

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ТРУДЫ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАРСЕЛЕНА БЕРТЕЛО¹⁾.

Камила Матиньон, Париж.

МАРСЕЛЕН БЕРТЕЛО (1827 — 1907).

Среди имен наиболее крупных представителей человечества, которые озаряют светом XIX столетие, имя химика, который создал органический синтез и установил законы термохимии, светится совершенно особенным блеском. Творения М. Бертело²⁾ обширны и блестящи. Результатом его деятельности было около 1500 мемуаров, из которых первый был напечатан в мае 1850 г. в «Annales de Chimie et de Physique» и относился к его работе, выполненной в химической школе Пелуза, и последний был представлен в Академию Наук в тот месяц, в течение которого Бертело умер, — именно в марте 1907 г.

Все, или почти все, его исследования касаются четырех вопросов: синтетического приготовления сложных органических веществ, изучения сил, которые связаны с соединением и разложением химических веществ, далее сельского хозяйства и истории химии. Мы попытаемся кратко изложить самое существенное, не касаясь деталей этих работ, и очер-

¹⁾ Перевел с оригинала автора П. П. Лазарев.

²⁾ Пьер Эжен Марселен Бертело, сын Жака Мартена Бертело, доктора медицины, и Эрнестины Софии Клодины Биар, родился 25 октября 1827 г. в Париже в доме, расположенном на Гревской площади; умер в Париже во дворце Французского Института 18 марта 1907 г.

чивая грубыми общими линиями эти прекрасные творения, одни из наиболее замечательных созданий человеческого ума¹⁾.

ДВЕ ХИМИЧЕСКИЕ РЕВОЛЮЦИИ.

В 1889 г., как раз в год столетнего юбилея французской революции, Бертелло приступил к исполнению обязанностей непрямого секретаря Академии наук и прочитал в публичном собрании Академии речь, посвященную Лавуазье. С документами в руках и в чрезвычайно глубоком по мысли изложении он показал природу и характер основной реформы, произведенной Лавуазье в области теорий химии в конце XVIII столетия.

Закон сохранения материи и Лавуазье. Бертелло выяснил значение основного открытия «основателя современной химии», открытия, из которого вытекают все его дальнейшие работы и которое состоит в ясном понимании различия между весомыми телами и невесомыми агентами, которые могут влиять на весомые тела, не изменяя их веса. Создатель настоящего химического метода, Лавуазье, формулировал понятие простого тела и доказал, что состав вещества должен быть определен совершенно точно анализом и синтезом. Провозглашая свой принцип сохранения материи в течение химических реакций, он создал настоящую химическую революцию, теоретические и практические последствия которой имели настолько большое значение, что их невозможно себе даже представить²⁾. Марселен Бертелло, который отметил

¹⁾ См. «Notice sur la vie et les travaux de Marcellin Berthelot» par Emile Jungfleisch, Bull. Soc. Chim. France. 5 février 1913. Речь, произнесенная при открытии памятника Маселену Бертелло. Французский Институт 1917.

²⁾ В прекрасном докладе в Академии Наук в Париже (летом 1927 г.) при представлении работы П. П. Лазарева «Apperçu historique du développement des sciences exactes en Russie», К. М а т и н ь о н отметил до тех пор неизвестный французским химикам факт, что закон сохранения массы и теоретически и экспериментально открыл за несколько десятков лет до Лавуазье Ломоносов. Любопытно, что даже такой великий химик, как Д. И. Менделеев, глубоко знавший историю науки, не отмечал этого факта (см. „Основы химии“ первое издание). П. Л.

революционный характер трудов Лавуазье, сам произвел революцию в химии, создав в период с 1854 по 1867 гг. органический синтез; точно так же как Лавуазье он дал науке и технике неисчислимые богатства.

