

Учебно-методический комплекс  
«Диалогика стилей в науке. Химия»

В. Ю. Пузыревский, Г. В. Виденкова

# ДИАЛОГИКА СТИЛЕЙ В НАУКЕ. ХИМИЯ

Методические материалы по изучению  
истории химии в 8–10 классах

Учебно-методическое пособие

Санкт-Петербург,  
2012

УДК 372.854+37.02  
ББК 74.262.4+74.202.4  
П 88

**Пузыревский В.Ю., Виденкова Г.В. Диалогика стилей в науке. Химия. Методические материалы по изучению истории химии в 8–10 классах. Учебно-методическое пособие. — СПб.: Школьная лига, Издательство «Лема», 2012. — 108 с.**

**Серия «Наношкола»  
Программа «Школьная лига РОСНАНО»**

ISBN 978-5-98709-580-5

В пособии кратко даны представления о диалогике стилей с точки зрения истории и методологии науки и об основных диалогических подходах гуманистического образования. Рассматриваются педагогические рекомендации по организации учебного процесса в русле диалогистики стилей, а также приводятся тексты по истории трёх крупных дискуссий в химии, которые могут быть использованы в качестве содержательной и методической основы занятий со школьниками.

Примером, отражающим подходы к организации учебных занятий в духе идей данного пособия, служит Рабочая тетрадь для учащихся 8–10 классов («Диалогика стилей в науке. Химия. Рабочая тетрадь по истории дискуссий в химии»).

## Содержание

Введение.....	5
1. Диалогика стилей в историческом развитии химии. Краткий очерк.....	7
2. Методика изучения отдельных тем по истории химии.....	17
2.1. Личностно-значимый подход: выбор и проживание стилей .....	18
2.2. Стиле-ролевой диалогический подход .....	20
2.3. Модульный подход: форматы «микропогружений» .....	22
2.3.1. Сдвоенный урок.....	23
2.3.2. Учебный день.....	24
2.3.3. Три учебных дня.....	25
2.4. Рабочая тетрадь для учащихся как путеводитель по истории химии.....	29
3. Учебный материал по истории химии (тексты) .....	31
3.1. 8 класс. Процесс горения и состав воздуха. Теории флогистона и кислорода .....	32
3.2. 9 класс. Растворы. Ионная и гидратная теории .....	44
3.3. 10 класс. Природа органических соединений. Дуалистическая теория, теория замещения и унитарная теория. Первая и вторая теории радикалов. ....	85
Заключение.....	105

# ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где столкновение взглядов (политических, религиозных, национальных и т.д.) всё более обретает характер агрессивного противоборства мировоззрений, актуальным становится умение «поставить себя на точку зрения другого», воспитанный навык понимающего диалога. В таком диалоге важно не столько рациональное сопоставление позиций ради выявления победителя и побеждённого среди противоборствующих сторон, сколько умение ясно видеть и понимать сущностную и социокультурную равнозначность обеих.

Социальный и психологический механизм такого видения и понимания не нов и имеет солидные теоретические обоснования в постпозитивистской истории, философии и методологии науки, философии диалога, герменевтике, психологии познания и искусства, гуманистической психологии, культурно-исторической психологии и т.д. В педагогике подходы к разработке такого механизма имеются в личностно-ориентированном образовании, «Школе диалога культур», театрально-игровой педагогике, программе «Математика. Психология. Интеллект» и др.

Основная задача — ввести понимающий диалог в самую ткань образования. Учебный материал и образовательные методики должны быть пере-структурированы под такой диалог. То есть принцип альтернативности взглядов, культур, стилей должен быть наглядно представлен в самой структуре учебного знания. Тогда на принципах альтернативности и понимающего диалога будет вестись и разработка учебников, и подготовка и повышение квалификации учителей, и обучение и воспитание школьников.

Представляемый здесь учебно-методический комплекс (УМК) «Диалогика стилей в науке. Химия» является лишь первой попыткой введения понимающего диалога в содержание естественнонаучного образования школьников. Конечно, это было бы проще сделать на примере гуманитарных наук, но актуальность проблемы того, чтобы естественнонаучное образование обрело личностно-значимые смыслы, историко-гуманитарные, социокультурные и практико-ориентированные контексты и для школьников, оправдывает все трудности разработки и апробации данного УМК.

Если учащиеся встретятся с разными стилями научного мышления и их характерными чертами на примерах конкретных тем того или иного этапа исторического развития химии, они смогут соотнести их со своими индиви-

дуальными кинестетическими и когнитивными стилями и, тем самым, лучше понять как свою, так и иную точки зрения на явления природы. Наилучшим предметным материалом для этого служат научные дискуссии по ключевым проблемам химической науки. Именно в теоретических спорах учёных, в столкновениях интерпретаций фактов, добытых в ходе экспериментальных исследований, проявлялись мировоззренческие и личностно-психологические стили. Эти стили, как показывают глубокие философские и психологические изыскания, являются экзистенциальной основой внутренней познавательной мотивации — не только деятелей науки, но и учащихся — к активным самостоятельным исследованиям окружающего мира.

УМК «Диалогика стилей в науке. Химия» состоит из двух основных частей, изданных двумя брошюрами: данного учебно-методического пособия для учителей и учебного пособия в виде рабочей тетради для учащихся.

В учебно-методическом пособии вкратце даны представления о диалогике стилей с точки зрения истории и методологии науки, об основных диалогических подходах гуманистического образования, даются педагогические рекомендации по организации учебного процесса в русле диалогики стилей, а также приводятся тексты по истории трёх крупных дискуссий в химии, которые могут быть использованы в качестве содержательной и методической основы занятий с учащимися.

# 1.

## Диалогика стилей в историческом развитии ХИМИИ

*Краткий очерк*

Большинство философов и историков науки небезосновательно отмечают, что в науке «нередко складываются ситуации, когда конкурируют теоретические концепции, каждая из которых в равной мере согласуется с имеющимися эмпирическими данными, и конкурирующие концепции являются эквивалентными в эмпирическом плане»<sup>1</sup>. «Согласованность теории с одними фактами и несогласованность с другими, — отмечает В. С. Швырев, рассматривая неопозитивистские концепции, — выступает, конечно, соответственно как положительный и отрицательный факторы её оценки, однако ни то ни другое само по себе недостаточно ещё для вынесения окончательного приговора»<sup>2</sup>.

Однако, в школьных и вузовских учебниках неоднозначность, как правило, под запретом. «К примеру, — пишет Г. У. Лихошёрстных, — в учебниках каждый научный закон «логически строго» выводится из некоторой системы фактов. На множественность равноценных выводов тут нет и намёка. Но такое впечатление сразу же рассеивается, как только мы вспомним, что любой первооткрыватель, прежде чем натолкнуться на «строго и однозначно» вытекающий из фактов закон, предпринимает предварительно массу других поисковых шагов, каждый из которых выливается в очередной вариант предполагаемого закона, представляющий тоже «логически строгим»<sup>3</sup>.

То есть речь идёт о разветвлённости интерпретаций фактов и теорий, «концептуальных альтернативах» и даже об альтернативных «стилях мышления» (В. Паули) в рамках одного и того же направления научных исследований<sup>4</sup>. «Наличие различных стилей научного мышления, — отмечают А. Б. Толстов и В. П. Филатов, — а оно ныне подтверждено многочисленными исследованиями методологов и историков науки, составляет основу более фундаментальных, чем концептуальные, альтернатив в науке. Их можно называть *стилевыми*, или *мировоззренческими*, альтернативами. Эти альтернати-

вы существуют не наряду с концептуальными, а составляют их порождающую основу. Несколько метафорически используя терминологию Канта, их можно также назвать трансцендентальными основаниями эмпирического многообразия концептуальных альтернатив»<sup>5</sup>.

Так, наиболее явно в науке выступает дихотомия (А) *аналитического (формального)* и (В) *синтетического (фактуального)* компонентов знания. При этом, как показала теорема Гёделя о неполноте, ни в математике не оправдываются концепции только чистой аналитичности, ни в естествознании — только чистой синтетичности. Поскольку положения теории одновременно выполняют функцию и носителя информации, и спецификатора значения, то «формальный» и «фактуальный» компоненты знания слиты в одно целое, хотя и могут быть «разнесены»<sup>6</sup>. Вот эта разнесённость и обусловлена априорной стиливой бинарностью. «Стиль... мышления... является формой спонтанной (стихийной) рефлексии научного сообщества, — пишет А. С. Кравец, — его каноны чаще всего не выражаются в явной форме, т.е. не являются теорией или учением о научном познании, а представляют коллективное мнение учёных о допустимых нормах и идеалах научного познания»<sup>7</sup>. То есть речь идёт о рефлексии типичности коллективного бессознательного, о палеопсихологических типах, обусловленных различными архаичными структурами обитаемого мира.

Выступая против упорной веры в абсолютную и неизменную «систему разума», Жан-Луи Детуш и Гастон Башляр призывают обратить внимание на факты «рационального плюрализма», на то, что «две теории могут принадлежать двум различным сферам рациональности, и они могут противопоставляться в некоторых моментах, оставаясь значимыми каждая в отдельности, в их собственных сферах рациональности»<sup>8</sup>. И здесь речь идёт о стилях рациональности.

В науке, например, наиболее заметны атомистская и континуалистская, количественная и качественная, редукционистская и холистская, вероятностная и детерминистская стилевые альтернативы. Их сторонники глубоко убеждены в верности собственной позиции, в том, что никакие отдельные экспериментальные факты или логические аргументы не могут окончательно подтвердить другую или опровергнуть свою теорию.

«Не только история науки, — пишет Гастон Башляр, — демонстрирует нам альтернативные ритмы атомизма и энергетизма, реализма и позитивизма, прерывного и непрерывного; не только психология учёного в своих поиско-

<sup>1</sup> Мамчур Е. А., Овчинников Н. Ф., Уемов А. И. Принцип простоты и меры сложности. — М., 1989. С. 233.

<sup>2</sup> Современная идеалистическая гносеология. Критические очерки / Под ред. Г. А. Курсанова. М., 1968. С. 210.

<sup>3</sup> Лихошёрстных Г. У. Интуиция в науке, её природа и её возможности. // Вопросы философии, 1984. № 6. С. 74–75

<sup>4</sup> См. Толстов А. Б., Филатов В. П. Роль альтернатив в развитии науки. // Диалектика и научное мышление. — М., 1988. С. 148.

<sup>5</sup> Там же. С. 150.

<sup>6</sup> См. Современная идеалистическая гносеология. Критические очерки. — М., 1968. С. 212–214.

<sup>7</sup> Кравец А. С. Функции философской эвристики в научном познании. // Диалектика творческой деятельности. Межвуз. сб. науч. трудов. — Воронеж, 1989. С. 55.

<sup>8</sup> См. Башляр Г. Новый рационализм. — Биробиджан, 2000. С. 277.

вых усилиях осциллирует всё время между тождеством закона и различием вещей; буквально в каждом случае и само научное мышление как бы подразделяется на то, что должно происходить и что происходит фактически»<sup>9</sup>.

В своей методологии науки Л. Больцман отмечал, что выбор той или иной теории — дело вкуса в конструировании картины мира. «Можно так же хорошо представить себе возможность существования нескольких картин мира, обладающих одинаковыми качествами»<sup>10</sup>. Учёный подразумевал равноценность (А) абстрактности в феноменологии и (В) наглядности в атомистике. «В принципе, — писал физик, — мыслима возможность появления двух совершенно различных теорий, причём обе одинаково просты и одинаково хорошо согласуются с явлениями; хотя эти теории полностью различны, обе они оказываются одинаково правильными. Утверждение, будто только одна теория является единственно правильной, выражает лишь наше субъективное убеждение, что не может быть другой теории, которая была бы столь же проста и давала бы столь же хорошо согласующуюся картину»<sup>11</sup>.

Например, в споре между сторонниками (В) гидратной теории растворов и сторонниками (А) ионной теории, (В) Д. И. Менделеев почти романтически верил в реальную природу атомов и хотел это доказать, а (А) В. Оствальд допускал условность ионов и пытался прагматически их использовать.

Так, согласно Менделееву, атом является химически целой неделимой частицей; химические элементы, обладая специфической индивидуальностью, не превращаются друг в друга. Согласно же Оствальду, ионы можно рассматривать как самостоятельно существующие порции энергии и, тем самым, обходиться без «гипотетических атомов и молекул». «Мы можем стать на чисто формальную точку зрения и рассматривать ионы просто-напросто, как удобное для вычисления вспомогательное средство. В таком случае допущение подобных ионов оправдывается уже их целесообразностью»<sup>12</sup>.

Казалось бы, правильная теория, в какой-то исторический период может быть так же отброшена и забыта, как и, казалось бы, неправильная. Однако возвращение к той или другой равно возможно в истории науки<sup>13</sup>. Так, например, случилось с электрохимической теорией органических соединений, проигравшей в споре между её приверженцем Я. Берцелиусом и её противником Ш. Жераром.

«В самом деле, — пишет С. В. Месяц, — если сравнить две теории не на всей области их применимости, а ограничиться лишь теми эмпирическими фактами, которые одинаково хорошо описываются обоими, то, пожалуй, не-

<sup>9</sup> Там же. С. 38.

<sup>10</sup> Больцман Л. О неизбежности атомистики в естественных науках. // Больцман Л. Статьи и речи. — М., 1970. С. 131.

<sup>11</sup> Больцман Л. Избранные труды. — М., 1984. С. 363.

<sup>12</sup> Цит. по: Соловьев Ю. И. История учения о растворах. — М., 1959. С. 262.

<sup>13</sup> См. Родный Н. И. Очерки по истории и методологии науки. — М., 1975. С. 170.

возможно будет решить, какая же из них лучше. Возьмём, к примеру, описание падения камня на землю в механике Ньютона и в теории относительности, или описание движения математического маятника у Аристотеля и у Галилея. Если ограничиться только этими фактами, то аргументированного спора о преимуществах той или иной теории не получится. На одно и то же явление сторонники разных теорий будут смотреть как бы разными глазами. Это похоже на видение нового аспекта в гештальтпсихологии, когда прежние очертания складываются в совершенно неожиданную фигурку. Человеку, не видящему новый аспект, объяснить его практически невозможно. Для этого необходимо самостоятельное переключение зрения»<sup>14</sup>.

В качестве одного из типов классификации научных теорий Г. И. Рузавин выделяет такой, в котором различаются (А) стохастические (вероятностно-статистические) и (В) динамические теории. В теориях «В» «законы представляют универсальные утверждения, характеризующие поведение любой динамической системы точно определённым способом», а описание процессов сводится к упрощению и схематизации («жесткий» детерминизм в классической механике). В теориях «А» «законы характеризуют поведение не каждого объекта в исследуемом классе явлений, а некоторое свойство или признак, присущий классу объектов в целом», для выявления степени возможности которого приходится использовать вероятностные понятия и методы («мягкий» детерминизм в квантовой механике)<sup>15</sup>.

«Нет другой такой науки, в которой индуктивный процесс можно было бы распознать в столь незамутнённой форме и в столь ясной последовательности его отдельных стадий», — писал о химии В. Вундт. Индукция, по Либиху, что ведома фантазией, созерцает и творит, но она неопределённа и безмерна; направляемая же разумом, дедукция анализирует и ставит пределы; она определённа и измерима<sup>16</sup>.

Первая (В) даёт результаты качественного характера, тогда как вторая (А) — количественного. Последняя, кстати, наиболее характерна для математики и теоретической физики. Однако и эти науки эвристичны не столько в силу дедуктивных суждений, сколько в силу дедуктивно-эстетического стиля мировосприятия, не позволяющего их чрезмерной инструментализации. Либих, например, как представитель «В», боялся «А».

Якоб Вант-Гофф, сравнивая физику и химию, считал, что если «физика — главным образом наука об изменении силы или, вернее, соответствующего ей вида работы», то «химия — наука об изменениях материи»<sup>17</sup>.

<sup>14</sup> Месяц С. В. Современная физика — правдоподобный миф? // Границы науки. — М., 2000. С. 141–142.

<sup>15</sup> См. Рузавин Г. И. Научная теория. Логико-методологический анализ. — М., 1978. С. 36–37.

<sup>16</sup> См. Родный Н. И. Очерки по истории и методологии естествознания. — М., 1975. С. 190–191.

<sup>17</sup> Вант-Гофф Я. Развитие точных естественных наук в девятнадцатом веке. // Добротин Р. Б., Соловьев Ю. И., Вант-Гофф. — М., 1977. С. 248.

Так, в своей «Истории электрохимии» В. Оствальд, различая *количественный (А) и качественный (В) стили*, относил к «классикам», новаторам и индивидуалистам (интровертам) (А) Кавендиша, а к «романтикам», консерваторам и коллективистам (экстравертам) (В) Пристли. Первый сделал мало по объёму, но много по глубине, а второй — наоборот.

Стили в химии особенно ярко прослеживаются там, где встречаются различные интерпретации одних и тех же эмпирических данных. Так, Л. Мейер писал о дискуссиях второй половины XIX века: «Если где-либо встречалась формула  $H_2O$ , то следовало выбирать, означает ли она воду или же перекись водорода;  $C_2H_4$  означало — смотря по тому, к какому лагерю принадлежал автор, — либо болотный газ, либо этилен...»<sup>18</sup>.

В картине химических превращений, которая складывалась на рубеже XVII–XVIII вв., Р. Бойль (А) подчёркивал «относительность неразложимости веществ, их изменчивость, разложимость в принципе», а Г. Э. Шталь (В), «основываясь на ньютоновской концепции сил притяжения между веществами, исходил из эмпирически определяемой различной степени устойчивости, неразложимости веществ и с помощью этого дал их классификацию на основные типы»<sup>19</sup>.

