коссель В. (Kossel W.) 162
 Копп Г. (Kopp H.) 288
 Кронштедт А. Ф. (Cronstedt A. F.) 195, 203, 215
 Круйшанк У. (Cruikshank W.) 94
 Купфер А. Я. 236, 244, 245
 Кювье Ж. (Cuvier G.) 24

 Лавуазье А. Л. (Lavoisier A. L.) 5, 11—13, 28, 50, 63, 88, 93, 123, 163, 164, 168, 171, 203, 211
 Лаплас П. (Laplace P.) 24, 111
 Ле Белъ Ж. А. (Le Bel J. A.) 171
 Левер Т. (Levere T.) 109, 112, 126, 132
 Лемери Н. (Lemery N.) 193
 Ленц Э. Х. 236
 Либих Ю. (Liebig I.) 7, 8, 27, 36—39, 70, 86, 104, 142, 144, 149, 152, 165, 166, 169—172, 174, 175, 181, 190—193, 212, 226, 228, 229, 277—304
 Линней К. (Linné C.) 9
 Ловиц Т. Е. 236
 Локк Дж. (Locke I.) 49
 Ломоносов М. В. 75
 Лоран О. (Laurent A.) 8, 136, 144, 149—151, 154—158, 176—178, 180, 236, 277, 289, 290, 295, 296, 308—312
 Лундгрэн А. (Lundgren A.) 8, 46, 55, 58, 65
 Льюис Г. Н. (Lewis G. N.) 162
 Лясковский Н. Э. 236

 Магнус Г. (Magnus G.) 27, 29, 31, 33, 282, 301
 Максвелл Дж. К. (Maxwell J. C.) 256
 Малагути И. (Malaguti I.) 154, 155, 301
 Мамышев Н. Р. 236
 Мариньяк Ж. Ш. (Marignac I. Ch.) 90
 Марковников В. В. 170
 Маркс К. 147
 Марсэ А. (Marcet A.) 23, 26, 66, 125, 126
 Марум М. ван (van Marum M.) 94
 Маускопф С. (Mauskopf S.) 136
 Мейер Л. (Meयर L.) 160
 Мельзенс Л. (Melsens L.) 156
 Мельхадо Э. (Melhado E.) 8
 Менделеев Д. И. 82, 86, 139, 151, 158, 213
 Меншуткин Н. А. 147, 157, 160
 Мин Д. Е. 6, 165
 Митчерлих Э. (Mitscherlich E.) 7, 27, 29—31, 79, 80, 135—137, 144, 169, 187, 207, 219, 222, 223, 229, 236, 292—294
 Мозандер К. Г. (Mosander C. G.) 7, 29, 205, 206, 242, 243
 Монж Г. (Monge G.) 16
 Мульдер Г. (Mulder G.) 149, 153
 Мюррей Д. (Murray J.) 51

 Наполеон 95
 Нелюбин А. П. 236
 Николсон У. (Nicholson W.) 15, 24, 47, 94, 95
 Нилсон Л. Ф. (Nilsson L. F.) 207
 Нолле Ж. (Nolle G.) 93
 Норденшельд Н. Г. (Norden-skiöld N. G.) 244, 247, 248
 Нордмарк Э. (Nordmarck Z.) 101
 Ньютон И. (Newton I.) 39, 45, 49, 75, 93, 94, 111, 279, 291, 301

 Озанн Г. В. 87, 238, 246, 252
 Озерский А. А. 201, 245
 Оствальд В. (Ostwald W.) 40, 160, 193, 194, 198, 228

 Павлов М. Г. 231
 Пальмстедт К. (Palmstedt C.) 26
 Паррот Г. Ф. 236
 Партигтон Дж. Р. (Partington J. R.) 109, 130, 137, 139
 Пелиго Е. М. (Péligot E. M.) 175, 286
 Пелуэ Т. Ж. (Pelouze T. J.) 144, 155, 179, 284, 295, 298
 Пенет Ф. (Penet F.) 176
 Персо Ж. (Persoz J.) 154
 Пириа Р. (Piria R.) 154
 Плантамур Ф. (Plantamour Ph.) 29
 Поггендорф И. К. (Poggendorff I. C.) 234, 241