Химический синтез и Бертело. До работ Бертело научное мнение принимало принципиальное различие между органической и минеральной химией. Для выработки органических веществ внутри живых организмов допускали неперемненное действие жизненной силы. В 1842 г. Шарль Жерар говорил: «Химик делает совершенно противоположное тому, что делает живая природа, он сжигает, разрушает, действует анализом; только жизненная сила действует синтезом, она восстанавливает разрушенное химическими силами здание». В сочинении Берцелиуса, появившемся в 1843 г., также ясно сформулировано утверждение о совершенном различии между минеральной и органической химией. «Если бы оказалось возможным, — говорил знаменитый ученый, — найти причину этого различия, то можно было бы получить ключ к теории органической химии; но эта теория так сложна и недоступна, что мы не можем иметь надежды на ее создание, по крайней мере в настоящее время».

В том же самом труде, сказав несколько слов по поводу синтеза мочевины, осуществленной Велером, Берцелиус писал: «Даже в том случае, если мы со временем сможем получить из неорганических веществ некоторые соединения, аналогичного состава с органическими веществами, это неполное подражание будет слишком ограниченным, чтобы мы могли надеяться получить органические тела, как нам это удастся в большинстве случаев сделать для тел неорганических, подтверждая анализ этих тел их синтезом». Вюртц в 1850 г. был менее решительным; можно даже сказать, что он с известным оптимизмом рассматривал возможность химического синтеза в этой области. «Если, — говорил он, — при посредстве реакций, состоящих в подстановке на место водорода радикалов углеводов, можно будет когда-нибудь усложнить органические молекулы с такой же легкостью, с какой в настоящее время можно некоторые из них разложить, то это создание искусственных органических веществ с точки зрения

теории должно будет поставить науку на более высокий уровень и это приведет сразу к величайшим приложениям».

Мы находимся на пороге второй химической революции. Бертелло в одном письме, написанном в юности к Ренану, говорил о своей вере в единство мироздания, в единство его явлений и его законов. Он не мог себе представить никакого различия между миром живым и миром минеральным, и можно утверждать, что его руководящая идея при синтезе органических веществ имела весьма отдаленное происхождение. В 1851 г., когда ему было всего лишь 24 года, изучая разложение алкоголя и уксусной кислоты, при помощи нагревания, он констатировал получение бензола, нафталина, фенола и др. веществ, содержащихся в продуктах перегонки минеральных масел или жирных масел. Он отмечал, что синтез этих веществ должен быть рассматриваем как уже совершившийся факт, так как их можно было получить при посредстве уксусной кислоты, которая раньше была приготовлена синтетически Кольбе. Велер своим синтезом мочевины в 1828 г., Кольбе синтезом уксусной кислоты в 1825 г. были в самом деле предшественниками Бертелло, но их работы остались изолированными, их теоретическое значение не было выяснено. Факты, ими открытые, были рассматриваемы как отдельные случаи, представляющие собой исключение из доктрины, представлявшейся почти неопровержимой, из доктрины об абсолютном различии явлений минеральной химии и химии веществ живого организма.

Полное изменение, целая революция, произведена работами Бертелло. Сначала он осуществил частичный синтез естественных жиров при посредстве жирных кислот и глицерина, затем наступил «решительный ряд опытов», как его называет Шарль Муре; синтезы изосульфационата алила или горчичного масла (1854) и этилового алкоголя (1855), муравьиной кислоты (1855), метилового алкоголя (1857), ацетилена (1862) и бензола (1867).

Одно из этих открытий должно привлечь наше особое внимание, так как вызвало общий и глубокий интерес к органическому синтезу.

Берутся в свободном состоянии два элемента: водород и углерод. Применяя вольтову дугу, Бертело их соединяет в молекулу ацетилена. Это вещество затем, путем гидрогенизации, далее путем конденсации, путем присоединения кислорода или углерода, дает, смотря по обстоятельствам, или углеводороды (этилен, формен, бензол), или кислоты (уксусную, щавелевую, гидроциановую), и с этого момента, с момента синтеза Бертело, все пути органической химии явились более или менее открытыми. Явления биологические можно было таким образом произвести в лаборатории; более того,— можно было предвидеть, что могут быть созданы комбинации не существующие в природе, как это и отметил Бертело. «Область, где химический синтез проявляет однажды свое творческое могущество, более обширна, чем область природы, действительно существующая».

Это полное смелости утверждение должно было иметь чрезвычайные последствия. Без сомнения, оно явилось только в скрытой форме в момент опубликования первых экспериментальных результатов Бертело. Тем не менее оно должно было привести к работам, которые продвинули органический синтез до возможных пределов совершенства, которого он достиг в наши дни, создав важную область технологии медикаментов, духов и синтетических красителей.