В вопросе о причине испарения жидкостей (прежде всего воды) в атмосферу и о взаимной диффузии газов вообще прослеживались следующие позиции: (А) Д. Дальтон отвергал наличие сил сродства между водой и воздухом, в силу которых происходит якобы испарение воды и выдвигал «механическую теорию испарения», согласно которой «частицы воды отталкиваются друг от друга и отрываются от поверхности жидкости, переходя в парообразное состояние» без присутствия воздуха; он считал, что у частиц каждого вещества есть свои особые *отталкивательные силы*; (В) К. Л. Бертолле считал, что одни газы способны «растворять» другие, подобно тому, как вода растворяет соль или сахар и выдвигал «химическую теорию растворения», согласно которой между водой и воздухом имеется сродство, *особые силы притяжения*<sup>20</sup>.

В молекулярной теории начала XIX в. встретились — в стилевом плане — (А) закон кратных отношений Д. Дальтона и (В) закон объёмных отношений Ж. Гей-Люссака. «Если закон кратных отношений Дальтона относился к соотношению масс реагирующих веществ, то закон Гей-Люссака устанавливал простые кратные отношения между объёмами реагирующих газов»<sup>21</sup>. У Дальтона частицы как атомы неделимы, а у Гей-Люссака частицы, как со-

<sup>18</sup> Цит. по: Полицук В. Р. Чувство вещества. — М., 1981. С. 116.

<sup>19</sup> См. Вихалем Р. А. Понятие научности и социальная детерминация формирования науки (на материале истории химии). // Наука в социальных, гносеологических и ценностных аспектах. — М., 1980. С. 358.

<sup>20</sup> См. Кедров Б. М. Объективная основа научных дискуссий. // Роль дискуссий в развитии естествознания. — М., 1986. С. 43

<sup>21</sup> Соловьев Ю. И. История химии: Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. — М., 1983. С. 144.

стоящие из молекул, делимы. Дальтон делал акцент на *весовых* пропорциях, а Гей-Люссак на *объёмных*.

В 20–30-х гг. XIX в. по проблеме объяснения «внестехиометрического вмешательства» катализаторов в химические процессы (А) Г. Дэви и Л. Тенар объясняли роль катализаторов как чисто *физических* посредников и придерживались идеи М. Фарадея об адсорбции как *обратимом* процессе, а (В) Ю. Либих и Э. Митчерлих — как *химических* посредников<sup>22</sup>.

В качестве пояснений данных позиций следует вспомнить, что если (А) физически выделенная молекула, описываемая *физическими* методами, молекула, относительно которой известны силы, действующие на неё, рассматриваются чаще всего изолированно, отдельно, то (В) химия занимается не одной молекулой, а всегда, как минимум, двумя, имея ввиду взаимодействие, изменение<sup>23</sup>. Т. Б. Романовская отмечает прагматичность обоих стилей: *представители (А)* (редукционисты) стремятся к точности с помощью языка (категориальной системы) физики, а *представители (В)* (антиредукционисты) хотят сохранить проверенную опытом эвристичность химических понятий, языка (категориальной системы) химии и максимально возможную полноту описания явлений<sup>24</sup>.

В конце 70-х — начале 80-х гг. XIX века в вопросе об общности периодического закона химических элементов обозначились два подхода: (А) «*изоляционистский*»: Л. Ф. Нильсон и С. О. Петтерсон рассматривали отдельный элемент (бериллий) изолированно от его соседей по общей системе и определили его *тёплёмкость* и, по закону Дюлонга и Пти, вывели его атомный вес равный 13,5; (В) «*системный*»: Д. И. Менделеев и Б. Браунер считали, что каждый элемент нужно рассматривать с учётом соседних, и потому атомный вес бериллия равен 9,1<sup>25</sup>.

В вопросе об осмотическом давлении Я. Вант-Гофф также занимал позицию (А), когда в противоположность позиции (В) Л. Мейера абстрагировался от природных причин этого давления и, пользуясь формальной аналогией его действия в растворах и газах, больше внимания обращал на его величину<sup>26</sup>.

В 1892 г. Я. Вант-Гофф писал: «Мы ещё раз встречаемся с бесплодным, в сущности, вопросом о том, чем вызывается осмотическое давление. На самом деле, как уже было подчёркнуто, меня занимает, в конце концов, только его величина, а так как последняя оказалась равной величине газового давления, то склонны думать, что и механизм осмотического давления подобен

<sup>22</sup> См. Кузнецов В. И. Научные дискуссии в химии на страницах журналов. // Роль дискуссий в развитии естествознания. — М., 1986. С. 169–170.

<sup>23</sup> См. Романовская Т. Б. Объективность науки и человеческая субъективность, или в чём состоит человеческое измерение науки. — М., 2001. С. 67.

<sup>24</sup> Там же. С. 81–83.

<sup>25</sup> См. Кедров Б. М. Объективная основа... С. 45.

<sup>26</sup> См. Добротин Р. Б., Соловьев Ю. И. Вант-Гофф. — М., 1977. С. 161–165.

тому, какой мы находим в случае давления газа. Однако пусть тот, которого этот взгляд смущает, попросту оставит совершенно в стороне вопрос о самом механизме явления»<sup>27</sup>. Для развития теории достаточно придерживаться лишь указанной мною аналогии. То есть в «идеальном случае бесконечного разбавления мы будем вправе рассматривать осмотическое давление, как явление кинетического характера, и тогда мы получим такую простую картину соответствия его с газовым явлением»<sup>28</sup>.

В проблеме наглядности структурных формул химического строения на заре квантовой химии определились две модели: (А) *ядерно-электронная (расчётно-схематическая, неклассическая)* модель молекулы; (В) *атомная (структурно-формулируемая, классическая)* модель молекулы. Чем обусловлен тот или иной выбор?

«Основные философские, гносеологические ошибки теории резонанса, — пишет Р. В. Гарковенко, — были связаны не с использованием...приближённого метода квантово-механических расчётов электронной структуры молекул, а с неправомерными попытками интерпретировать этот познавательный приём воспроизведения образа конкретной молекулы путём наложения валентных схем как процесс физического взаимодействия, резонанса различных объективных структур. Причём даже признавалось, что свойства соответствующих веществ обуславливаются взаимодействием этих структур. Известную психологическую роль в этой неправомерной объективизации расчётных схем сыграло, видимо, и то обстоятельство, что химикам, воспитанным на наглядности структурных формул химического строения и даже порой отождествлявшим их с реальными молекулами, необычайно трудно было смириться с утратой этой наглядности в отражении электронного строения молекул. И они невольно стремились используемые здесь вспомогательные расчётные модели интерпретировать по-старому, в духе классических структурных формул, придать им привычную форму наглядности, опредметить их, забывая, что валентные схемы — это научные абстракции и модели совершенно иного рода, иного уровня. Здесь отношения научная абстракция — объективная реальность гораздо сложнее и опосредованнее»<sup>29</sup>. То есть представители (В) пытались увидеть в не наглядных моделях (А) привычную наглядность классических структурных формул (В) химического строения.

Вот пример боязни рискнуть и отказаться от привычных научных стереотипов. «С 1949 по 1967 г. не было опубликовано никаких сведений о теоретических предсказаниях или экспериментальных попытках получения нептуния или плутония в семивалентном состоянии. Вывод об отсутствии

<sup>27</sup> Цит. по: Соловьев Ю. И. История учения о растворах. М., 1959. С. 220.

<sup>28</sup> Цит. по: там же. С. 220.

<sup>29</sup> Современные проблемы теории познания диалектического материализма. Том I. Материя и отражение. М., 1970. С. 202.

у трансуронов валентности более высокой, чем VI, не вызывал у химиков никаких сомнений. Показательная в этом отношении работа немецких исследователей К. Келлера и др., опубликованная в 1965 г. Нагревая в токе кислорода двуокись нептуния с окисью лития, авторы получили вещество тёмно-зелёного цвета и обнаружили, что оно имеет оптический спектр, нехарактерный для известных соединений нептуния. Будучи уверенными, что валентности более высокой, чем VI, у трансуронов быть не может, авторы без колебаний приписали полученный спектр соединению шестивалентного нептуния нового состава. После открытия в 1967 г. советскими радиохимиками Н. Н. Кротом и А. Д. Гельман семивалентного состояния нептуния и плутония, К. Келлер и Г. Зайфферт опубликовали поправку к своей статье и сообщили, что полученное ими ранее вещество является в действительности соединением семивалентного нептуния, так как спектр вещества совпадает со спектрами, полученными Н. Н. Кротом и А. Д. Гельман для растворов нептуния в новом окисленном состоянии. Таким образом, немецкие исследователи ещё до действительного открытия семивалентного нептуния случайно получили его соединение, но, находясь в плену установившихся взглядов, сделали ошибочный вывод из своих правильных экспериментальных результатов»<sup>30</sup>.

К середине 80-х гг. XX в. в советской философии науки было две точки зрения по проблеме «сведения» химии к физике: (А) за «сведение» выступали А. И. Китайгородский, М. В. Волькенштейн, А. А. Печенкин и др.; (В) против «сведения» — Б. М. Кедров, Ю. А. Жданов, Г. А. Скоробогатов и др.

(А) *Сторонники «сводимости»* считают, что возможно «расчётным путём предсказывать и описывать химические свойства любых молекулярных систем на основе конечного числа физических законов, в первую очередь квантово-механических»<sup>31</sup>. И ставка здесь делается на возможности мощных компьютеров, с помощью которых можно аксиоматизировать все известные законы физики, когда сбудется мечта об «окончательной теории». При этом некоторые сторонники физикализма придерживаются умеренных взглядов и следуют теории химического катастрофизма. В этом плане показательна «гипотеза о спонтанном синтезе высокомолекулярных соединений в зёрнах межзвёздной пыли при сверхнизких температурах в результате квантово-механического туннелирования химических реакций — гипотеза «холодной» химической и пребиотической эволюции»<sup>32</sup>.

(В) *Сторонники «несводимости»* утверждают, что особенность химии в том, что она рассматривает не элементарные физические закономерности, а «факт существования в природе химической эволюции (специфических,

<sup>30</sup> Петрухин В. Ф. Открытие и изучение семивалентного состояния нептуния и плутония. // Учение о радиоактивности. История и современность. М., 1973. С. 228.

<sup>31</sup> Курашов В. И., Соловьев Ю. И. О проблеме «сведения» химии к физике. // Вопросы философии, 1984. № 6. С. 97.

<sup>32</sup> Там же. С. 96.



целесообразных процессов усложнения химических структур вплоть до возникновения сложнейших предбиологических образований)»<sup>33</sup>. Например, А. И. Опарин указывает на два этапа развития углеродистых соединений: химический и предбиологический. Ю. А. Жданов обращает внимание на палеонтологию химических соединений, и в частности на обнаруженные современной космохимией в составе межзвёздной среды соединений типа сложных эфиров, органических кислот, аминокислот и пр. Одним из аргументов в пользу химического эволюционизма служит то, что «вероятность случайного возникновения молекулы ДНК за всю историю Земли оценивается значением  $10^{-800}$ <sup>38</sup>. Так же мала и вероятность спонтанного образования белковой молекулы» и необходимо сопутствующих ей ферментов<sup>34</sup>.

«Физические формы движения материи не содержат, как нам известно, — пишут В. И. Курашов и Ю. И. Соловьев, — никаких определённых свойств, которые могли бы обеспечить долговременное и целесообразное усложнение какой-либо системы»<sup>35</sup>. Для сторонников (В) сомнительной оказывается и мечта об «окончательной теории». Здесь они в качестве контраргумента выдвигают доказанную К. Гёделем теорему о неполноте всяких финитных дедуктивных систем, об ограниченности познавательных возможностей сколь угодно обоснованных, но конечных по численности универсальных законов.

## 2.

### Методика изучения отдельных тем по истории химии

---

<sup>33</sup> Там же. С. 96.

<sup>34</sup> Там же. С. 96.

<sup>35</sup> Там же. С. 97.

## 2.1. Личностно-значимый подход: выбор и проживание стилей

Сейчас те немногие, кто пишут о педагогической теории и практике, ещё не разобравшись с понятием «личностно-ориентированное», стали использовать понятие «личностно-значимое» в отношении подходов и методов в школьном образовании. Эти понятия обуславливают друг друга: одно делает акцент на характере доверительного, поддерживающего общения в познании мира, в изучении темы учебного предмета, а другое — на характере внутренне мотивированного заинтересованного познания в таком общении. Личностно-ориентированный подход предполагает вчувствование в индивидуальный стиль ученика, эмпатическое понимание его мотивов, чувств и мыслей. Личностно-значимый подход предполагает создание таких педагогических условий, использование таких методик, при которых сам ученик выбирает тот стиль познания и его характерные черты, что вызывают внутренний интерес, отклик в его душе, морфодинамическое узнавание. То есть он готов что-то осваивать потому что чувствует это своим, а изначально чужое ему осваивает постольку, поскольку временно может принять роль чужого.

Проецируя отдельные элементы и целостную структуру своего внутреннего мира на воспринимаемый стиль или природный объект, ученик наделяет его своими значимыми смыслами, находит в его структуре, морфодинамике и поведении сходство со своими биографически-значимыми сценами жизни. Происходит процесс субъективизации и отождествления, встречи, который превращает «Я — Оно отношение» в «Я — Ты отношение» к объекту. Объект становится «персонажем», встреча — «гносеодрамой».

В ситуации гносеодраматической встречи стиль или природный объект, — как и любой другой, — становится для личности своеобразным зеркалом, отражающим значимые смысловые слои внутреннего опыта воспринимающего и одновременно являющим собственную сущность, структуру и морфодинамику поведения. При этом появляется возможность не только для психотерапевтического самопонимания и самопрятия, катарсиса и психосинтеза, но и для внутренне мотивированного понимания и объяснения объективно-ного иного, для «субъектно-непрагматического» (С. Д. Дерябо, В. А. Ясвин)<sup>1</sup> и

<sup>1</sup> Дерябо С. Д., Ясвин В. А. Экологическая педагогика и психология. — Ростов-на-Дону, 1996.

неинструментального отношения к нему. При встрече с природным объектом как персонажем и вхождении в игровой образ этого персонажа человек вольно или невольно пытается установить гносеозологическую дистанцию по отношению к объекту, пытается найти ту позицию, с которой и «фон», и «фигура», и личностно-значимое, и объективное воспринимались бы достаточно отчётливо. Такую позицию, как правило, занимает хороший актёр по отношению к исполняемому им на сцене персонажу. В гносеологическом плане эту позицию можно считать и эстетической, и экоцентрической.

В методике изучения отдельных тем по истории химии такой подход осуществляется прежде всего в заданиях, связанных с объединением учащихся в группы по стилям (сторонники «А» и сторонники «В»: например, «ионисты» и «гидратисты») и с инсценировками фрагментов из истории химии, где действуют персонажи, являющиеся представителями стилей, дискутирующих сторон.

Вот примеры заданий:

### 1.

Выберите из двух стилей «А» и «В», представляющих соответственно сторонников теории кислорода и теории флогистона тот стиль, который ближе вашему личному характеру или же тот, который вам чужд, но вы хотите поближе узнать его.

Характерные черты «А»	Характерные черты «В»
Аналитическое, неоднородное, определённое, независимое, сложное, «небесность» горючего элемента, французское, математическое	Синтетическое, однородное, неопределённое, зависимое, простое, «земли-стость» горючего элемента, немецкое, английское, химическое, физическое

Объединитесь с теми, кто выбрал такой же стиль, и создайте исследовательскую группу.

*(Уже после того, как объединились, выясняется, что те, кто оказались в «А» — группа сторонников теории кислорода, а те, кто в «В» — группа сторонников теории флогистона.)*

### 2.

Внимательно ознакомьтесь с историческим текстом.

Напишите сценарий к тексту. Определяя роли, можно использовать не только основные исторические персонажи, указанные в тексте, но и добавить в соответствии с содержанием какие-то ещё. Их можно найти в исходном «большом» тексте по истории спора теорий в химии, или же можно ввести роль «комментатора», используя тот же исходный текст.

Распределите роли.

Поставьте сценку согласно историческому тексту.

Конечно, это всего лишь примеры, вырванные из контекста, для демонстрации личностно-значимого подхода.

## 2.2. Стиле-ролевой диалогический подход

Диалогический подход в образовании насчитывает хоть и длительную, но достаточно прерывистую историю. Конечно, вспоминаются и «сократические диалоги» в произведениях Платона, и средневековые диспуты, наряду с дидактическими текстами, выстроенными в виде диалога, и философия диалога М. Бубера, М. Бахтина и В. С. Библера. Но везде речь идёт о разных функциях диалога. Так, провоцирующие («майевтические») рефлексивное и диалектическое (порой софистское) мышление у ученика диалоги Сократа отличаются от теологических споров в рамках аристотелевской логики в схоластических диалогах, а экзистенциальный диалог-отношение «Я-Ты» у Бубера, подразумевающий равную эмпатию сторон, отличается от диалога разных возрастных и культурных «Я» с самим собой в начальной школе, а затем и с историко-культурными логиками у В. С. Библера в «Школе диалога культур» (ШДК)<sup>2</sup>.

В методику ШДК закладывалась идея такой организации учебного процесса, «когда не просто спорят логики между собой, а в этом споре логик между собой осуществляется спор различных культур, различных форм самодетерминации человека, различных форм выявления возможностей бытия» (В. С. Библер). В ШДК акценты ставятся на синхронности (рефлексивно-феноменологический аспект «здесь и сейчас») и асинхронности (возрастной аспект) в индивидуальном диалоге «я-логик» и асинхронности в историческом диалоге «культур-логик». В нашей же методике акценты ставятся на выстраивании диалога синхронных стилей научного мышления в рамках конкретно-исторических дискуссионных тем, будь то химия, физика, биология, математика и т.д. Конечно, есть и асинхронность, когда мы смотрим на дискутирующие в прошлом стороны из современности. Здесь нет жёсткости в подходе, поскольку речь не идёт о максимально точной исторической реконструкции научных дискуссий (хотя это могло бы стать деятельностью какого-то факультативного клуба).