- Понтин М. М. (Pontin M. M.) 49, 59
 Поппиус Г. (Poppius G.) 36
 Праут В. (Prout W.) 24, 89—91
 Пристли Дж. (Priestley J.) 14, 94
 Пруст Ж. Л. (Proust J. L.) 52, 54, 77, 231, 278
 Пти А. Т. (Petit A. T.) 69, 70, 79, 83
 Пфафф Х. (Pfaff Ch.) 97
 Пьянци 20, 204
 Райс Ф. (Rice F.) 176
 Раммельсберг К. Ф. (Rammelsberg C. F.) 218
 Рассел К. А. (Russel C. A.) 109, 121, 131
 Рейхенбах (Reichenbach) 284
 Реньо А.-В. (Regnault H. V.) 70, 90, 92, 154, 286
 Рив Ш. Г. де ля (Rive C. G. de la) 27
 Ритгер И. В. (Ritter I. W.) 14, 16, 19, 50, 97, 108
 Рихтер И. Б. (Richter I. B.) 50, 52—54, 58, 75, 77, 197, 231
 Робикэ П. Ж. (Robiquet P. J.) 143
 Розе Генрих (Rose Heinrich) 7, 20, 27, 29, 30, 36, 142, 153, 201, 211, 217, 222, 229, 234, 254, 258, 300, 301, 303
 Розе Густав (Rose Gustav) 7, 27, 29—31, 229, 292
 Роско Г. (Roscoe H.) 78, 51, 277
 Ротгоф И. (Rothoff I.) 26
 Роуниг Дж. (Rowning J.) 110, 111
 Рудберг Ф. (Rudberg F.) 292
 Свандберг Н. (Svandberg N.) 43
 Севергин В. М. 215
 Сёдербаум Г. Г. (Söderbaum H. G.) 7, 108
 Сент-Клер Девиля А. Э. (Sainte-Claire Deville H. E.) 208
 Сефстрём Н. Г. (Sefström N. G.) 29, 30, 208, 209, 279
 Симмер Р. 94
 Симонов И. М. 236
 Смитсон Д. (Smithson J.) 217
 Соболевский П. Г. 236
 Соссюр Н. (Saussure N.) 27
 Стас Ж. С. (Stas I. S.) 81, 90
 Струве Г. В. 29, 83, 236, 246, 248—250
 Сухтелен П. К. 252
 Сьёстен К. (Sjösteen K.) 101
 Тенар Л. Ж. (Thenard L. J.) 24, 25, 32, 95, 164—166, 187, 211, 213, 234
 Теннант С. (Tennant S.) 23, 50
 Томсон Т. (Thomson Th.) 90, 91
 Трооствик А. ван (Troostwijck A. van) 94
 Тэрнер Э. (Turner E.) 91
 Уатт Дж. (Watt J.) 23
 Уолластон У. Г. (Wollaston W. H.) 23, 32, 46—48, 50, 51, 63, 75, 209
 Уолш Дж. 94
 Уотсон У. (Watson W.) 93
 Фабброни Дж. (Fabbroni G.) 97
 Фаерштейн М. Г. 124, 125
 Фарадей М. (Faraday M.) 96, 98, 102, 137—139
 Фишер Э. (Fischer E.) 52
 Франклин Б. (Franklin B.) 14, 93
 Фрике М. (Frické M.) 8, 69
 Фрицше Ю. Ф. 29, 236, 244, 246—250
 Харден А. (Harden A.) 51, 277
 Хиггинс В. (Higgins W.) 77, 231
 Хизингер В. (Hisinger W.) 19, 20, 60, 96, 99, 100, 103, 106, 126, 203—205
 Ходнев А. И. 236, 244, 254, 255
 Холдейн В. (Holdayn W.) 94
 Хольмберг А. (Holmberg A.) 8
 Хэй Р. (Hay R.) 8, 277, 308
 Цейзе В. Х. (Zeise W. Ch.) 33
 Швейгер И. С. (Schweigger I. S.) 27, 126
 Шеврель М. Э. (Chevreul M. E.) 24, 25, 166
 Шееле К. В. (Scheele C. W.) 195, 216
 Шеллинг Ф. 112, 258
 Шенбайн Х. Р. (Schönbein C. F.) 191

Шерер А. И. 230
Шлаттер И. 215
Шмидт К. Э. 236, 246
Шталь Г. (Stahl G.) 28, 200
Штарк И. (Stark I.) 161
Штрекер Э. (Ströker E.) 87
Шубин П. П. 236, 244

Щеглов Н. В. 232

Эйнбротт П. И. (Einbrodt P.) 82,
236, 237
Эйх Р. (Ehl R.) 137
Экеберг А. (Ekeberg A.) 12, 101,
210

Экмарк А. (Ekmarck A.) 9
Экмарк Л. Х. (Ekmarck L. С.)
16, 49
Энгельгардт М. Ф. 236
Энгельс Ф. 133, 134, 160
Эпинус Ф. 93
Эрман П. (Erman P.) 128