Термохимия.

Установление первых общих методов синтеза органических веществ и связь их с учением о физико-химическом единстве явлений мира живого и мира минерального привели Марселена Бертело неизбежно к изучению механизма химической реакции. Когда Бертело выполнил синтез муравьиной кислоты (1855 г.), комбинируя элементы воды и окиси углерода, он обратил внимание на крайнюю медленность, с какой протекает эта простая, но интересная реакция. В 1864 г., изучая уже наблюдаемые факты, он увидел, что теплота сжигания муравьиной кислоты была больше теплоты сжигания окиси углерода, которая являлась исходным продуктом для нее. Отсюда заключение: при синтезе муравьиной

кислоты поглощается теплота. Эта реакция есть реакция эндотермическая, в противоположность реакциям экзотермическим, которые освобождают теплоту. Отсюда возникает представление о химическом сродстве, которое Бертелло рассматривает не как некоторую неопределенную силу, но как величину, которую можно измерить путем исследования поглощения или отдачи тепла.

Калориметрия. Калориметрия была прекрасно разработана, благодаря работам Лавуазье и Лапласа, Фавра и Зильбермана, Томсона и Реньо. Бертелло ее обогатил огромным количеством своих теоретических открытий, огромным числом экспериментальных определений и числовых данных. Он создал в области калориметрии новые, точные и простые методы, хорошо подходящие к лабораторным химическим работам и позволяющие применять калориметрическую бомбу, носящую имя Бертелло. Число определений, выполненных Бертелло, его сотрудниками и его учениками для термохимического изучения реакций, — огромно. Все эти данные, собранные затем Бертелло, начиная с 1865 г., относятся ко всем видам реакций и превращений. Они позволили Бертелло, основываясь также на работах иностранных ученых, высказать три закона, которые дают меру молекулярных работ, произведенных в течение химического превращения, и которые управляют этими превращениями. Эти работы представляют интерес для чистой науки; их роль не менее велика в приложении к физиологии, сельскому хозяйству, военному делу, металлургии, электрической промышленности. Они увеличили наши знания о составе тел и сделали более точной характеристику химических явлений.

Три принципа Бертелло. Бертелло установлены следующие три принципа термохимии:

1) Принцип молекулярных работ, согласно которому количество тепла, выделившееся при химической реакции, измеряет сумму химических и физических работ, выполненных во время этой реакции.

2) Принцип начального и конечного состояния, который выражается так: если система простых или слож-

ных тел, взятых в определенных условиях, испытывает физические или химические превращения, способные привести ее в новое состояние, причем не наблюдается никакого внешнего механического эффекта в системе, то количество выделенного или поглощенного благодаря этим превращениям тепла зависит только от начального и конечного состояния системы; тепловой эффект остается тем же самым, каковы бы ни были природа и порядок промежуточных состояний.

3) Принцип максимальной работы: всякое химическое превращение, происходящее без посредства внешней энергии, при постоянной температуре, стремится создать такую систему веществ, которая выделяет наибольшее количество тепла. Этот третий принцип представляет совершенно особое значение, так как он позволяет предсказать направление, в котором должны течь химические реакции. Этот принцип не является абсолютным законом, но законом с ограниченной областью применений — очень общее и весьма ценное эмпирическое правило (Арман Готье).

Принцип наибольшей работы, который следовало бы назвать принципом наибольшей теплоты, получает полную точность, если отделить от теплоты химической реакции теплоту, зависящую от изменения физического состояния. При абсолютном нуле максимальная работа строго эквивалентна теплоте реакции и одна и та же реакция существовала бы при всякой температуре, если теплоты реакции оставались бы неизменяемыми, что приблизительно верно для твердых тел, для которых существует почти полное равенство удельных теплот в разных состояниях.

При обыкновенной температуре принцип Бертело прилагается почти строго к случаю реакции между твердыми телами.

Нернст рассматривает этот принцип, как следствие принципа рассеяния энергии Карно. Экзотермические реакции являются наиболее многочисленными при средних температурах, когда нет ни ложных, ни действительных равновесий; это относится к случаю наиболее частому в практике, когда легко получить соответствующие температуры.