Как уже говорилось выше, для того, чтобы принять, освоить не только близкий себе стиль научного мышления и интерпретации знаний, но и чу-

<sup>2</sup> См.: Библер В. С. Школа диалога культур. // Советская педагогика, 1988. № 11. С. 29–34;  
Библер В. С. Диалог культур и школа XXI века // Школа диалога культур. Идеи. Опыт. Проблемы. – Кемерово, 1993. С. 9–106;  
Курганов С. Ю. Ребёнок и взрослый в учебном диалоге. – М., 1989.

гой, требуется специальная техника смены ролей. Да, опять игра, но эта игра моделирует серьёзные научные дискуссии, постигая которые учащиеся смогут прожить и осознать реальные знания. Поэтому так важны игровые роли по принятию того или иного стиля. Таким образом, здесь речь идёт о стиле-ролевой диалогике в дидактике школьного образования. И важно не заикливаться на принятии роли сторонника какого-то лишь одного стиля, а необходимо пребывать в ритмичной смене стилей через новые роли.

В данной методике такой подход позволяют осуществить задания, связанные как с подготовкой к дискуссии сторон, когда нужно знакомиться не только со своими аргументами (на основе теории и экспериментов), но и возможными аргументами оппонента, так и с инсценировками, о которых уже говорилось.

При этом нужно соблюдать правила ведения спора-диалога, чтобы он стал не разъединяющим, а понимающим. Вот примеры таких правил из книги М. В. Кларина «Инновации в мировой педагогике» (Рига, 1995)<sup>3</sup>:

1. Я критикую идеи, а не людей.
2. Моя цель не в том, чтобы «победить», а в том, чтобы прийти к наилучшему решению.
3. Я побуждаю каждого из участников к тому, чтобы участвовать в обсуждении и усваивать всю нужную информацию.
4. Я внимательно выслушиваю соображения каждого, даже если я с ними не согласен(на).
5. Я пересказываю (делаю парафраз) то, что мне не вполне ясно. («Если я вас правильно понял, вы утверждаете, что...»).
6. Я сначала выясняю все идеи и факты, относящиеся к обеим позициям, а затем пытаюсь совместить их так, чтобы это совмещение давало новое понимание проблемы.
7. Я стремлюсь осмыслить и понять оба взгляда на проблему.
8. Я изменяю свою точку зрения тогда, когда факты дают на это ясное основание. (Хотя, конечно, идеальная ясность не всегда достижима.)

<sup>3</sup> См. Кларин М. В. Инновации в мировой педагогике: обучение на основе исследования, игры и дискуссии. (Анализ зарубежного опыта). – Рига, 1995. С. 158.

## 2.3. Модульный подход: форматы «микропогружений»

Модульный подход позволяет не только расширить рамки традиционного урока, но и привнести вариативность и комбинирование форматов учебных занятий, особенно, если они строятся на основе личностно-значимого и стиле-ролевого диалогического подходов. На традиционном уроке, как правило, можно дать лишь порцию новой информации и содержательно пообщаться с 3–5-ю хорошистами, да и то в весьма краткой вопрос-ответной форме. Один урок всё же тесноват для предлагаемой нами методики, и поэтому мы остановимся на трёх модульных форматах: малом, среднем и большом.

Прежде чем перейти к содержанию и организации модулей, следует обратить внимание на расстановку учащихся в помещении. Если следовать данной методике, то мебель в учебном помещении должна быть мобильной, поскольку её придётся переставлять под условия выполнения различных заданий.

Исходной для работы в двух группах может быть такая организация пространства:



### 2.3.1. Сдвоенный урок

#### Вариант № 1 «малый» (рассчитан на 2 урока по 45 минут)

Учебная группа – 30 чел.

У каждого учащегося на руках рабочие тетради «Диалогика стилей в науке. Химия». (Комментарий. Для удобства многоразового использования можно сделать ксерокопии рабочей тетради, чтобы учащиеся могли делать в них пометки, подчёркивания и т.д.)

#### План занятия:

(Комментарий. Надо сразу иметь в виду, что сдвоенный урок не будет прерываться на традиционную перемену. Об этом учитель должен заранее предупредить учащихся. Хотя возможно сделать перерыв между п.4 и п.5.)

1. Вводное слово учителя (о целях и задачах занятия; краткий рассказ о предпосылках дискуссии и её последующем значении для химической науки). — 10 мин.

2. Учитель предлагает всем открыть рабочие тетради и выполнить первое задание. Задание:

«Выберите из двух стилей «А» и «В» (характерные черты указаны в таблице), представляющих соответственно сторонников изучаемых теорий, тот стиль, который ближе вашему личному характеру или же тот, который вам чужд, но вы хотите поближе узнать его. Объединитесь с теми, кто выбрал такой же стиль, и создайте исследовательскую группу.

В классе появятся две группы: сторонников теории «А» и теории «В». — 5 мин. (Комментарий. Группы окажутся неравными по количеству человек, но это не должно вас смущать. Важно, чтобы учащиеся могли реализовать свой выбор исходного для них стиля.)

#### 3. Задание:

«Разбейтесь в своих группах по два человека. Это небольшие исследовательские лаборатории (не опытные!). В каждой такой лаборатории из 2-х чел. один должен индивидуально найти и прочитать в рабочей тетради только ту часть текста по истории химии, которая представляет теорию сторонников стиля всей своей исследовательской группы, а другой — только ту часть текста, которая представляет теорию другой исследовательской группы, другого, не выбранного вами стиля».

Учащиеся читают текст. — 20 мин.

#### 4. Задание:

«В лабораториях из двух чел. расскажите друг другу то, что удалось каждому узнать из своей части прочитанного текста. Таким образом, вы узнаете и о теории «А» и о теории «В».

Рассказывают. — 10 мин.

#### 5. Задание:

«Подготовьте от вашей исследовательской группы схематическую презентацию, демонстрационную модель, где были бы представлены вами понятые аргументы сторонников «А» и «В».

Готовят. — 30 мин.

6. Выступления с презентациями от групп «А» и «В». — 10 мин.

7. Подведение итогов. *Заключительное слово учителя.* — 5 мин.

## 2.3.2. Учебный день

### Вариант № 2 «средний» (рассчитан на один учебный день)

Учебная группа — 30 чел.

У каждого учащегося на руках рабочие тетради «Диалогика стилей в науке. Химия». (*Комментарий.* Для удобства многоразового использования можно сделать ксерокопии рабочей тетради, чтобы учащиеся могли делать в них пометки, подчёркивания и т.д.)

#### План работы:

1. «Малый» модуль (вар. № 1 п.п. 1–7). — 90 мин.

2. *Выполнение творческих заданий* (постановка сценок) на основе специальных текстов в рабочих тетрадях. Для этого каждая группа (напр., 15 чел.) разбивается либо на 3 подгруппы по 5 чел., чтобы поставить 3 сценки соответственно, либо на 5 подгрупп по 3 чел., чтобы поставить 5 сценок соответственно. Через сценки обе группы знакомятся с историко-стилевыми теоретическими позициями дискутирующих сторон. — 45 мин.

(*Комментарий.* При подготовке и показе сценок важно не столько соблюдение театрально-эстетических принципов, сколько реальное проживание научного содержания, социокультурного и гуманитарного контекста каждым учащимся в подгруппе.)

3. *Показ сценок.* В зависимости от разбивки на подгруппы выступают либо 6 подгрупп, либо 10 подгрупп. Соответственно на один вариант показа уйдёт примерно 30 мин., а на другой — 50 мин.

4. *Работа в опытных лабораториях* (проведение экспериментов, заполнение «лабораторных журналов» в рабочей тетради). В лабораторных журналах даётся методика опыта, задания на понимание, учащиеся делают выводы. Перед началом работы в лабораториях помещение делится на две части: в одной будут проводить опыты сторонники теории «А», а в другой — «В».

*Работа по лабораториям может быть организована в двух вариантах:*

- 1 вар. «классический»: учащиеся располагаются за партами по 2 чел. — это их лаборатория, где один может ставить опыт, а другой записывать данные наблюдений и выводы в лабораторный журнал; по мере выполнения работы учитель и лаборант меняют на парте оборудование для опыта;
- 2 вар. «вертушка»: на отдельных столах (количество столов соответствует количеству опытов) размещается оборудование для опытов, а учащиеся, разбившись на «бригады» (количество «бригад» соответствует количеству опытов), с каждым выполнением работы переходят от одного лабораторного стола к другому. — 90 мин.

(*Комментарий.* Поскольку во 2 варианте скорость выполнения работ у «бригад» может оказаться разной, то возможны моменты ожидания того, пока освободится какой-то лабораторный стол.)

5. Подведение итогов. *Заключительное слово учителя.* — 10 мин.

## 2.3.3. Три учебных дня

### Вариант №3 «большой» (рассчитан на три (два) учебных дня)

Учебная группа — 30 чел.

У каждого учащегося на руках рабочие тетради «Диалогика стилей в науке. Химия». (*Комментарий.* Для удобства многоразового использования можно сделать ксерокопии рабочей тетради, чтобы учащиеся могли делать в них пометки, подчёркивания и т.д.)

#### План работы:

##### Первый день

1. «Средний» модуль (вар. № 2 п.п. 1–5).

##### Второй день

1. *Вводное слово учителя* (о целях и задачах дня). — 10 мин.

2. *Подготовка и проведение дискуссии* между сторонниками «А» и «В» по моделям «учебный спор-диалог»<sup>4</sup> или «дебаты»<sup>5</sup> или подобным им. — 180 мин.

(*Комментарий.* Поскольку формы дискуссий в методической литературе прописаны достаточно подробно, мы ограничились ссылками на неё. Стоит

<sup>4</sup> Там же. С. 154–162.

<sup>5</sup> Светенко Т. В. Путеводитель по дебатам // Дебаты. Учебно-методический комплект. — М., 2001. С. 3–167. См. Интернет-ресурс: <http://debater.ru/ab2-formats9.htm>

лишь специально отметить, что для того, чтобы придерживаться «понимающего диалога» в дискуссии, важно обратить внимание на такое правило, как перефразирование. Например, обращаясь к оппонентам, учащиеся всегда должны начинать со слов «Если я вас правильно понял, вы утверждаете, что...» (перефразирование аргументов оппонента), а затем, представляя аргументацию своей группы, — «На основании (таких-то) экспериментально доказанных фактов и/или умозаключений, мы считаем, что...». Поскольку дискуссия уже посвящена определённой теме из истории химии, то перед началом дискутирующим сторонам важно с помощью «мозгового штурма» набросать более конкретные проблемные вопросы для дискуссии на основе тех материалов, что были изучены в первый день).

3. Возможна поездка в краткосрочную экспедицию на заводы, технологические предприятия, НИИ для соотнесения исторической темы по химии с современностью (учащиеся получают вопросы, ответы на которые ищут в местах посещения; эти ответы отыгрываются в ролевой игре на третий день).

Если поездка по каким-то причинам невозможна, то можно посмотреть научно-популярный фильм по изучаемой теме (перед просмотром учащиеся так же получают вопросы, ответы на которые находят в ходе просмотра, а затем участвуют в обсуждении увиденного и понятого). — 180 мин.

(Комментарий. Важно только, чтобы поездки не превратились в монологические экскурсии, а стали поводом для самостоятельного исследования учащимися мест посещения, для диалога между учащимися и представителями производств и институтов.)

5. Подведение итогов дня. *Заключительное слово учителя.* — 10 мин.

### ТРЕТИЙ ДЕНЬ

1. *Вводное слово учителя* (о целях и задачах дня). — 10 мин.

2. Ролевая игра, в которой отыгрываются знания, полученные в предыдущие два дня (тексты, вопросы к текстам, задания в лабораториях и т.д.). — 360 мин.

\*\*\*

В качестве примера модели ролевой игры можно предложить ту, что была разработана учителями частной школы «Эпишкола» (Образовательный центр «Участие», СПб.) Г. В. Виденковой, Е. В. Гордиенко, В. А. Куницкой для межпредметного интегративного «погружения» «Гидросфера»<sup>6</sup>.

Разумеется, вместо воды может фигурировать воздух, электролит в аккумуляторной батарее и т.п.

<sup>6</sup> См. Пузыревский В. Ю., Эпштейн М. М. Межпредметные интегративные погружения. Из опыта работы «Эпишколы» Образовательного центра «Участие». — СПб.: Школьная лига, 2012. С. 34–52.

## ИГРА «РЫНОК ВОДНЫХ ЗНАНИЙ» (ИЛИ «ВОДНЫЙ БИЗНЕС»)

*Основные помещения:* место для общего сбора, места для работы команд, «Сухая скупка», «Магазин подсказок», «Мокрая база».

*Основные этапы:*

- 1) Изготовление молекул воды;
- 2) Вопросы в обмен за молекулы и получение жетонов за ответы;
- 3) Покупка задач и получение строительных материалов;
- 4) Изготовление плавательных средств;
- 5) Испытания плавательных средств.

*Ход игры:* Участники разбиваются на команды. Каждая команда за определённое время с помощью пластилина и спичек изготавливает молекулы воды, следуя правилам стереохимии и теории химического строения. Затем с этими изделиями они приходят на пункт, который называется «Сухая скупка». Здесь они меняют свои молекулы воды на вопросы (см. Приложение)<sup>7</sup> с тематической информационной стены, которые там вывешены ещё до начала «погружения». За правильный ответ представители команды получают специальный жетон: за сложный вопрос — «галлон» (3,785 л); за средний — «пинту» (0,47 л); за лёгкий — «унцию» (29,57 мл). Чем больше команда наберёт таких жетонов, тем больше покупок она сможет сделать.

Дальше участники направляются на пункт под названием «Магазин подсказок», где за свои жетоны приобретают специальные задачи (по географии, физике и химии), подготовленные организаторами «погружения» и актуализирующие учебный материал лабораторий первого дня. Важно и то, что в «Магазине подсказок» за «галлон» можно купить лёгкую задачу, а за «унцию» — только сложную. Участники об этом правиле знают заранее и поэтому на «Скупке» и в «Магазине» поступают соответственно выбранной в команде стратегии. Решив правильно купленную задачу, они получают элемент (материальную деталь), необходимый для сооружения плавательного средства, которое должно в последующем пройти испытание в лабораторном «корыте», заполненном водой. Чем лучше участники решают приобретённые за жетоны задачи, тем больше деталей и материалов (скотч, булавки, деревянные пробки, полиэтилен, коктейльные трубочки, пластилин, ножницы, бумага и т.п.) они получают для сооружения плавательного средства. Но для чего выдаются в «Магазине» продавцами (их роли исполняют учителя) те или иные детали и материалы участники первоначально не знают и поэтому в результате команда оказывается хоть и с необходимым, но достаточно случайным набором вещей.

<sup>7</sup> Там же. С. 34–52.

Ещё одним способом «заработать» жетоны служили задания на пункте под названием «Мокрая база». На этой «базе» участнику, одетому в специальный плащ, нужно за 15 секунд набрать как можно больше самых лёгких вопросов игры, преодолев расстояние от входной двери до стола с ними под брызгами «разъярившейся воды» (в роли поливальщика выступает учитель). Собрав вопросы (желательно, чтобы они не промокли), участник отправляется в «Сухую скупку». Там, отвечая на эти вопросы, он получает «унции».

Через определённое время организаторы останавливают процесс сбора командами деталей и материалов и объявляют о начале этапа сооружения плавательных средств. Организаторы сообщают о требованиях к изделиям: устойчивость на воде, непромокаемость, длительная плавучесть. Этим, кстати, также актуализируются знания по физике и химии, полученные во время занятий в лабораториях первого дня.

После окончания времени этого этапа участники переходят к этапу «стендовых испытаний». Каждая команда помещает своё плавательное средство в «корыто» с водой, а на него помещают определённый груз (весовые гири). Этим проверяется плавучесть и устойчивость плавательных сооружений, выполненных участниками.

Ещё одним вариантом модели может быть игра-путешествие по «мирам», как это было представлено в межпредметном интегративном «погружении» «Работа с информацией» (авт. М. А. Киско, Р. А. Архипов, В. Ю. Пузыревский и др.)<sup>8</sup>. В тематике же дискуссий в истории химии это могут быть «химический» (например, кислород), «исторический» (например, Франция и Англия конца XVIII в.), «персональный» (например, А. Лавуазье и др.), «издательский» (например, научные журналы и книги той эпохи), «промышленный» (например, о металлургических заводах той эпохи) и т. п. миры.

<sup>8</sup> См. Эпитейн М., Пузыревский В. Межпредметное интегративное погружение: как его организовать и провести. – М., 2009. С. 13–32.

## 2.4. Рабочая тетрадь для учащихся как путеводитель по истории химии

Рабочая тетрадь для учащихся 8-х–10-х классов, которая является главным инструментом их учебной деятельности по данной методике, состоит из трёх основных частей:

- «8-й класс. Процесс горения и состав воздуха. Теории флогистона и кислорода»,
- «9-й класс. Растворы. Ионная и гидратная теории»,
- «10-й класс. Природа органических соединений. Дуалистическая теория, теория замещения и унитарная теория. Первая и вторая теории радикалов».

В свою очередь каждая из этих частей включает пять основных разделов:

- 1) таблицы характерных черт стилей дискутирующих сторон;
- 2) словарь терминов;
- 3) текст по истории научной дискуссии;
- 4) лабораторный журнал;
- 5) задания на прояснение и понимание аргументов каждой из дискутирующих сторон.

Хотя, согласно методике, при освоении материала часто используется работа в группах, тем не менее, рабочая тетрадь (или её копия при много-разовом применении) должна быть на руках у каждого учащегося, чтобы его индивидуальная работа была неразрывно связана с групповой. Это удобно и для монтажа отрывков текстов при подготовке, и для оперативного обращения к аргументам в ходе разового выступления или учебной дискуссии.

Разумеется, рабочая тетрадь – не догма, и учитель может корректировать её содержание и форму по своему усмотрению. Например, можно либо сократить, либо добавить что-то в основной текст, посвящённый дискуссии в химии. Широкое поле дополнений есть и в отношении биографических сведений об участниках дискуссий, химиков и физиков, чьи имена и работы зачастую слабо известны не только учащимся, но и учителям.