Юнг Т. 23, 50

Якоби Б. С. 236, 246

Оглавление

Предисловие	5
Глава первая	
Биографический очерк	9
Глава вторая	
Обоснование и развитие химической атомистики	44
Знакомство Берцелиуса с атомистикой	45
«Конфликт» между атомистикой Дальтона и законом определенных пропорций Берцелиуса	52
«Аммонийная гипотеза» и понятие об абсолютном минимуме простого вещества в химическом соединении . . .	59
Открытие Гей-Люссака и его влияние на теоретические взгляды Берцелиуса	63
Окончательный переход Берцелиуса на атомистические позиции	71
Эволюция систем атомных весов и химических формул	76
Химическая номенклатура	88
Гипотеза Праута и отношение к ней Берцелиуса	89
Глава третья	
Электрохимическая теория	93
Первые исследования химического действия электричества	93
Химическое взаимодействие как электрическое явление	96
Электрохимические исследования Дэви и их влияние на Берцелиуса	108
Создание электрохимической теории	115
Электрохимическая теория и атомное учение	126
Противоречия между дискретностью химического и непрерывностью электрического взаимодействия	133
Электрохимическая теория и электрохимический дуализм	139
Электрохимический дуализм в органической химии . . .	149
Глава четвертая	
Исследования по органической химии	163
Элементный анализ органических соединений	164
Изомерия	168

Теория сложных радикалов	171
Представления Берцелиуса о «жизненной силе» и его отношение к синтезу органических соединений	181
Глава пятая	
Катализ	187
Глава шестая	
Исследования по аналитической и неорганической химии	195
Разработка методов качественного и количественного анализа	195
Открытие и изучение новых химических элементов и их соединений	203
Изучение природы солей	212
Глава седьмая	
Химическая минералогия	215
Глава восьмая	
«Учебник химии» . «Ежегодные сообщения»	220
Глава девятая	
Научные связи Берцелиуса с русскими учеными	229
Заключение	256
Литература	
Цитированная литература	260
Литература о Я. Берцелиусе	275
Приложения	
Приложение 1. Письмо Дж. Дальтона Я. Берцелиусу	277
Приложение 2. Из переписки Я. Берцелиуса и Ю. Либиха	279
Приложение 3. Из статьи «Заметки по поводу химических пропорций и некоторых связанных с ними обстоятельств, вместе с кратким и удобным методом их выражения».	305
Приложение 4. Из статьи «Отличие изомерии от аналогичных состояний»	306
Приложение 5. Реферат «Об изомерии».	307
Приложение 6. Из письма Я. Берцелиуса американскому химику Роберту Хэйю	308
Приложение 7. Из переписки Я. Берцелиуса и О. Лорана	308
Именной указатель	313

Юрий Иванович Соловьев,
Виктор Иванович Куриной

Якоб Берцелиус.
Жизнь и деятельность

Издание второе, исправленное и дополненное

*Утверждено к печати
редколлегией серии
«Научно-биографическая литература»
Академии наук СССР*

Редактор *Н. Г. Явкина*
Художественный редактор *Н. А. Фильчагина*
Технический редактор *Р. Г. Грузинова*
Корректор *Н. И. Казарина*

ИБ № 17324

Сдано в набор 16.05.80.
Подписано к печати 22.08.80.
Т-14034. Формат 84×108¹/₃₂
Бумага типографская № 1
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая
Усл. печ. л. 16,8. Уч.-изд. л. 18,4
Тираж 16600 экз. Тип. зак. 3146
Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Наука»
17864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

Якоб БЕРЦЕЛИУС

Ю. И. Соловьев, В. И. Куринной



*Ю. И. Соловьев
В. И. Куринной*

**Якоб
БЕРЦЕЛИУС**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»



ГОТОВИТСЯ К ВЫПУСКУ
СЛЕДУЮЩАЯ КНИГА:

**ВСЕОБЩАЯ ИСТОРИЯ ХИМИИ.
ИСТОРИЯ УЧЕНИЯ О ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ
30 л.**

Впервые в историко-химической литературе дан глубокий анализ истории учения о химических процессах. Рассмотрены основные направления развития учения: термохимия, химическая термодинамика, электрохимия, учение о растворах, химическая кинетика. Каждый из этих разделов охватывает проблему с момента ее возникновения до современности. Основанная на тщательном изучении многочисленных источников, книга дает полное представление об основных путях развития учения о химических процессах.

Книга предназначена для химиков, преподавателей высших и средних учебных заведений и всех читателей, интересующихся историей химии.

Для получения книг почтой заказы просим направлять по адресам:

117464 Москва, В-464, Мичуринский проспект, 12,
197110 Ленинград, П-110, Петрозаводская ул., 7,
630090 Новосибирск, 90, Морской проспект, 22,
252030 Киев, 30, ул. Пирогова, 4 и другие магазины
«Академкнига».

Цена 1 р. 20 к.