Исследование над взрывчатыми веществами. Бертело использовал принцип термохимии в своих исследованиях взрывчатых веществ. Начиная с 1871 г., он поставил задачу о силе порохов и взрывчатых веществ, отмечая, что для определения силы взрывчатых веществ необходимы 4 величины: 1) химический состав взрывчатого вещества; 2) состав продуктов взрыва; 3) объем доставляемых газов; 4) количество выделенного при реакции тепла.

Эта последняя величина, говорил он, измеряет максимальную работу, которая может быть произведена взрывчатым веществом, между тем как начальное давление зависит от объема газов, полученных при взрыве, и от их температуры.

Исходя из этих новых точек зрения, Бертело сделал крупный вклад в исследование явлений разложения порохов и взрывчатых веществ. В этом исследовании Виейль нашел первые данные, приведшие его к открытию бездымного пороха. Вместе с Виейлем Бертело пришел к допущению признания особого волнообразного движения, характерного для передачи взрывных реакций, к взрывной волне.

Действие этого движения можно сравнить с действиями звуковой волны, с той, однако, основной разницей, что звуковая волна передается от слоя к слою с малою живой силой, с малым изменением давления и с определенной скоростью, зависящей только от физического состава колеблющейся среды, между тем как изменение химического состава, распространяющееся вместе с взрывной волной, доставляет этой последней огромную живую силу и огромный избыток давления¹⁾.

Животная теплота. Исследование развития тепла у живых существ составляет главу термохимии, имеющую огромную важность для физиологов и зоотехников. Первые данные, касающиеся животной теплоты, были получены Лавуазье, который рассматривал возникновение этой теплоты как результат сжигания углерода в кислороде, вдыхаемом животным.

¹⁾ В 1870 г. Бертело был назначен председателем научного комитета для защиты Парижа. Впоследствии (1878) он сделался председателем Комиссии по взрывчатым веществам.

Количество теплоты по Дюлонгу (в 1820 г.) должно быть пропорционально не весу поглощенного кислорода, но весу образовавшихся углекислоты и воды.

Бертелло показал, что измерения количеств поглощенного кислорода и полученных углекислоты и воды не позволяют достаточно точно подсчитать явление теплопродукции. Метод термохимического определения позволил выяснить и различать возникновение тепла, зависящее от полных и неполных прямых или не прямых окислений, от реакций гидратации, гидролиза, полимеризации и от синтеза. Производство теплоты живыми существами в действительности оказалось, таким образом, более сложным. Превращения химических веществ, которые составляют пищу, совершаются по тем же самым физико-химическим законам в организме и в лабораторных приборах: количество энергии, которое при этом освобождается, всегда одно и то же, каковы бы ни были промежуточные состояния, через которые прошли эти вещества для того, чтобы перейти от своего начального состояния в состояние конечное: поддержание жизни не требует никакой энергии, которая была бы характерна для явлений жизни.

АГРОНОМИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Развитие общих методов органического синтеза привело Бертелло к изучению синтеза азотистых веществ путем фиксации азота веществами и далее к работам по усвоению азота растениями.

Этот предмет вызывал до работ Бертелло многочисленные споры среди химиков-агрономов.

В 1876 г. Бертелло обнаружил, что чистый или взятый из воздуха азот поглощается органическими веществами при обыкновенной температуре под влиянием электрических истечений, давая азотистые соединения, относящиеся к гумусовым веществам. Когда в 1883 г. к лаборатории органической химии Collège de France присоединили станцию агрономической химии, расположенной на земле, принадлежащей старинному замку в Медоне, Бертелло снова взялся за изучение этого вопроса.

Он подтвердил свои первоначальные наблюдения и получил в 1890 г. поглощение азота растениями, заключенными в закрытом сосуде в электрическом поле, в условиях, аналогичных тем, которые имеются в природе.

Стремясь углубить реакцию фиксации азота, под влиянием электрических истечений, Бертелло открыл в 1885 г. новые и гораздо более общие условия непосредственной утилизации азота: «это действие глинистых почв и заключенных в них организмов».