# 3.

## Учебный материал по истории химии (тексты)

*Далее везде в тексте основные стилевые бинарности обозначены латинскими буквами «А» и «В». В отдельных случаях, когда речь идёт о субстилях, ставятся прописные латинские буквы «a» и «b»<sup>1</sup>.*

*Данные тексты предназначены для учителя. В рабочих тетрадях для учащихся приводятся несколько изменённые и сокращённые, адаптированные тексты.*

---

<sup>1</sup> Об этнокультурных предпосылках стилевых бинарностей см. Пузыревский В. Ю. Этнокультурные стили мышления и образование. – СПб., 2012.



## 3.1. Процесс горения и состав воздуха

### Теории флогистона и кислорода

#### 8 класс

В середине XVII века по проблеме причины увеличения массы металлов после прокаливания (кальцинации) проявились две позиции.

(А) На основе взглядов Ж. Рея (1630) и Р. Гука (1665) на природу горения Джон Мэйоу, опираясь на собственные опыты, доказывал, что увеличение массы при кальцинации происходит по причине того, что *частички газа* (spiritu nitro-aero), или «воздушного спирта», вступают в соединение с металлами. «Д. Мэйоу наблюдал, что в присутствии “воздушного спирта селитры” железо ржавеет и сера превращается в “серную кислоту”»<sup>1</sup>. Он выяснил, что при горении и дыхании расходуется не весь воздух, а только часть, которая есть главный источник жизни и дыхания.

(В) Роберт Бойль, исходя из собственных опытов, сделал вывод, что увеличение веса является результатом воздействия на металл огня, т.е. *огненные корпускулы* из пламени проникают через стекло реторты, внутри которой происходит обжиг, и поглощаются металлом (например, оловом)<sup>2</sup>.

То есть, по Мэйоу, увеличение веса происходит за счёт прилипания особой части воздуха к окалине металла, а, по Бойлю, за счёт поглощения частиц огня. «Изучая химические взаимодействия веществ и, в частности, вытеснение металлов из их солей, Бойль ввёл первоначальные понятия о химическом сродстве. Способность веществ к взаимодействию он объяснял “симпатией” и “антипатией” одних веществ по отношению к другим»<sup>3</sup>.

В критике работ Бойля М. В. Ломоносова также можно считать *сторонником «А»*. В 1756 г. он писал о своей проверке опытов Бойля по прокаливанию

металлов: «Между разными химическими опытами, которых журнал на 13 листах, деланы опыты в заплавленных накрепко стеклянных сосудах, чтобы исследовать, прибывает ли вес металлов от чистого жару; оными опытами нашлось, что славного Роберта Боила мнение ложно, ибо без пропущения внешнего воздуха вес сожжённого металла остаётся в одной мере»<sup>4</sup>. Был Ломоносов сторонником «А» и по приверженности своей механической (молекулярно-кинетической) теории теплоты («теплота состоит в движении корпускул собственной материи»). Он противопоставлял её мнению о теплоте «как некоей невесомой жидкости, которая может “переливаться” из более нагретого тела в менее нагретое». Такая теплотворная жидкость, по мнению учёных того времени, «могла образовываться в теле в результате химических процессов и, прежде всего, в результате процессов, при которых выделяется флогистон (“флогистон” — от греч. φλογ — “огонь” и φλογιστός — “горючий”. — В. П.)»<sup>5</sup>.

В конце XVII в. среди сторонников «В» можно заметить разбиение на субстили. Так, если увеличение веса металлов при их кальцинации, несмотря на то, что при этом улетучиваются сернистые частицы, (bB) *Николя Лемери* объяснял, следуя Бойлю, присоединением к металлу «огненной материи», то (aB) *Иоганн Кункель* считал, что «огненная материя» не имеет веса, и что увеличение веса металлов при прокаливании на воздухе связано с переходом плотного металла в пористую «известь», в которой давление воздуха больше, что и приводит к её большему весу по сравнению с весом исходного металла<sup>6</sup>. То есть первый делал акцент на (b) *внешних* факторах, а второй на (A) *внутренних*.

Примечательно, что горючесть тел, по мнению многих сторонников Бойля, связана с наличием в металле жирного, маслянистого, или сернистого начала (см. у Н. Лемери, И. И. Бехера и др.). Кстати, на основе изучения этой возможной причины горючести позже возникла более абстрактная теория флогистона Г. Штала.

Кстати, в вопросе прокаливания известняка (середина XVIII в.) также обнаружилось расхождение между «А» и «В».

(А) Дж. Блэк «нашёл, что при прокаливании известняка к нему не только не присоединяется какая-либо материя, а наоборот, прокаливание сопровождается выделением из известняка значительного количества «воздуха», который после тщательного изучения свойств был назван «фиксируемым воздухом», поскольку «оказалось, что этот «воздух» легко поглощается — «фиксируется» (связывается) едкими щелочами, например, раствором едкой извести»<sup>7</sup>. Этот «фиксируемый воздух» оказался ничем иным, как углекислым газом.

<sup>1</sup> Соловьев Ю. И. История химии: Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. — М., 1983. С. 41.

<sup>2</sup> Там же. С. 43.

<sup>3</sup> Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М., 1969. С. 212.

<sup>4</sup> Цит. по: там же. С. 274.

<sup>5</sup> Там же. С. 265.

<sup>6</sup> Там же. С. 229.

<sup>7</sup> Там же. С. 294.

(В) И. Ф. Мейер в противовес Блэку считал, что при прокаливании известняка ( $\text{CaCO}_3$ ) и белой магнезии (углекислого магния) «теряется не “фиксируемый воздух”, а лишь вода, и что переход от мягкой щёлочи к едкой связан с поглощением из огня особой “жирной кислоты” (*acidum pingue*)»<sup>8</sup>. В этой критике Мейера поддерживал французский химик А. Бомэ, который был одним из упорных сторонников теории флогистона. Блэк же, первоначально будучи флогистиком, затем перешёл на сторону теории кислорода.

В XVIII веке стиливая бинарность по этой же проблеме была представлена в виде двух оппозиций: (А) *теория кислорода (Антуан Лавуазье)* и (В) *теория флогистона (Георг Шталь)*.

Первая появилась в последней четверти века, а вторая продержалась всё столетие.

(А) Среди последователей Лавуазье — Д. Блэк, Ф. Гофман, Г. Бургаве, Э. Жоффруа, Ж. Бюке, У. Хиггинс, Д. Фаброни, С. Гермбштедт, Х. Гиртаннер, М. Клапрот (с 1792 г.), К. Бертолле, А. Фуркруа (с 1786 г.), П. Аде, Ж. Ассенфранц, Л. Воклен, А. Снядецкий, Я. Д. Захаров, В. М. Севергин, В. В. Петров и др.

(В) Среди последователей Шталя — К. Шееле, А. Маркграф, Т. Бергман, И. Потт, Л. Крелль, Ф. Грен, И. Виглеб, П. Шоу, Ю. Ган, А. Ретциус, Ж. Элло, П. Макёр, А. Боме, Дж. Фонтана, А. Салюцо, Р. Кирван (с 1796 г. в стане «А»), Дж. Пристли и др.

Примечательно, что «А» приняли, прежде всего, французские математики, а потом уже химики, а «В» приняли, прежде всего, немецкие и французские химики и английские физики.

«Вначале врачи и математики во Франции склонялись к Лавуазье, в то время как химики держались своих профессиональных предрассудков; победу новой теории в гораздо большей мере обеспечило новое поколение химиков в этой стране»<sup>9</sup>.

Исходная проблема, как писал Шталь, заключалась в следующем: «Кузнецы, медники, литейщики колоколов и пуговичные мастера жаловались на то, что из несовершенных металлов в процессе прокаливания их на воздухе выгорает некоторая часть; металлы при этом распадаются, превращаясь как бы в золу... Почему это происходит, что это за явление, как оно протекает, что именно уходит из металла и, равным образом, как следует поступить, чтобы этого не происходило, или каким образом восстановить потери, — это неизвестно даже таким опытным мастерам»<sup>10</sup>.

Следуя исторической хронологии, начнём с «В».

(В) Шталь считал, что увеличение веса металла при прокаливании происходит благодаря флогистону как легчайшей из всех тел материальной

<sup>8</sup> Там же. С. 295.

<sup>9</sup> Родный Н. И. Очерки... С. 204.

<sup>10</sup> Цит. по: Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М., 1969. С. 236.

субстанции, а воздух же в определённой мере является его растворителем. Горение свечи под колоколом, где происходило прокаливании, прекращается при максимально возможном растворении флогистона. «При медленном прокаливании металлов их плотность постепенно нарушается, и флогистон получает возможность свободно улетучиваться. Если этот процесс происходит быстро, то флогистон захватывает с собой мельчайшие частички вещества, которые затем осаждаются»<sup>11</sup>.

Представитель флогистонского учения Л. Б. Гитон де Морво иллюстрировал действие флогистона аналогией действию поплавок со свинцовым грузилом. «Пробка, благодаря тому, что она легче воды, как бы уменьшает “силу тяжести” свинца. Такую же роль в металлах и других телах играет флогистон, который легче воздуха, и при его выделении, т.е. при кальцинации, тела становятся более тяжёлыми, подобно тому как свинец, прикрепленный к удочке, “тяжелее” после удаления пробки». То есть в 1773 г. Гитон де Морво «предположил, что флогистон настолько “лёгкий” элемент, что, присоединяясь к другим веществам, он уменьшает их вес, а покидая — увеличивает»<sup>12</sup>. Такой убеждённый химик-флогистик, как Пьер Макёр, с восторгом принял подобное объяснение, тогда как критикующие же эту гипотезу утверждали, что отрицательный вес невозможен, поскольку это противоречит законам физики. «Аналогия была бы полной, — замечает современный историк химии Ю. И. Соловьев по поводу примера с поплавком, — если бы плотность металлического оксида была больше плотности металла. Флогистики не учитывали того, что, хотя при кальцинации металлов наблюдается абсолютное увеличение массы конечного продукта, окалина имеет меньшую плотность, чем металл»<sup>13</sup>.

«Теория флогистона, — пишет М. Джуа, — основана на том положении, что чем больше флогистона содержит данное тело, тем более оно способно к горению; по Шталю, уголь состоит из почти чистого флогистона. Металлы, теряя флогистон, превращаются в извести, из которых, добавляя флогистон, можно снова получить металлы; если нагреть какую-либо окалину металла с углём, металл “возрождается” при помощи флогистона»<sup>14</sup>. Таким образом, реакция окисления отвечает потере флогистона, а восстановление — приобретению.

Своё учение Шталь основывал на опытах. «В одном из таких опытов Г. Шталь, расплавив в железном сосуде олово, нагрел его до начала каления. На поверхности металла появился черноватый порошок (оксид олова). Затем

<sup>11</sup> Соловьев Ю. И. История химии: Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. — М., 1983. С. 50.

<sup>12</sup> Дорфман Я. Г. Лавуазье. — М., 1962. С. 135.

<sup>13</sup> Соловьев Ю. И. История химии: Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. — М., 1983. С. 51.

<sup>14</sup> Джуа М. История химии. — М., 1975. С. 108.

он снял с огня сосуд, добавил в него немного свечного сала и тщательно перемешал; порошковое вещество вновь превратилось в прежнее состояние. По мнению Г. Шталя, при обжигании таких металлов, как олово, железо, свинец, медь, корольёк сурьмы, из них изгоняется флогистон, и они рассыпаются в порошок, но к ним ничего не присоединяется; этот порошок приводят в прежнее состояние добавлением угля или жирных веществ при перемешивании. Г. Шталь наблюдал, что при плавке под углём в металл “вносится или добавляется нечто”. Прокаливая оксиды свинца со столь различными веществами, как уголь, сера, сахар и т.д., он во всех случаях получал корольёк свинца. Постоянство свойств образовавшегося металла (свинца, олова) Г. Шталь рассматривал как доказательство того, что во всех этих превращениях к “известым” (к оксидам) присоединяется одна и та же “материя” — флогистон<sup>15</sup>.

Одним из самых ревностных сторонников теории флогистона являлся *Джозеф Пристли*. «В 1796 г. он, нагревая древесный уголь с магнетитом ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), получил газ, который, так же, как и водород, горел синим пламенем (без остатка) и восстанавливал оксиды до металлов. Дж. Пристли не придавал значения тому, что горючий газ, полученный из древесного угля, был в 14 раз тяжелее газа, полученного из металлов. Он полагал, что это была тяжёлая форма горючего газа, и был уверен, что ему удалось выделить из древесного угля флогистон, точно так же как Г. Кавендиш выделил его из металлов. В 1800 г. Дж. Пристли обобщил результаты своих опытов в трактате “Доктрина флогистона установлена”<sup>16</sup>. Но годом позже английский химик У. Круйкшанк доказал, что тяжёлый «горючий воздух» вовсе не флогистон и не водород, как считалось, а оксид углерода ( $\text{CO}$ ), в котором кислорода содержится меньше, чем в «связанном воздухе» (углекислом газе;  $\text{CO}_2$ ). Пристли умер в 1804 г., так и не признав кислородную теорию. По сути, открыв кислород, Пристли так и не смог правильно понять его природу, претендуя, однако, перед Лавуазье на приоритет. По мнению Пристли, кислород представляет собой смесь азотной кислоты, земли и флогистона.

К теории флогистона химики обращались и при изучении состава воды. «Уже в начале XVIII столетия, — пишет Я. Г. Дорфман, — было известно, что при растворении железных опилок в серной кислоте выделяется “воздух”, обладающий способностью воспламеняться и сгорать со взрывом. Этот газ получил название “горючего воздуха”<sup>17</sup>. В 1766 г. английский учёный Г. Кавендиш посчитал, что это соединение флогистона с водой, т.е. гидрат флогистона (на самом же деле — водород), а летом 1781 г. подверг подробному исследованию процесс сгорания этого «горючего воздуха», чтобы уяснить себе природу росы, появляющейся на внутренних стенках сосуда

<sup>15</sup> Соловьев Ю. И. История химии: Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. — М., 1983. С. 47.

<sup>16</sup> Там же. С. 97.

<sup>17</sup> Дорфман Я. Г. Лавуазье. М.—Л., 1948. С. 211.

после взрыва. Он выяснил, что эта роса есть не что иное как простая вода. Истинный состав воды для Кавендиша остался загадкой, поскольку он считал, что превращение в чистую воду есть результат смеси двух видов воздуха: «горючего» и «дефлогистированного». Похожие опыты проводили также Дж. Уатт, Р. Кирван и Дж. Пристли, и пришли примерно к тем же выводам на основе теории флогистона<sup>18</sup>.

Если флогистиков психологически сравнивать с активными сторонниками кислородной теории, то они оказываются в большей мере *романтиками*, нежели прагматиками. Так, например, Карл Шееле начинал учеником шведского аптекаря и, отказавшись от германской профессуры, закончил свои годы владельцем аптеки, прожив всего 44 года. У Джозефа Пристли многие выдающиеся достижения в химии были не столько запланированными, сколько случайными, а их осмысление более философичным, нежели строго научным. Наверное, лишь неслучайно то, что именно он впервые получил столь знакомую нам газированную воду. Генри Кавендиш вообще слыл гениальным «чудиком». «Он был нелюдимым, мало говорил и смущался, когда к нему обращались незнакомые люди. Несмотря на то, что был весьма богат, он ходил в старомодной одежде и скромно питался. Г. Дэви писал о нём: “Голос его похож был на какой-то писк, обращение его было нервное. Он пугался чужих людей, и когда смущался, то ему трудно было говорить”<sup>19</sup>. Андреас Маркграф был самозабвенным исследователем, впрочем, как и многие другие, не желающие отвлекаться на иные виды деятельности. Герман Бургава, стремясь опровергнуть утверждение алхимиков, что ртуть при длительном нагревании будто бы затвердевает, 15 лет непрерывно нагревал ртуть. «Другое утверждение алхимиков, будто бы ртуть при многократной дистилляции может превратиться в весьма летучий продукт с особыми свойствами, Бургава опроверг подобным же образом: 500 раз перегонял одну и ту же порцию ртути»<sup>20</sup>. Кстати, многие химики-флогистики умерли в результате болезни.

(4) Первым к правильному ответу на вопрос о том, почему олово и свинец увеличиваются в весе, когда их обжигают, приблизился в 1630 г. французский врач-химик Жан Рей. Он так ответил на письмо спрашивающего его аптекаря Брена из Бержерака: «увеличение в весе происходит от воздуха, который в сосуде был сгущён, утяжелён и благодаря сильному и продолжительному жару печи стал как бы липким; этот воздух смешивается с окалиной (чему помогает частое перемешивание) и пристаёт к её мельчайшим частицам, подобно тому, как вода утяжеляет песок, который вы в неё бросаете, и

<sup>18</sup> См. Дорфман Я. Г. Лавуазье. М.—Л., 1948. С. 220–221. Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М., 1969. С. 300–301.

<sup>19</sup> Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М., 1969. С. 298.

<sup>20</sup> Там же. С. 244–245.

перемешивается с ней...»<sup>21</sup>. То есть причина появления окарины связывается с чем-то невесомым, а воздух, как вещество весомое, затем лишь присоединяется к окарине, добавляя вес.

Как ни странно, но первый шаг к открытию кислорода был сделан убеждённым сторонником теории флогистона Джозефом Пристли. Он вспоминал: «...1 августа 1774 г. я попытался извлечь воздух из кальцинированной ртути и нашёл, что воздух легко может быть изгнан из неё посредством линзы (через которую фокусировались солнечные лучи, нагревая объект. — В. П.). Этот воздух не поглощался водой. Каково же было моё изумление, когда я обнаружил, что свеча горит в этом воздухе необычайно ярким пламенем. Тщетно пытался я найти объяснение этому явлению...»<sup>22</sup>. Для Пристли оксид ртути — простое вещество, образованное при нагревании ртути в воздухе и потому лишённое флогистона. Выделение «дефлогистированного воздуха» (обыкновенный воздух минус флогистон) из оксида ртути казалось ему просто невозможным. Чуть раньше, исследуя свойства воздуха нагреванием селитры, нитрата магния, перегонкой смеси селитры с серной кислотой, «огненный воздух» (кислород) открыл К. Шееле. Для него теплота — это соединение «огненного воздуха» (кислорода) и флогистона. «Огненный» же потому, что он один поддерживает огонь, тогда как два других известных в то время (азот — «мефитический (испорченный) воздух» и углекислый газ — «эфирная кислота») гасят его. «“Огненный воздух”, — писал К. Шееле, — есть тот самый, посредством которого поддерживается циркуляция крови и соков у животных и растений... Я склонен думать, что “огненный воздух” состоит из кислой тонкой материи, соединённой с флогистоном, и, вероятно, что все кислоты получили своё начало от “огненного воздуха”»<sup>23</sup>.

Карл Шееле, кстати, представляет ещё один пример (наряду с Дж. Пристли, П. Байеном и др.) того, насколько стиль теоретического мышления у одного и того же исследователя может не соответствовать результатам его блестящих экспериментов. «Последователь теории флогистона, Шееле всюду прибегал к флогистическим объяснениям, — отмечает Н. А. Фигуровский. — Конечно, ему далеко не всегда легко удавалось примирить факты и флогистические представления, в частности, объяснить реакции получения кислорода. Иногда он вынужден был прибегать к фантазиям. Так, он утверждал, что “свет” не “истинный элемент”, а состоит из “огненного воздуха” и флогистона. Флогистон же, по его мнению, истинный элемент и простейшее начало»<sup>24</sup>. Такого рода заблуждения в науке Лавуазье объяснял субъективными факторами.

<sup>21</sup> Цит. по: там же. С. 201.

<sup>22</sup> Цит. по: Соловьев Ю. И. История химии: Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. — М., 1983. С. 69–70.

<sup>23</sup> Цит. по: там же. С. 71.

<sup>24</sup> Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М., 1969. С. 317.

Между прочим, и сам *Антуан Лавуазье* отнюдь не сразу создал кислородную теорию. Первоначально сжигая фосфор, он полагал, что при горении вещества разлагаются, выделяя огненное начало — флогистон и увеличиваясь в весе. «Интересно отметить, — пишет Я. Г. Дорфман, — что увеличение в весе при горении фосфора было обнаружено ещё в 1743 г. ассистентом Р. Бойля Ханкевицем в Англии, а затем, независимо от него, Маркграфом в 1743 г. в Германии. Вероятно, Маркграф не знал о работе Ханкевица, а Лавуазье не знал о работе их обоих»<sup>25</sup>. Вообще, в плане получения информации из за рубежа у Лавуазье были проблемы. Это можно объяснить тем, что он (А) плохо знал иностранные языки, и позже ему обычно жена помогала в переводах работ англо- и немецкоязычных авторов (например, она в 1788 г. перевела с английского языка книгу химика-флогистика Ричарда Кирвана «Очерк о флогистоне и о конституции кислот»). Кстати, у Пристли (В), в отличие от Лавуазье, с детства были выдающиеся способности к иностранным языкам<sup>26</sup>.

В результате одного из своих многочисленных опытов по обжигу металлов Лавуазье удалось показать, что «от  $\frac{1}{8}$  до  $\frac{1}{9}$  объёма воздуха, содержащегося в реторте, было поглощено оловом при обжиге»<sup>27</sup>. То есть, отмечал Лавуазье, «запаянные герметически реторты, взвешенные до и после обжига в них порции олова, не обнаруживают никакой разницы в весе; это, очевидно, доказывает, что увеличение веса, приобретённое металлом, не происходит ни от материи огня (как считал Р. Бойль. — В. П.), ни от какой-либо иной материи извне реторты». Вместе с тем, «при всяком обжиге олова увеличение веса довольно точно равняется весу поглощённого количества воздуха; это доказывает, что порция воздуха, соединяющаяся с металлом во время обжига, обладает плотностью, примерно равной плотности воздуха атмосферы» и эта «порция воздуха, соединяющаяся с металлами, несколько тяжелее, чем воздух атмосферы, а часть воздуха, остающаяся после обжига, наоборот, несколько легче его»<sup>28</sup>. И, действительно, кислород, соединяющийся с металлами при их обжиге, обладает молекулярным весом 32, между тем как основная остающаяся субстанция — азот — обладает молекулярным весом 28. Причём, замечает в 1774 г. Лавуазье, «весь воздух атмосферы в целом не находится в состоянии, пригодном для дыхания, но лишь его оздоравливающая часть, которая соединяется с металлами при обжиге, а то, что остаётся после обжига, есть своего рода удушливая часть, непригодная для поддержания дыхания животных и горения тел»<sup>29</sup>.

<sup>25</sup> Дорфман Я. Г. Лавуазье. — М.—Л., 1948. С. 107.

<sup>26</sup> См. Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М., 1969. С. 304.

<sup>27</sup> Дорфман Я. Г. Лавуазье. — М.—Л., 1948. С. 133.

<sup>28</sup> См. там же. С. 133–134.

<sup>29</sup> Цит. по: там же. С. 159.

Лавуазье был знаком с опытами Пристли, но утверждал, что одни и те же факты привели их к диаметрально противоположным выводам. Первый различал в атмосферном воздухе различные по свойствам газы, а второй «считал воздух однородным веществом, лишь загрязнённым...флогистоном, т.е. огненной материей и разными испарениями»<sup>30</sup>.

Газообразный кислород Лавуазье рассматривал в качестве сложного тела, соединяющего «кислородное начало» с некоторым количеством теплорода как неким тепловым веществом. Например, при своём горении «фосфор разлагает кислородный газ, захватывает его основу, и теплород, становящийся при этом свободным, улетучивается и рассеивается, распределяясь между окружающими телами»<sup>31</sup>. Кстати, насчёт теплорода у Лавуазье были противоречивые взгляды: «мы вовсе не обязаны даже предполагать, что теплород есть реальное вещество, достаточно..., чтобы это была лишь какая-нибудь причина отталкивания, раздвигающая молекулы»<sup>32</sup>.

В статье 1783 г. «Соображения о флогистоне» Лавуазье писал: «Но если в химии всё объясняется удовлетворительным образом без помощи флогистона, то одно это означает бесконечно большую вероятность того, что такое начало не существует и что оно представляет собой гипотетическую субстанцию, неосновательное предположение... В эпоху, когда писал Шталь, основные явления горения ещё не были известны. Об этом явлении он знал лишь то, что поражает сознание, — выделение света и тепла... Он предположил, что посредником при соединении огня с горючими телами служит некое землистое начало, и он назвал горючим началом или флогистоном результат этого соединения...»<sup>33</sup>. Лавуазье критиковал неопределённость этого понятия, по которому горючее начало то весомо, то невесомо, то представляет собой свободный огонь, а то огонь, соединённый с землистым элементом. И вообще получалось, что горючие тела содержат огненную материю потому, что они горят, и что они горят потому, что содержат огненную материю. Он хотел большей строгости в определении.

Поэтому в 1780 г. «на основании твёрдо установленных фактов» он предложил переименовать «дефлогистированный воздух» Пристли, или, как он сам обозначал, «удобовдыхаемый воздух», в кислотообразующее начало, или кислород, или кислород<sup>34</sup>. Однако, пытаясь объяснить феномен горения, сам Лавуазье прибегал к неверной аналогии огня с кислотным растворителем металлов и водным растворителем соли.

Если последователи Лавуазье (А) считали причиной окисления кислород как таковой, то последователи Шталя (В) видели причину во флогистоне,

<sup>30</sup> Там же. С. 170.

<sup>31</sup> Цит. по: там же. С. 296.

<sup>32</sup> Цит. по: там же. С. 302.

<sup>33</sup> Цит. по: Джуа М. История химии. — М., 1975. С. 139.

<sup>34</sup> См. Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М., 1969. С. 349.

считая кислород «огненным воздухом» (К. Шееле) или «дефлогистированным воздухом» (Дж. Пристли).

Однако, первые были не правы, считая кислород носителем кислотных свойств или единственным элементом, способствующим реакции окисления. Лавуазье вместе с Клодом Бертолле в своё время впадал в ошибку, полагая, что соляная («муриевая» от *muria* — рассол) кислота (HCl) содержит кислород, а хлор как «окисленная соляная кислота» состоит из соляной кислоты и кислорода<sup>35</sup>. Это же касалось и синильной кислоты (HCN).

Изучая состав воды, Лавуазье в 1783 г. проделал обратный опыт тем, что делали Г. Кавендиш, Дж. Уатт, Р. Кирван и Дж. Пристли. То есть он попытался разложить воду. На основе результатов до этого проделанных опытов он записал следующее: «Я высказал предположение, что ежели вода в самом деле представляет собою, как это показывает сжигание обоих видов воздуха, соединение кислородного начала с горючим водным началом, то нельзя её разложить и получить отдельно одно из её начал, не предоставив второму началу другое какое-либо вещество, к которому оно бы имело большое сродство: поскольку горючее водное начало имеет больше сродства к кислородному началу, чем к любому другому телу... кислородное начало надо было атаковать»<sup>36</sup>. То есть нужно было найти такое вещество, которое могло бы присоединить кислород воды к себе и освободить водород. Суть опыта такова. «Под колоколом над ртутью помещалась дистиллированная прокипячённая вода, в которую погружались очень чистые железные опилки. Через некоторое время (отдельные опыты продолжались месяцами) на опилках появлялась окалина, оказавшаяся по своему составу магнетитом (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O). В то же время над ртутью собирался выделявшийся у воды в большом количестве газ, оказавшийся водородом»<sup>37</sup>.

Если (А) Лавуазье считал, что образование водорода происходит лишь в результате разложения воды, то (В) флогистики — что образование «горючего воздуха» происходит в результате разложения металлов под действием кислот и с потерей ими флогистона, или «горючего воздуха»<sup>38</sup>.

(А) Закончив в 1764 г. юридический факультет и получив звание адвоката, Лавуазье всё же променял это на науку. Но там скорее он был прагматиком, нежели романтиком. Будучи профессиональным дельцом, состоящим на службе Откупа (действующая по доверенности государства частная компания по сбору налогов), он великолепно умел планировать свою как государственную, так и научную деятельность. По комплекту экспериментального оборудования у него на то время была одна из лучших химических лабора-

<sup>35</sup> Подробнее см. там же. С. 390–391.

<sup>36</sup> Цит. по: Дорфман Я. Г. Лавуазье. М.–Л., 1948. С. 229.

<sup>37</sup> Там же. С. 230.

<sup>38</sup> См. Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М., 1969. С. 356.

торий. Он был более редукционистом, нежели контекстуалистом, что, кстати, и характерно для представителей «А». Так, по поводу своего «Курса химии» он защищал следующий тезис: «Из начального курса не следует делать ни истории науки, ни истории человеческой мысли; в нём должно добиваться лишь доступности и ясности, в нём необходимо тщательно избегать всего, что могло бы отвлекать внимание»<sup>39</sup>.

Кстати, Клод Бертолле как последователь Лавуазье тоже был прагматиком, поскольку активно исследовал хлор и его соединения, занимаясь красивым делом в качестве комиссара дирекции красильных фабрик во Франции. Антуан де Фуркруа при Наполеоне был генеральным директором народного образования и получил титул графа империи. Гитон де Морво основал завод по производству селитры, а затем соды, был также директором Политехнической школы, а при Наполеоне получил титул барона. Луи Вокелен какое-то время работал инспектором монетного дела, а затем — директором специальной фармацевтической школы. Жан Шапталль одно время был директором пороховых заводов Франции, при Наполеоне был министром внутренних дел и сенатором, получил титул графа, а при Людовике XVIII — титул пэра Франции.

В химии у Лавуазье проявлялись манеры физика, что выражалось, например, в стремлении к точному количественному анализу с определением веса вплоть до 8-го знака после запятой. Подтверждением этому служат следующие слова, записанные в 1783 году: «Быть может, однажды точность имеющихся данных будет доведена до такой степени, что геометр сможет рассчитывать в своём кабинете явления, сопровождающие любое химическое соединение, тем же, так сказать, способом, каким он рассчитывает движение небесных тел. Взгляды, имеющиеся на этот счёт у г. де Лапласа, и эксперименты, которые мы запроектировали на основании его идей, чтобы выразить числами силы сродства различных тел, уже позволяют не рассматривать эту надежду как некую химеру»<sup>40</sup>. Такой подход к науке стал формироваться у Лавуазье ещё со школьных времён. Он вспоминал: «Когда я впервые приступил к изучению курса химии, то, хотя избранный мною преподаватель считался наиболее чётким и наиболее доходчивым для начинающих, хотя он прилагал все старания, чтобы быть понятным, тем не менее, я был поражён, увидев каким мраком окружены первые ступени этой науки. Я прошёл хороший курс физики, я наблюдал опыты г. аббата Ноллэ, я с некоторым успехом прошёл элементарную математику по трудам аббата Ла-Кая и в течение года слушал его уроки. И я приучился к той строгости рассуждений, которой отличаются труды математиков. Они никогда не доказывают какого-либо предположения, не доказав предшествующего ему. <...> Совершенно иной подход существовал в химии. С первых же шагов начинали предполагать, вместо

<sup>39</sup> Цит. по: Дорфман Я. Г. Лавуазье. М.—Л., 1948. С. 293.

<sup>40</sup> Цит. по: там же. С. 265–266.

того, чтобы доказывать»<sup>41</sup>. «В большинстве своих экспериментальных исследований, — пишет Н. А. Фигуровский, — получивших исключительно важное значение для дальнейшего развития химии, Лавуазье действовал скорее как физик, нежели химик. Часто, не вдаваясь в тонкости химического анализа, основывался на достаточно точных физических определениях, делал свои далеко идущие выводы, обычно хорошо подтверждавшие первоначально выдвигавшуюся рабочую гипотезу»<sup>42</sup>.

Этим же отличались и последователи Лавуазье. Так, Мартин Клапрот, будучи профессором химии, «опубликовал свыше 200 книг, статей и сообщений, посвящённых главным образом исследованию состава разнообразных минералов, солей, минеральных вод и других веществ», при этом химические анализы отличались точностью и надёжностью<sup>43</sup>.

Ну, а в физике Лавуазье зачастую оказывался химиком, более тяготеющим к теории теплорода, где теплота выступает как особое вещество, чем — к молекулярно-кинетической теории. То есть Лавуазье, в конце концов, был склонен считать, что «тепловой флюид» (теплород) более или менее легко проникает сквозь поры отдельных веществ, а не придерживаться своей прежней точки зрения, что теплота есть живая сила, происходящая от неощутимых движений молекул тела. И всё же, по отношению к этим разным точкам зрения и, вероятно, под влиянием математического стиля мышления Лапласа, он задавался вопросом: «Быть может, обе они имеют место одновременно?»<sup>44</sup>.

Сторонники (А) *кислородной теории* ратовали за строгую *определённость «небесности»* горючего элемента (*Ян, мужское начало*), а сторонники (В) *теории флогистона* — за *неопределённость «землистости»* горючего элемента (*Инь, женское начало*). По Лавуазье, земля насыщена кислородом, но не кислород землёй. Кислород — простое вещество, а земля — сложное.

Примечательно, что жена Лавуазье Мария была замечательным художником-иллюстратором, делавшим рисунки оборудования в его книгах, а друг Лаплас — выдающимся математиком, помогающим в планировании, проведении и анализе химических опытов.

Итак, в самом общем виде рассмотренные оппозиции выглядят так:

С точки зрения последователей теории флогистона	С точки зрения последователей теории кислорода
Металл – флогистон = металлическая известь (окисел)	Металл + кислород = окисел металла («известь» флогистиков)

<sup>41</sup> Цит. по: Дорфман Я. Г. Лавуазье. — М., 1962. С. 17.

<sup>42</sup> Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. — М., 1969. С. 359.

<sup>43</sup> Там же. С. 399.

<sup>44</sup> Дорфман Я. Г. Лавуазье. М.—Л., 1948. С. 256.

## 3.2. Растворы

### Ионная и гидратная теории

#### 9 класс

Здесь представлены два варианта текста по данной теме:

- 1) один обычный, академический, короткий;
- 2) другой выстроен в диалогическом ключе и более длинный.

#### Первый вариант

В конце 80-х — 90-х гг. XIX в. в области теории растворов преобладали:

(А) теория электролитической диссоциации, или **ионная теория С. Аррениуса** (среди её последователей на Западе — В. Оствальд, Я. Вант-Гофф, Г. Джонс, Р. Абегг, В. Нернст, М. Планк, Э. Фишер, А. Горстман, Л. Мейер, Д. Вокер, В. Рамзай, Э. Коэн, Г. Чамичан, Т. Мадсен, В. Йолм, Д. Рошковский и др.; в России — В. А. Кистяковский, И. А. Каблуков, А. А. Яковкин, И. Фаньонг и др.) и (В) теория химической ассоциации частиц, или **гидратная теория Д. И. Менделеева** (среди её последователей на Западе — П. Клёве, Т. Фитцпатрик, С. Пикеринг, Г. Армстронг, В. Фитцджеральд, М. Бертло, И. Траубе, Э. Видеман, Л. Каленберг, Г. Каррара и др.; в России — Н. Н. Бекетов, Д. П. Коновалов, Ф. М. Флавицкий, П. Д. Хрущов, В. Ф. Тимофеев, Н. А. Меншуткин и др.).

Сторонники «А» находили связь (электрическую) между ионами и частицами растворителя, а сторонники «В» такой связи не находили, ибо считали ионы неделимыми частицами (атомами)<sup>45</sup>.

«Отвечая на критические замечания своих оппонентов, — пишет Ю. И. Соловьев, — С. Аррениус объяснял, что в процессе электролитической диссоциации, например, поваренной соли, образуются не атомы Na и Cl, а ионы Na<sup>+</sup> и

Cl<sup>-</sup>. Возражая химикам, которые говорили, что электрический заряд не может так резко изменить свойства атомов хлора и натрия, Аррениус утверждал, что ионы хлора и натрия именно благодаря тому, что они несут электрический заряд, есть нечто совсем другое, чем нейтральные атомы хлора и натрия. Заряд электричества сильно изменяет свойства атомов; благодаря ему возможно, например, существование таких групп атомов (как, например, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и т.п.), которые в свободном состоянии без электрического заряда неизвестны<sup>46</sup>. То есть ионы в отличие от нейтральных атомов имеют иные энергетические условия.