Этому открытию суждено было привести к важным следствиям, которые появились в работах Гелльригеля в 1886 г.: сюда относятся открытие роли клубней определенных растений (*leguminosae*) и их бактерий в явлениях прямой непосредственной ассимиляции азота растениями; сюда же относятся открытия Шлезинга и Лорана над деятельностью микроорганизмов при явлениях фиксации азота почвой; наконец сюда же относится открытие бациллы, фиксирующей азот, сделанное Виноградским.

Все эти замечательные работы, точно так же как исследования других ученых, обнаруживают все значение первоначального утверждения Бертелло. «Исходный пункт фиксации азота нужно искать не в высших растениях, но в некоторых низших микроорганизмах, которые живут в земле».

В других частях обширной области агрономической химии Бертелло проявил блестящую деятельность. Он изучил с Бюинье образование виноградного сахара в ткани плодов. Он сделал исследования над образованием эфиров в винах и уксусе, над химическими процессами в растениях, происходящими под влиянием света, и над химией почвы, совместно с Андре.

Четыре толстых тома, появившихся в 1899 г., подводят итоги работы Бертелло в области агрономической химии.

История химии.

Работы Бертелло являются по преимуществу философскими; мы хотели бы этим сказать, что эти работы исходят из общих и глубоких идей и их практическое воплощение

в действительности являлось в некотором роде приспособлением к результатам, добытым опытом. Деятельность Бертелло не представляла собою последовательного ряда точных экспериментов в лаборатории без связи друг с другом, изолированных и стоящих особняком, но она являлась обширным целым, управляемым общим принципом: принципом единства естественных сил и законов, которым они повинуются.

Бертелло по естественным склонностям своего ума был вовлечен в изучение источников человеческого знания и написал серию работ по истории химии; эта серия весьма значительна. Уже в 1869 г. Бертелло начал исследования по этому вопросу и принялся за собирание необходимых данных. Но только в 1885 г. появилась его книга об основаниях алхимии, о греческих, римских и арабских источниках ее. Значительное развитие и уточнение были внесены в этот труд опубликованием труда «Собрания древних греческих алхимиков», основанного на рукописи конца X века, и опубликованием книги «Введение в химию древних и в химию средних веков». Три тома были посвящены Бертелло химии средних веков. Затем нужно упомянуть об «Археологии и истории наук» и наконец о книге, озаглавленной «Химическая революция Лавуазье». Эта книга была развитием речи, читанной в публичном собрании Академии наук в 1889 г., в речи, о которой мы говорили в начале настоящей статьи.

Различные другие труды.

Исследования Марселена Бертелло обнимали также известное количество работ, связанных только косвенным образом с четырьмя главными направлениями, которые мы вкратце рассмотрели. Здесь можно упомянуть о следующих: сжижение газов (1850), фракционированная перегонка жидкостей (1850), скипидар (1851/52), сложные аммиаки, многосатомные спирты, соединения смешанных функций, эфиробразование, закрытые сосуды; сахара, законы эфиробразования; один из законов эфиробразования превратился впоследствии благодаря обобщению Гульдберга и Вааге в закон действия масс; коэффициент делимости; общий метод

гидрогенизации органических веществ действием иодовородной кислотой, действующей при высоких температурах, удельная преломляющая способность, надсерная кислота, действие электрических истечений, аллотропия, происхождение нефти. Бертелло изучал далее специально явления действия ферментов и роль микроорганизмов в химических реакциях.

Он установил, что брожение пива превращает виноградный сахар. Его общие идеи о ферментативных действиях представляют организованные ферменты как производители собственного фермента, действующего физико-химическим путем. Он сравнивал эти явления с явлениями, зависящими только от одного присутствия вещества, и был таким образом вовлечен в изучение каталитических действий.

Энциклопедические познания Бертелло, его высокое общее образование, его вкус к обобщениям должны были привести его к работам на совершенно различные темы, связанные с философией, политикой, историей, образованием, моралью в их отношениях с наукой. Он опубликовал: «Наука и философия» в 1886 г., «Наука и нравственность» в 1887 г., «Наука и свободная мысль» в 1905 г., «Наука и воспитание» в 1901 г.