Следует отметить, что представители «А» не могли чётко ответить на вопрос о том, почему положительные ионы, находясь в растворе вместе с отрицательными, не разряжаются и не образуют нейтральных частиц, а также — почему представители «А» не учитывают тесную связь между ионами и частицами растворителя.

(А) Первые учитывали электролиты и не учитывали концентрированные растворы, а (В) вторые — наоборот. (А) Первые предпочитали слабые растворы и видели в них преимущественно акт распада, а (В) вторые — крепкие растворы и акт созидания.

(А) Первые склонялись к физическому, а (В) вторые — к химическому курсам исследований. (А) Первые исходили из мысли об аналогии между газовым и растворённым состоянием, рассматривали растворы как своеобразные смеси. (В) Вторые рассматривали процесс растворения как разновидность химического процесса, характеризующегося наличием взаимодействия между молекулами смешивающихся ингредиентов. (А) Первые в своём атомизме шли от дуалистической электрохимической теории Бёрцелиуса, а (В) вторые — от унитарной теории Лорана-Жерара.

(А) Благодаря первым впоследствии «возникли новые методы определения молекулярного веса — криоскопия и эбуллиоскопия, теория электродвижущих сил и электропроводностей и т.д.». (В) Благодаря вторым — «удалось открыть существование большого числа новых соединений, нередко выделить их в чистом виде и описать их свойства, развить теорию сольватации, в частности ионной гидратации, подготовить почву для нового понимания химического индивида»<sup>47</sup>.

Физическая теория пользовалась среди химиков широкой популярностью «благодаря наглядности своего содержания, с одной стороны, и плодотворности термодинамического аппарата, удачно использованного ею, — с другой, казалась лучше отвечающей действительно наблюдаемым соотношениям». «Химическая» точка зрения на природу растворов, — пишет А. В. Капустинский, — получила дальнейшее распространение в весь

<sup>45</sup> Соловьев Ю. И. Роль научных дискуссий в развитии химии XIX в. // Роль дискуссий.... С. 147–151.

<sup>46</sup> Соловьев Ю. И. Сванте Аррениус: 1859–1927. — М., 1990. С. 135.

<sup>47</sup> См. Капустинский А. В. Очерки по истории неорганической и физической химии в России. — М.–Л., 1949. С. 139–140.

ма важном научном направлении физической химии, которым мы обязаны академику Н. С. Курнакову и его школе. Речь идёт о физико-химическом анализе. Рассмотрение бинарных систем, к которым относится большинство растворов, позволило установить важный критерий химизма с помощью понятия о сингулярных точках диаграммы состав — свойство. Излом в кривых “свойства” не нарушает принципа непрерывности химических превращений вещества, если речь идёт об образовании нового химического индивида. Пункт излома, сингулярная точка, принадлежит одной и той же кривой, характерной для всего протяжения гомогенной фазы, в состав которой входит новый индивид. Сингулярная точка инвариантна, она не меняется с изменением условий равновесия, она отвечает стехиометрическому составу образовавшегося индивида»<sup>48</sup>.

Согласно «А», например, в растворённом хлористом калии хлор и калий отделены друг от друга, т.е. в растворе существуют «свободные» атомы. Г. Джонс писал: «Я рассматривал ионы, существующие в растворе, как не зависящие не только друг от друга, но также и от молекул растворителя. Одним словом, в то время я был твёрдо убеждён, что гидратная теория не является необходимой для объяснения известных фактов»<sup>49</sup>.

Аррениус считал, что «ионы солей и сами соли существуют в растворах без гидратов»: «ток не является причиной разложения нейтральных молекул на противоположно заряженные ионы, а напротив, его прохождение через раствор электролита есть следствие наличия ионов в растворе»<sup>50</sup>. В отличие от Бёрцелиуса он рассмотрел это с количественной стороны.

В. Оствальд хотел теорию электролитической диссоциации «освободить от “гипотетических атомов и молекул”, рассматривая ионы как самостоятельные существующие порции энергии»<sup>51</sup>. «Мы можем, — писал Оствальд, — стать на чисто формальную точку зрения и рассматривать ионы просто-напросто как удобное для вычисления вспомогательное средство. В таком случае допущение подобных ионов оправдывается уже их целесообразностью»<sup>52</sup>.

Оствальд вспоминал о своём впечатлении после прочтения статьи Аррениуса «Исследования по гальванической проводимости» в июне 1884 г.: «Статья причинила мне головную боль и вызвала не одну бессонную ночь, что для меня тогда было большой редкостью. То, что было написано в работе, настолько было отлично от привычного и известного, что я сначала был склонен всё в целом принять за бессмыслицу. Но затем я встретил несколько вычислений, очевидно, очень молодого автора, которые касались величин

<sup>48</sup> Там же. С. 141–142.

<sup>49</sup> Цит. по: Соловьев Ю. И. Роль научных дискуссий в развитии химии XIX в. // Роль дискуссий... С. 149.

<sup>50</sup> См. Родный Н. И. Очерки... С. 125.

<sup>51</sup> Соловьев Ю. И. Роль научных... С. 154.

<sup>52</sup> Оствальд В. Основные начала теоретической химии. — М., 1891. С. 333.

сродства кислот и привели его к результатам, хорошо совпадавшим с теми, к которым я пришёл совсем другим путём»<sup>53</sup>.

В. А. Кистяковский отмечал, что теория электролитической диссоциации представляет собой шаг вперёд на пути введения количественных методов в химию. И. А. Каблуков же полагал, что «эта теория позволила применить к изучению многих явлений в растворах такое могучее орудие, каким является математический анализ, она указала точную количественную зависимость между такими величинами, как коэффициенты диффузии и электропроводности, между последней и “жадностью” кислот, и т.д.»<sup>54</sup>.

«Следует отметить, — пишет Ю. И. Соловьев, — что хотя сам С. Аррениус не пользовался идеей о существовании “квантов” электричества и не мог объяснить происхождение зарядов ионов, образующихся при диссоциации нейтральных молекул, но созданная им теория электролитической диссоциации, уже независимо от её автора, укрепила представления о существовании дискретных зарядов электричества и подготовила физико-химиков к решению важнейшего вопроса о природе электрических зарядов атомов»<sup>55</sup>.

Согласно «В», раствор есть среда, в которой находится ассоциация частиц, образуемых системой растворителя и растворённого тела. Г. Армстронг писал: «Я утверждаю, что невозможно отрицать активную роль растворителя при электролизе... Следует предположить, что ход электролиза в растворе... обуславливается взаимным влиянием растворителя и растворённого вещества»<sup>56</sup>. Возражая Аррениусу, он говорил: «Неужели только воде природа предоставила возможность играть единственную роль среды “для пляски ионов”, или же роль экрана, разделяющего их?»<sup>57</sup>.

С. Пикеринг заявлял, что «теория диссоциации солей на ионы не понятна большинству химиков», поскольку она кажется «несовместимой с нашими понятиями об относительном постоянстве различных тел и с принципом сохранения энергии»<sup>58</sup>. В. Фитцджеральд ему вторил: «Я просто не вижу, откуда может появиться энергия!»<sup>59</sup>.

Н. Н. Бекетов, являясь последователем унитарной теории Жерара, удивлялся тому, как соль может распадаться на ионы не под действием внешней энергии, а при наличии изначально существующего внутреннего тока, согласно Аррениусу, хотя позже (например, в 1901 г.) это удивление могло быть снято теорией о гидратированных и сольватированных ионах<sup>60</sup>.

<sup>53</sup> Цит. по: Соловьев Ю. И. Сванте Аррениус: 1859–1927. — М., 1990. С. 22.

<sup>54</sup> См. Соловьев Ю. И. Роль научных... С. 158.

<sup>55</sup> Соловьев Ю. И. Сванте Аррениус... С. 161.

<sup>56</sup> Цит. по: Соловьев Ю. И. Роль научных... С. 155.

<sup>57</sup> Цит. по: Соловьев Ю. И. Сванте Аррениус... С. 147.

<sup>58</sup> Цит. по: там же. С. 146.

<sup>59</sup> Там же. С. 147.

<sup>60</sup> Соловьев Ю. И. Роль научных... С. 158–159.



Показательна эмоциональность и непримиримость сторонников «В» по отношению к подходу «ионистов». «Курбатов вспоминает, например, как на одном из собраний, когда речь зашла об ионах хлора в растворе, Коновалов вскочил с места с резким выкриком: “Если они свободны, то почему же они не воняют?!”»<sup>61</sup>.

Согласно «А», «растворённые молекулы частично диссоциированы на ионы, находящиеся в равновесии с недиссоциированными молекулами, причём равновесие сдвигается в сторону диссоциации большего числа молекул при повышении разбавления раствора».

Согласно «В», диссоциации молекул на ионы не существует, а «электропроводность растворов, как правило, имеет своей причиной образование соответствующих комплексов между растворителем и растворёнными веществами». «Если ионная теория, — пишет Н. И. Родный, — исходила из того, что свойства растворов объясняются полностью или во всяком случае преимущественно природой растворённого вещества (электролита), то гидратная теория сводила их к характеру взаимодействия растворителя с растворённым веществом»<sup>62</sup>.

Может быть, эта склонность к абстрагированию и приводила к тому, что представители классической ионной теории не учитывали, во-первых, взаимодействие между частицами растворённого вещества и растворителя, и, во-вторых, взаимодействие между самими ионами в растворе. Учёт же этих взаимодействий, например, Дебаем, Хюккелем, Ван-дер-Ваальсом, Горстманом, Джонсом, Каблуковым и Кистяковским как представителями ионной теории, опять-таки указывал на субстиль «b» в рамках «А». Так, Кистяковский сожалел, что будучи личным другом Аррениуса, не сумел доказать ему основную правильность гидратной теории Менделеева. А Каблуков, как ученик Менделеева, считал, что «вода, разлагая молекулы растворённого тела, входит с ионами в непрочные соединения, находящиеся в состоянии диссоциации», тогда как, по мнению Аррениуса, «ионы свободно двигаются, подобно тем отдельным атомам, которые происходят при диссоциации молекул галоидов (Cl, Br, I) при высокой температуре»<sup>63</sup>. И. Д. Ван-дер-Ваальс указывал, что неправильно отрицать действие растворителя на растворённое вещество, как это часто делают последователи Аррениуса.

<sup>61</sup> Соловьев Ю. И., Китнис А. Я. Дмитрий Петрович Коновалов. 1856–1929. — М., 1964. С. 75.

<sup>62</sup> Родный Н. И. Очерки... С. 126.

<sup>63</sup> См. Соловьев Ю. И. Сванте Аррениус... С. 168.

## Второй вариант

Здесь представлен опыт создания конспекта по книге Ю. И. Соловьева «История учения о растворах» (М., 1959), выполненный в русле диалогического подхода в дидактике естественно-научного образования. В методическом плане данный текст может быть использован учителем в качестве основы для разработок сценариев ролевых и стиле-ролевых дискуссий по истории химии растворов; дискуссий, разыгрываемых учащимися с целью понимающего проживания содержания данной темы по химии. Текст может быть использован как в своих отдельных частях, так и в целом соответственно на уроках, сдвоенных уроках-модулях, «минипогружениях», неделях наук и крупных недельных тематических «погружениях» по химии или по межпредметной интеграции.

*Примечание. Все ссылки на книгу Ю. И. Соловьева оставлены в структуре текста, но специально приводятся мелким шрифтом, чтобы не быть использованы при чтении диалогов по ролям. («Там же» — текст Ю. И. Соловьева; «Цит. по» — исторический текст учёного-химика XIX–нач. XX вв.). Буквами «А» и «В» обозначены стили, а буквами «a» и «b» — субстили научного мышления сторонников указанных теорий в соответствии с авторской концепцией стиле-ролевого подхода в дидактике Пузыревского В. Ю.<sup>64</sup> Биографические сведения в ссылках даны по материалам wikipedia.*

### 1. ПРЕДШЕСТВЕННИКИ АРРЕНИУСА И МЕНДЕЛЕЕВА

**А: в разложении электролита гальваническим током активность по краям, нейтральность посередине**

**1805–1818 гг. Т. Гротгус<sup>65</sup>:** Наблюдение над действием вольтова столба, где одна пластинка заряжена положительно, а другая — отрицательно,

<sup>64</sup> См. работы: Пузыревский В. Ю. Очерки философии гуманистического образования. СПб., 2011; Пузыревский В. Ю. Этнокультурные стили мышления и образование. СПб., 2012.

<sup>65</sup> Гротгус (Теодор, 1785–1822) — крупный землевладелец Виленской губернии. Научкой занимался без связи с каким-либо учреждением. В 1805 г. он выдвинул первое правильное теоретическое объяснение разложения воды электрическим током и сформулировал первую теорию электролиза, основным постулатом которой была идея о полярности корпускул, инициируемой электрическим током, либо возникающей в результате взаимной электризации атомов. Описанный им принцип перемещения ионов водорода с опорой на молекулы воды называют «механизмом Гротгуса». В 1818 г. высказал предположение о самопроизвольном разложении электролита без участия внешнего электричества. Развил электрохимические представления о кислотности и основности.

«вызвало во мне идею, что подобная же полярность могла бы образоваться между молекулами воды, если на них действует такой же электрический агент. И я должен сознаться, что для меня это было лучом света».

**Комментатор:** «Элементы воды он считал заряженными электричеством, причём водород — положительным, а кислород — отрицательным. У образовавшейся таким образом цепочки из атомов, крайние атомы — с одной стороны атом кислорода, с другой — атом водорода — разряжаются при электролизе на электродах и выделяются в виде свободных газов». (*Соловьев Ю. И.* История учения о растворах. М., 1959, С. 114.) При пропускании гальванического тока молекула отдаёт свой кислород положительно заряженному электроду, а её водород тотчас же опять окисляется благодаря прибытию другого атома кислорода... Так же молекула воды отдаёт свой водород отрицательно заряженному электроду.

**Т. Гротгус:** Переменное чередование разложений и соединений элементов воды продолжается до тех пор, пока она полностью не разложена. (Там же. С. 116.)

**Комментатор:** «Гротгус считал, что во время всего этого процесса разлагаются только молекулы воды, располагающиеся у полюсов, в то время как все другие, находящиеся между ними, т.е. полюсами, будут взаимно и переменнo обменивать свои составные части, не изменяя своей природы». (Там же. С. 116.)

**Т. Гротгус:** Существенный признак жидкого состояния воды имеется при температуре, достаточной для поддержания необходимой степени полярно-электрического напряжения уже до всякого действия электрического тока. (Там же. С. 117.)

**1806 г. Г. Дэви**<sup>66</sup>: «Кислород части воды притягивается положительной поверхностью, в то время как входящий в состав воды водород ею отталкивается; обратный процесс происходит у отрицательной поверхности; в середине или в нейтральной части цепи должно произойти воссоединение оттолкнутых веществ».

<sup>66</sup> **Дэви (Гемфри, 1778–1829)** — английский химик и физик. Родился в маленьком городке Пензансе на юго-западе Англии. Отец был резчиком по дереву, зарабатывал мало, и, поэтому его семья с трудом сводила концы с концами. В 1794 году Гемфри переезжает жить к Тонкину. Вскоре стал учеником аптекаря, начал интересоваться химией. С 1798 г. химик в лечебном учреждении («Пневматический институт»), в 1801 ассистент, а с 1802 г. профессор Королевского института, в 1812 году Дэви в возрасте 34-х лет за научные работы был удостоен титула лорда. У Дэви учился и начал работать М.Фарадей. С 1826 г. иностранный почётный член Петербургской АН. В 1800 г. Дэви предложил электрохимическую теорию химического сродства, позднее разработанную Й. Берцелиусом. В 1807 г. получил металлический калий и натрий электролизом их гидроксидов, считавшихся неразложимыми веществами.

**В: в разложении электролита гальваническим током активность на всём пути его следования через раствор**

**1807–1809 гг. Риффо, Шомпре**<sup>67</sup>: Гальванический ток вызывает полное разложение электролита не только у электрода, но и на всём пути своего следования через раствор. «При этом отрицательный ток собирает и несёт кислоты к положительному полюсу, а положительный ток выполняет ту же обязанность по отношению к основаниям и собирает их у отрицательного полюса». (Там же. С. 119.)

**1808 г. Ф. Рейсс**<sup>68</sup>: Опыты, проводимые на берегу реки Москва и на земле одного сада показали, что «разложение “межполюсной жидкости” на составные части при действии гальванического тока наблюдается всегда, каково бы ни было расстояние между полюсами; продукты разложения могут обнаруживаться на различных расстояниях друг от друга». (Там же. С. 119.) Скорость появления этих продуктов всегда одинакова вне зависимости от расстояния. «Если между полюсами поместить какое-либо постороннее тело, например землю, то она, оказывается, не мешает прохождению тока и разложению воды». (Там же. С. 120.)

<sup>67</sup> **Риффо де Гагр (Жак Ренэ Дени, 1754–1826)** — директор пороховых и селитряных заводов в Париже. Написал несколько трудов по химии.

**Шомпре (Николя Морис, 1750–1825)** — консул в Малаге, член призового суда. Затем удалился в частную жизнь. Написал (отчасти в сотрудничестве с Риффо) несколько работ по электрохимии.

<sup>68</sup> **Рейсс (Фёдор Фёдорович (Фердинанд-Фридрих), 1778–1852)** — заслуженный профессор химии в московском университете, доктор медицины и хирургии. Его отец являлся профессором тюбингенского университета. В 1800 году Ф. Ф. Рейсс, окончив университетский курс в Тюбингене, получил степень лиценциата медицины и отправился в Гёттинген. В 1801 году Рейсс получил степень доктора медицины и хирургии и одновременно звание приват-доцента всеобщей медицинской химии. Вскоре (1803 г.) он был приглашён в московский университет на должность экстраординарного профессора по кафедре химии физико-математического факультета, где оставался до 1832 года, занимая в 1817–1839 годах кафедру ординарного профессора химии и фармакологии в московском отделении медико-хирургической академии. В 1805 году он был выбран в члены-корреспонденты Петербургской Академии наук. В 1809 году в Записках «Московского общества испытателей природы» была опубликована работа Рейсса «О новом действии гальванического электричества», в которой он подробно описал опыты, приведшие его к открытию нового, до того времени не известного явления, впоследствии получившего название электроосмоса. Действию открытой им «водогонной силы» он приписывал появление различных ключей, движение соков в растениях и даже крови в человеке и животных. Он же открыл и явление, которое потом получило название катафореза.

**1833 г. М. Фарадей**<sup>69</sup>: Электрохимическое разложение не зависит от непосредственного притяжения или отталкивания электродов. «Если бы разложение при помощи гальванической батареи зависело от притяжения полюсов... и притом было сильнее взаимного притяжения разделённых частиц, то отсюда бы следовало, что самое слабое электрическое притяжение сильнее весьма сильного, если и не самого сильного химического притяжения». (Цит. по: там же. С. 128.). Электрохимическое разложение «производится внутренним корпускулярным действием, происходящим в соответствии с направлением электрического тока, и ... оно обусловлено силой, которая либо прибавляется к обычному химическому сродству данных веществ, либо его прибавляет. Подвергаемое разложению вещество можно рассматривать как совокупность действующих частиц, причём все те из них, которые расположены на пути тока, вносят свою долю в конечный эффект; обычное химическое сродство под влиянием электрического тока делается менее выраженным, ослабляется или частично нейтрализуется в одном направлении, параллельном току, и усиливается или пополняется в противоположном направлении, и именно потому входящие в соединение частицы имеют стремление перемещаться в противоположных направлениях». (Там же. С. 130.)

**Комментатор:** В 1834 г. ради большей точности выражений Фарадей с помощью доктора Уевелла ввёл следующие термины: электрод, электролит, электролиз, анод, катод, ион, анион, катион и т.д. (См. там же. С. 134.)

**1838 г. М. Фарадей:** Когда вещества, которые являются электролитами, находятся между электродами, то их частицы поляризуются и если они «переводятся в жидкое состояние, то поляризованные частицы распадаются на

<sup>69</sup> **Фарадэй (Майкл, 1791–1867)** — английский физик, химик и физико-химик, основоположник учения об электромагнитном поле, член Лондонского королевского общества (1824). Майкл родился 22 сентября 1791 года в Ньюнгтон-Баттсе (ныне Большой Лондон). Его отец был небогатым кузнецом из лондонского предместья. Мать Фарадея, трудолюбивая и необразованная женщина, дожила до времени, когда её сын добился успехов и признания, и по праву гордилась им. Скромные доходы семьи не позволили Майклу окончить даже среднюю школу, с тринадцати лет он начал работать как поставщик книг и газет, а затем в возрасте 14 лет пошёл работать в книжную лавку, где обучался и переплётному ремеслу. Семь лет работы в мастерской на улице Блэндфорд стали для юноши и годами напряженного самообразования. Всё это время Фарадей упорно занимался — он с упоением читал все переплетаемые им научные труды по физике и химии, а также статьи из «Британской энциклопедии», повторял в устроенной им домашней лаборатории эксперименты, описанные в книгах, на самодельных электростатических приборах. В 1813 г. Дэви (не без некоторого колебания) пригласил Фарадея на освободившееся место лаборанта в химической лаборатории Королевского института, где он проработал много лет. В период до 1821 г. Фарадей опубликовал около 40 научных работ, главным образом по химии. В 1824 г. ему впервые удалось получить хлор в жидком состоянии, а в 1825 г. он впервые синтезирует гексахлоран — вещество, на основе которого в XX веке изготавливались различные инсектициды.

две половины; каждая из них, сильно заряженная, перемещается вперёд...». (Там же. С. 131.)

**Комментатор:** «При изучении явлений электролиза Фарадей и другие учёные столкнулись с двумя различными процессами, протекающими одновременно: физическим — прохождение электрического тока через электролит — и химическим — разложение электролита на составные части. Нужно было изучить, в каком количественном отношении стоят между собой эти два процесса, и действительно ли они неизменно сопутствуют один другому». (Там же. С. 131.)

**Т. Гротгус:** В растворах между частицами электролита происходит постоянный внутримолекулярный обмен заряженных частиц, и действие тока состоит лишь в том, что он сообщает этому обмену некоторое преобладающее направление к электродам. В растворе происходит самопроизвольный обмен частиц, а следовательно, разложение электролита происходит без всякого действия тока. (Там же. С. 146.)

**М. Фарадей:** Дэви, Риффо, де ля Рив и я считаем, что разложение электролита в растворе происходит только под действием тока.

**Комментатор:** «Фарадей... никак не мог мириться с мыслью, что электролиты распадаются на свои составные части (ионы) вследствие самого акта растворения». (Там же. С. 147.)

**1833 г. М. Фарадей:** В электролитах «способность переносить электричество через вещество обусловлена их способностью претерпевать разложение». Опыты показывают, что существует тесная и двусторонняя связь двух явлений: разложения и прохождения тока. При этом возможна незначительная проводимость и без разложения. (Там же. С. 132.)

**Комментатор:** «Фарадей видел необходимость количественных определений и стремился найти меру гальванического электричества. Такую меру он находит в количестве воды, разложенной током. Он проверяет эту меру всеми возможными способами, чтобы удостовериться в том, что от её применения не может получиться никакой ошибки. Он помещает на пути одного и того же тока ряды элементов с электродами различных размеров (в одном случае это были платиновые пластинки, в другом — просто платиновые проволоки) и собирает газ, образовавшийся на каждой отдельной паре электродов. Оказывается, что количество образовавшегося газа одно и то же для всех случаев». (Там же. С. 132–133.)

**1833 г. М. Фарадей:** Многочисленные опыты показали, что «два иона, происходящие из одной молекулы, обладают равными и противоположными электрическими зарядами, и ... эти заряды имеют одинаковую абсолютную величину для ионов одновалентных и увеличенную вдвое для двухвалентных и т.д. Этот заряд имеет одинаковую величину для всякого химического атома». (Там же. С. 133.)

**1853 г. В. Гитторф**<sup>70</sup>: Но при более точных методах проведения опытов оказывается, что при электролизе концентрация слоев жидкости у катода и у анода меняется неодинаково. Опыты показали, что «при электролизе движение катиона и аниона происходит с различной скоростью». (Там же. С. 142.)

**Комментатор:** «В то время как Фарадей изучал главным образом природу и количества веществ, выделяющихся на электродах электрическим током, Гитторф занялся исследованием изменений концентрации самого электролита, происходящих у электродов». (Там же. С. 142.)

**В. Гитторф:** Электролиты — «это соли, способные к реакциям двойного обмена, те части молекул (атомы или их группы), которыми вещества обмениваются, т.е. ионы, которые образуются во время электролитического разложения. Только эти части и перемещаются в противоположном к электродам направлении с различной, определённой для каждого иона скоростью, чем обуславливается изменение концентрации у электродов. Если нет таких частей в молекуле, то вещество является непроводником». (Там же. С. 144.) Все «сложные тела, которые проявляют себя как хорошие проводники тока, постоянно взаимно обменивают свои ионы, если они касаются друг друга в жидком состоянии». (Там же. С. 145.)

**Комментатор:** «Работы Гитторфа весьма характерны для целого периода развития электрохимии, когда термин «соль» стал основным предметом и центром, вокруг которого вращалась электрохимия. На растворитель в это время мало обращали внимания. Растворитель — это только среда, в которой электролиты свободно обмениваются своими составными частями». (Там же. С. 146.) При дальнейшем развитии электрохимии и теории растворов обстоятельства заставили учёных обратить главное внимание на свойства растворителей.

## 2. ТЕОРИЯ ОСМОТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

**А:** растворы подобны газам; растворитель пассивен, а растворённое вещество активно; важно выяснить механизм осмотического давления, а не его причину.

**В:** растворы имеют свою специфику, и их не следует уподоблять газам; растворитель не менее, а порой даже и более активен, чем растворённое вещество; важно выяснить причину осмотического давления, а не ограничиваться выяснением его механизма.

<sup>70</sup> Гитторф (Иоганн Вильгельм, 1824–1914) — немецкий физик и химик. В 1847–1889 годах работал в университете Мюнстера. Основные работы сделаны Гитторфом в области электрохимии. Изучая процессы прохождения электрического тока через растворы электролитов, установил, что вблизи электродов скорости движения катионов и анионов различны. На основании сделанных экспериментов вычислил числа переноса ионов.

**1826–1837 гг. Р. Дютроше:** Величина осмотического давления зависит от природы перепонки, растворённого вещества, от концентрации и изменения температуры. «Из двух жидкостей, разделённых перепонкой ... протекает быстрее та, которая имеет большее сродство к перепонке». (Соловьев Ю. И. История учения о растворах. — М., 1959, С. 82.)

**1843 г. Э. Брюке:** Осмос зависит непосредственно от степени притяжения диосмирующих жидкостей к перепонке.

**Ю. Либих:** Жидкость всегда переливается на ту сторону от перепонки, где находится больше соли, и тем скорее, чем больше разница между содержанием соли в обеих жидкостях. (Там же. С. 82.)

**1866 г. И. Траубе:** Поры различных перепонки различны по величине и пропускают только такие вещества, молекулярный объём которых достаточно мал. Эти перепонки представляют собой как бы «атомные сита», с помощью которых можно было бы определять «относительную величину атомов».

**Р. Дютроше:** Открытые Траубе перегородки проницаемы только для одного из компонентов раствора — растворителя.

**В. Оствальд:** Перегородки проницаемы лишь для некоторых определённых ионов.

**Г. Тамман:** С идеей о том, что перепонки представляют собой «атомные сита», нужно быть осторожнее. Опыты показывают, что проницаемость вещества есть функция его растворимости в перепонке. (Там же. С. 84.) Плёнки представляют собой гидратные тела, подобные тонким слоям жидкости. «Свежеосаждённые перепонки к некоторым веществам относятся как растворители, впитывают их в себя и выделяют на противоположной стороне; содержание воды в плёнках зависит от упругости паров окружающих плёнку растворов». (Там же. С. 84.)

**П. И. Вальден:** Как электролиты, так и неэлектролиты способны проникать через перепонки. «Способность прохождения различных ионов и молекул через полупроницаемую перегородку зависит не столько от их величины, сколько от их природы, например, от атомности оснований и кислот». (Там же. С. 84.)

**Комментатор:** «Вальден связывал явление диосмирования через плёнки с образованием твёрдых растворов аморфных тел». (Там же. С. 84.)

**1877 г. В. Пфеффер:** Растворитель притекает в находящийся в осмотической клетке раствор до тех пор, пока между раствором и растворителем не устанавливается определённая разность давления, которую легко измерить манометром. «Её величина зависит как от концентрации раствора, так и от температуры. Одинаковое изменение концентрации вызывает одинаковое изменение осмотического давления независимо от химической природы растворённого вещества». (Там же. С. 85.)

**Комментатор:** «Пфеффер нашёл, что осмотическое давление всех без исключения растворов увеличивается с возрастанием температуры. Осмо-

тическое давление направлено от растворителя к раствору и действует до тех пор, пока противоположное давление в растворе его не уравнивает.

(Там же. С. 85.)

**1886 г. Я. Г. Вант-Гофф:** Существует абсолютное тождество физических свойств растворов и газов. «Чистая вода или более слабый раствор играют роль пустоты и разреженного пространства для растворённого вещества, которое стремится занять по возможности больший объём. Если это так, то должно обнаружиться осмотическое давление на перегородку, помещённую между раствором и водою». (Там же. С. 88.) Осмотическое давление пропорционально концентрации при постоянстве температуры (закон Бойля для растворов). Осмотическое давление пропорционально абсолютной температуре при постоянстве концентрации (закон Гей-Люссака для растворов). Эквивалентные количества растворённых веществ производят при одинаковых условиях одинаковое давление.

**Комментатор:** «К концентрированным растворам выведенные закономерности оказались неприменимыми. Дальнейшие исследования (Кистяковский, Эван, Банкрофт и др.) было показано, что закон Вант-Гоффа верен, если теплота растворения равняется нулю». (Там же. С. 89.)

**1887 г. Я. Г. Вант-Гофф:** Законы идеальных газов целиком справедливы для сильно разведённых растворов, где роль газового давления играет равное ему осмотическое.

**Комментатор:** «После того, как Вант-Гофф показал, что одна и та же формула может выражать связь между давлением, объёмом и температурой для газообразного состояния вещества и для состояния его в сильно разбавленных растворах, объяснение причин осмотического давления, которое он дал, было принято его последователями (Оствальд, Бредиг, Нойес, Больцман, Рикке, Лоренц и др.), обратившими внимание исключительно на кинетическую трактовку причин осмотического давления. По их мнению, растворы представляют простую механическую смесь частиц растворённого вещества и растворителя, в типичнейших случаях настолько индифферентных друг к другу, что растворитель служит лишь пространством, в котором растворённое вещество может принимать состояние, подобное газообразному». (Там же. С. 216–217.)

**1884–1886 гг. Я. Г. Вант-Гофф:** Притяжение растворённого вещества к растворителю и уменьшение упругости пара раствора — являются следствием одной и той же причины.

**1890 г. Л. Мейер:** Мнение, что осмотическое давление, как и газовое, является результатом ударов молекул растворённого вещества о непроницаемую для него стенку, *неправильно*. «Осмотическим давлением», как известно, называется избыточное давление, образующееся в растворе, если последний отделён от чистого растворителя «полу проницаемой» перепонкой, т.е. пропускающей растворитель, но не раствор, например, в водном растворе саха-

ра, если последний отделён от чистой воды перепонкой  $\text{CuFe}(\text{CN})_6$ ». (Цит. по: там же. С. 218.)

**Я. Вант-Гофф:** Есть аналогия между этим сверхдавлением и давлением газов. Осмотическое давление вызывается ударами молекул растворённого тела о полупроницаемую перепонку, так как давление растворителя, находящегося по обе стороны перепонки, не идёт в счёт.

**Л. Мейер:** «Мне кажется, что это воззрение не соответствует фактическому положению. Осмотическое давление представляет собою давление не растворённого тела, а растворителя, давление не сахара, а воды, или, вообще говоря, давление того вещества, которое пропускается стенкою, а не того, которое она не пропускает». (Цит. по: там же. С. 218.)

**Ф. Рауль:** опыты показали, что: «1) осмос между двумя жидкостями может быть различён не только по своей силе, но и в зависимости от перепонки он может изменять своё направление, 2) что осмотическое движение через диафрагму не зависит от молекулярного веса вещества и от того, представляется ли вещество в растворённом состоянии или является растворителем». (Там же. С. 218.)

**Л. Мейер:** Равенство двух величин давления (газового и осмотического) вовсе не доказывает идентичности их происхождения. (Там же. С. 218.)

**1892 г. Я. Вант-Гофф:** «Мы ещё раз встречаемся с бесплодным, в сущности, вопросом о том, чем вызывается осмотическое давление. На самом деле, как уже было подчёркнуто, меня занимает, в конце концов, только его величина, а так как последняя оказалась равной величине газового давления, то склонны думать, что и механизм осмотического давления подобен тому, какой мы находим в случае давления газа. Однако пусть тот, которого этот взгляд смущает, попросту оставит совершенно в стороне вопрос о самом механизме явления». (Цит. по: там же. С. 220.) Для развития теории достаточно придерживаться лишь указанной мною аналогии. То есть в «идеальном случае» бесконечного разбавления мы будем вправе рассматривать осмотическое давление, как явление кинетического характера, и тогда мы получим такую простую картину соответствия его с газовым явлением». (Цит. по: там же. С. 220.)

**Комментатор:** «Но последователи Вант-Гоффа недопустимым образом перешагнули область применения идеальных формул. Они перенесли кинетические представления о газах и на растворы различной концентрации и рассматривали давление растворённого вещества, как следствие ударов их молекул и ионов о стенки полупроницаемой перегородки. Равенство осмотического давления и газового обуславливается, по их мнению, равенством кинетической энергии молекул в состоянии газа и раствора». (Там же. С. 220–221.)

**1895 г. В. Оствальд:** Те трудности, с которыми столкнулась теория Вант-Гоффа при объяснении причины осмотического давления, «являются трудностями, связанными с кинетической гипотезой, а не с трудностями теории Вант-Гоффа, а потому их и нужно разрешать в области первой; если это не

удастся, то мы имеем здесь аргумент против пригодности первой, а не против правильности последней». (Цит. по: там же. С. 222.)

**А. А. Яковкин:** Причина осмотического давления лежит «во взаимодействии растворённого вещества с растворителем. Ближайшим следствием этого процесса является понижение упругости пара раствора, пропорциональное осмотическому давлению. Как уменьшение упругости пара раствора, так и осмотическое давление определяются притяжением растворённого вещества к растворителю. Основную роль в изменении упругости пара и температур кипения и замерзания раствора играют, таким образом, изменения свойств растворителя, а не свойства растворённого вещества, как считали последователи Вант-Гоффа». (Там же. С. 225.) При этом кинетическая гипотеза последних не должна дискредитировать теорию Вант-Гоффа.

**Д. П. Коновалов:** Равновесие между двумя жидкостями, «разделёнными полупроницаемой перегородкой, определяется равенством упругостей пара по обе стороны перегородки, т.е. осмотическое давление будет представлять давление, которое нужно приложить к раствору, чтобы увеличить его упругость пара на величину, равную потере упругости пара при растворении взятого вещества». (Там же. С. 228.)

**1894–1895 гг. Я. Ван-Лаар:** Причиной осмотического давления и диффузии является «разница между свободной энергией или активностью растворителя в свободном состоянии и в растворе. Эта разность энергии обнаруживается в виде различия между давлением пара растворителя и раствора. Поэтому, если раствор находится в соприкосновении с чистым растворителем, то в силу этой разницы энергии происходит диффузия растворителя из области чистого растворителя, где активность больше, в раствор, где активность растворителя меньше». (Там же. С. 231.)

### 3. ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ДИССОЦИАЦИИ (ИОННАЯ ТЕОРИЯ) С. АРРЕНИУСА И ГИДРАТНАЯ ТЕОРИЯ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

**Комментатор:** К 1880 гг. были высказаны предположения о распаде электролита в растворе на ионы без воздействия электрического тока. «Однако эти эпизодические высказывания не изменили убеждённости большинства химиков в том, что разложение электролита в растворе происходит только под влиянием электрического тока. В течение длительного периода развития химии были проведены многочисленные исследования свойств и состава солей, кислот и оснований, которые породили и укрепили среди химиков твёрдое убеждение в том, что соединения, образовавшиеся с выделением большого количества тепла, являются весьма прочными. Поэтому представление о том, что наиболее прочные соединения, такие, например, как соли, распадаются на ионы при акте растворения, казалось совершен-

но абсурдным. Для химика было также странно и непонятно, как, например, хлор и калий в виде отдельных атомов при разложении поваренной соли могут существовать в свободном состоянии.

Установившиеся в то время представления о неизменности природы атома казались несовместимыми с признанием ионов в качестве особого вида состояния материи. Различие между электрически заряженным ионом и обыкновенным атомом было тогда совершенно новым представлением. Это было время, когда атомы считались неделимыми частицами материи, их сложная структура была неизвестна. Предполагалось, что атомы существовали неизменными в прошлом, не изменяясь, будут существовать и в дальнейшем. Атомы, таким образом, были одарены вечной неизменяемостью. Трудно было понять, откуда появляются электрические заряды у ионов, образующихся при диссоциации электронейтральных молекул кислот, оснований и солей. Поэтому идея о самопроизвольном распаде молекулы электролита на ионы в растворе считалась мало вероятной. <...> Понятие об ионе исторически сложилось в области электрохимии и долгое время для «чистых» химиков оно оставалось чуждым и непонятным, несмотря на то, что они часто изучали ионные реакции. Для того чтобы восторжествовали представления о том, что ионы, как составные части солей, кислот и оснований обладают характерными индивидуальными химическими реакциями, потребовалась большая ломка старых убеждений и систем». (Там же. С. 172–173.)

#### **А: Ионная (физическая) теория растворов, теория электролитической диссоциации:**

механистический подход, в центре внимания сильно разбавленные (слабо концентрированные) растворы, постоянство диссоциации, игнорирование тесной связи между ионами и частицами растворителя, использование не только химических, но и физико-математических формул в объяснении явлений, шведо-голландско-германские представители физической и химической науки.

**(А) Странники Аррениуса («ионисты»):** В. Оствальд, М. Планк, В. Нернст, И. А. Каблуков, В. А. Кистяковский, С. М. Танатар, Н. П. Клобуков, А. А. Яковкин, В. А. Плотников, Л. В. Писаржевский и др.

**(А) С. Аррениус:** «Когда я решил зимой 1882/83 года предпринять исследования проводимости разбавленных растворов, мне казалось особенно важным для успеха этих опытов исследовать прежде всего крайне разбавленные водные растворы. В этом отношении в физической литературе оказались весьма большие пробелы. Отдельные опубликованные исследования были выполнены Ленцем. Однако в его работе, с одной стороны, исследования касались лишь соединений калия, натрия, аммония и водорода, с другой

стороны, — разбавление этих растворов не было доведено до той степени, как мне бы хотелось». (Цит. по: там же. С. 174–175.)

(А) **Р. Ленц**<sup>71</sup>: При растворении в результате действия растворителя происходит распадение молекул растворённого вещества на частицы, которые, взаимодействуя с водой, образуют более сложные частицы. Когда «мы переходим от более сильных концентраций к более слабым, все растворы, как водные, так и спиртовые, распадаются на простые молекулы, так что, следовательно, при разбавлении раствора наступает диссоциация солей». (Там же. С. 156.)

**Комментатор:** В своей докторской диссертации Аррениус осторожничает, чтобы избежать нападков коллег, считавших, что электролит в растворе распадается на ионы только под влиянием электрического тока, и вместо выражений «диссоциированные» молекулы и «степень диссоциации» использует — «активные молекулы» и «коэффициент активности».

(А) **С. Аррениус:** «Коэффициент активности электролита указывает на фактически имеющееся в растворе число ионов, отнесённое к тому числу ионов, которое было бы в растворе в случае, если электролит полностью расщеплён на простые электролитические молекулы». (Цит. по: там же. С. 177.) Каждый ион связан с определённым количеством электричества, анион с отрицательным, катион с положительным. «Ионы химически эквивалентных смесей соединяются с равными количествами электричества. Между катионами и анионами различных молекул происходит постоянный обмен». (Там же. С. 177.) Для кислот и оснований существует полная пропорциональность между коэффициентом химической активности этих веществ и их электропроводностью. «Кислоты и основания, которые оказались лучшими проводниками электричества, являются вместе с тем и более реакционноспособными». (Там же. С. 178.)

(bA) **В. Оствальд**<sup>72</sup>: «Я в течение всей моей жизни не забуду дня, когда

<sup>71</sup> **Ленц (Роберт Эмильевич, 1833–1903)** — физик и химик, сын знаменитого физика Э. Х. Ленца. Окончил Петербургский университет, читал физику в технологическом институте и Санкт-Петербургском университете. В 1889 г. назначен управляющим экспедицией заготовления государственных бумаг. Степень магистра физики получил за диссертацию «О магнитных аномалиях в Финском заливе» (1862), степень доктора — за «Исследования о влиянии температуры на теплопроводность металлов» (1869). Список его научных работ помещён в «Журнале Русского Физико-Химического Общества» 1903 года.

<sup>72</sup> **Оствальд (Вильгельм Фридрих, 1853–1932)** — балтийский немец, физико-химик и философ-идеалист, лауреат Нобелевской премии по химии 1909 года. Основные научные работы Оствальда посвящены развитию теории электролитической диссоциации. Обнаружил связь электропроводности растворов кислот со степенью их электролитической диссоциации (1884). Дал способ определения основности кислот по электропроводности их растворов (1887–1888). Установил закон разбавления Оствальда (1888). Впервые описал явление Оствальдовского созревания. Предложил рассматривать реакции аналитической химии как взаимодействия между ионами (1894). Оствальд изучал также вопросы химической кинетики и катализа. Разработал основы каталитического окисления аммиака. В 1909 году Оствальд стал лауреатом Нобелевской премии по химии «за изучение природы катализа и основополагающие исследования скоростей химических реакций».

я впервые узнал имя Сванте Аррениуса. Это было в июне 1884 года, когда мне попала в руки работа «Recherches sur la conductibilité galvanique des electrolytes». Было слишком трудно её сразу одолеть, и я провёл лихорадочную ночь со скверными снами. То, что было написано в работе, настолько было отлично от привычного и известного, что я сначала был склонен всё в целом принять за бессмыслицу. Но затем я открыл несколько вычислений, очевидно, очень молодого автора, которые касались величин сродства кислот и привели его к результатам, хорошо совпадавшим с теми, к которым я пришёл совсем другим путём. И, наконец, я мог убедиться в том, что большая проблема сродства между кислотами и основаниями, которой я предполагал посвятить почти всю свою жизнь, была разрешена». (Цит. по: там же. С. 178.)

(А) **С. Аррениус:** В то время «передо мной было два пути для вычисления степени диссоциации, с одной стороны посредством понижения точки замерзания, с другой — из проводимости. Оба они в подавляющем большинстве случаев дали один и тот же результат, и я мог открыто говорить о диссоциации электролитов». (Цит. по: там же. С. 179–180.)

(bA) **В. Оствальд:** Электропроводность кислот увеличивается с разбавлением, причём величины эквивалентной электропроводности асимптотически приближаются к некоторой предельной величине, значение которой для водных растворов электролитов (кислот, оснований и солей) очень близко, но не совершенно тождественно. (Там же. С. 197–198.)

(А) **Л. Каленберг**<sup>73</sup>: То есть именно поэтому так мало уделяется внимания неводным растворам?

**1893–1895 гг. (bA) В. Оствальд:** Неводные растворы не могут проводить тока, так у всех растворителей, кроме воды, отсутствует диссоциирующая способность. «Вода, относительно своей способности образовывать электролитические растворы или расщеплять вещества на ионы, занимает исключительное положение, которое не присуще в приблизительно одинаковой степени ни одному другому веществу». (Цит. по: там же. С. 436.)

**Комментатор:** В последующие годы «были получены результаты, показывающие, что неводные растворы не только обнаруживают электропроводность, но что последняя даже часто больше, чем электропроводность соответствующего электролита в воде. С другой стороны, вещества, обладающие нормальным молекулярным весом, в таких растворителях сплошь и рядом проводят ток в весьма значительной степени». (Там же. С. 436.)

<sup>73</sup> **Каленберг (Луис, 1870–1931)** — Родился в штате Висконсин. Его дипломная работа была сделана в университете Висконсина. Затем он учился в Лейпцигском университете, где получил степень доктора философии. Почти двадцать пять лет он был помощником редактора «Журнала физической химии». Он занимался исследованиями в самых разных областях: физико-химии, электрохимии и физиологии, теплоёмкости, упругости паров, осмоса, равновесия, гидролиза целлюлозы и т. д.

## 1889–1912 гг. ДИСКУССИЯ О СТЕПЕНИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ НЕВОДНЫХ РАСТВОРОВ

**И. А. Каблуков**<sup>74</sup>: Молекулярная электропроводность хлористого водорода в эфире приблизительно в пять раз больше электропроводности такого же раствора хлористого водорода в ксилоле. (Там же. С. 441.)

**А. В. Сперанский**<sup>75</sup>: Каблукову надо быстрее публиковать результаты своих исследований об аномальной электропроводности в неводных растворах. Дело в том, что американец Вакеман, работающий у Оствальда второй семестр «над растворами уксусной и монобромуксусной кислот (кажется, только над этими)», нашёл, что «молекулярная электропроводность с разведением не увеличивается, а уменьшается. Работу свою он пишет, вряд ли скоро напечатает, ... так как Оствальд очень огорчён этим открытием». (Цит. по: там же. С. 442.)

**И. А. Каблуков**: Изменение электропроводности хлористого водорода в различных растворителях можно объяснить следующим образом. «В воде HCl диссоциирует на ионы нацело уже при небольшом разведении, в метиловом спирте диссоциация на ионы уже меньше, в следующих спиртах диссоциация ещё менее значительная, и, наконец, в углеводородах диссоциация HCl почти не наблюдается». (Там же. С. 442.)

**С. Аррениус**: Уменьшение электропроводности в водно-спиртовых растворах «зависит главным образом от увеличения трения ионов в смешанном растворителе, а не от понижения диссоциации». (Там же. С. 443.)

**И. А. Каблуков**: Исследования показывают, что «электропроводность уменьшается быстрее, чем увеличивается вязкость спирта, и, ... следовательно, уменьшение электропроводности нельзя объяснить только увеличением сопротивления, которое оказывают частицы спирта движущимся ионам, но приходится признать также, что спирты действуют на хлористый водород менее диссоциирующим образом, чем вода». (Там же. С. 443.)

<sup>74</sup> **Каблуков (Иван Алексеевич, 1857–1942)** — русский физико-химик. Основные научные работы И. А. Каблукова относятся к электрохимии неводных растворов. В 1889–1891 гг. установил аномальную проводимость неводных растворов электролитов и обнаружил увеличение проводимости при добавлении воды к спиртовым растворам. На основании этих наблюдений высказал предположение о наличии химического взаимодействия между растворителем и растворяемым веществом. Одновременно и независимо от В. А. Кистяковского ввёл представление о сольватации ионов. Их работы положили начало сближению физической и химической теорий растворов.

<sup>75</sup> **Сперанский А. В.** Не найдено биографических сведений. Известно только, что в 1890 г. он бывал в Москве, работал в Лейпцигской лаборатории у Оствальда, был хорошим знакомым И. А. Каблукова и С. Аррениуса. В 1904 г. была опубликована его монография «О твёрдых растворах, образуемых двумя компонентами».

**П. Вальден**<sup>76</sup>: В неводных растворах «небольшие числовые значения электропроводности часто соответствуют наивысшим степеням диссоциации и, наоборот, незначительные степени диссоциации часто соответствуют наивысшим числовым величинам электропроводности (например, в жидком аммиаке и двуокиси серы). Оказалось, что вода не является единственным отличным диссоциирующим средством, а что среди неводных растворителей существуют такие, которые превосходят воду по диссоциирующей силе (например, формамид)». (Там же. С. 457.)

**С. Аррениус** (к Вальдену): «Могу от души поздравить Вас с вашей совершенно не ослабевающей продуктивностью. Ваша статья о формамиде — одна из самых интересных, какие я прочёл за последнее время». (Цит. по: там же. С. 462.)

**Комментатор**: «Попытки объяснить аномалии сильных электролитов ... исходя из представлений об увеличении скорости движения ионов с концентрацией (Ян, 1900), об увеличении диссоциирующей силы растворителя с увеличением концентрации ионов (Эйлер, 1899, Вальден), о влиянии процессов сольватации и комплексообразования (Бильц и др.), оказались не только бессильными, но и ошибочными, как показали дальнейшие работы». (Там же. С. 486.)

<sup>76</sup> **Вальден (Павел Иванович (Пауль), 1863–1957)** — русский, латвийский, затем немецкий химик, профессор Рижского Политехнического института (1894–1918), ординарный академик Петербургской Академии Наук (с 1910), иностранный почётный член АН СССР (1927). Труды по электрохимии растворов, оптической изомерии (открыл т.н. вальденовское обращение), истории химии. Вальден родился в Розулской волости Лифляндской губернии (ныне Латвия) в большой крестьянской семье. В возрасте четырех лет он потерял отца, а позже и мать. Благодаря финансовой поддержке двух его старших братьев, которые жили в Риге (один был купцом, а другой служил и имел звание лейтенанта), Вальден сумел завершить свое образование — сначала с отличием окончил уездное училище в городе Цесис (1876), а затем и Рижскую техническую школу (1882). В декабре 1882 года он поступил в Рижский политехникум и серьёзно заинтересовался химией. В 1886 году он опубликовал свои первые научные исследования по цветным реакциям азотной и азотистой кислоты с различными реагентами и установлению пределов чувствительности цветного метода обнаружения азотной кислоты. В апреле 1887 года он был избран членом Русского физико-химического общества. В это время Вальден начал сотрудничество с Вильгельмом Оствальдом (лауреатом Нобелевской премии по химии 1909), что значительно повлияло на его развитие как учёного. Их первая совместная работа была опубликована в 1887 году и посвящена зависимости электропроводности водных растворов солей от их молекулярной массы. В 1902 году он предложил теорию автодиссоциации неорганических и органических растворителей. В 1905 году он обнаружил связь между удельной проводимостью и вязкостью в жидких электролитах. В 1906 году ввёл термин «сольватация». Вместе со стереохимическими работами эти результаты принесли ему известность, в частности, он номинировался на Нобелевскую премию по химии в 1913 и 1914 гг. Вальден был также известен как талантливый преподаватель химии. В своих мемуарах он писал: «Моя аудитория обычно бывает переполнена, и благожелательная реакция слушателей дает мне силы... в моих лекциях я импровизировал, чтобы привнести свежесть в изложение... Я никогда не считал преподавание бременем».



**Я. Ван-Лаар**<sup>77</sup>: Для дальнейшего развития теории электролитической диссоциации, необходимо учитывать сильное электростатическое поле ионов, которое не может не оказывать влияния на обычные условия диссоциации. (Там же. С. 487.)

**Комментатор:** Итак, необходим учёт электростатических взаимодействий ионов. Почему же Аррениус, введя понятие о свободных заряженных ионах в растворах, «долгое время совершенно пренебрегал действием электрических сил между зарядами ионов», а его формулы не учитывали влияния электрических зарядов ионов? «Это, по-видимому, было связано с тем, что Аррениус, Вант-Гофф, Оствальд и их ученики изучали главным образом сильно разбавленные растворы, в которых можно пренебречь силами взаимодействия между ионами, так как оно здесь сведено до минимума». (Там же. С. 487.)

**Я. Ван-Лаар:** Уменьшение «электропроводности, осмотического и химического действия ионов с повышением концентрации объясняется не ослаблением диссоциации, а следовательно, и не уменьшением числа ионов, а взаимным электростатическим влиянием ионов, ограничивающим свободу их движения». (Там же. С. 487–488.)

**У. Сазерленд**<sup>78</sup>: Электрический заряд иона «индуцирует вокруг себя в растворителе новый заряд, равный по величине, но противоположный по

<sup>77</sup> **Ван Лаар (Йоханнес (Якоб), 1860–1938)** — голландский химик, известный своим уравнением Ван Лаара. Ван Лаар рано потерял родителей. С этого момента его стал воспитывать дядя Н. А. Рост ван Tonningen. Он закончил школу в 1876 году и вступил в Королевский военно-морской институт в Willemsoord. После нескольких плаваний он дослужился до звания младшего лейтенанта. Лаар начал свои исследования в области физической химии и математики в Университете Амстердама в 1891 году. Его образование не позволяло ему получить степень доктора наук, и поэтому карьеру в голландском университете было осуществить почти невозможно. После того как он поработал учителем в средней школе, он стал искать место преподавателя в университете Амстердама. В 1902 году он становится платным лектором. В 1907 году. Лаар был назначен преподавателем математической химии, но не был принят на должность профессора в 1910 году. Этот отказ привел его к умственному расстройству, и поэтому он ушел со своего поста. Между 1881 и 1884 гг. он учился вместе с Вант-Гоффом и Ван-дер-Ваальсом. В 1930 году стал членом Королевской Нидерландской академии искусств и наук.

<sup>78</sup> **Сазерленд (Уильям, 1859–1911)** — австралийский физик-теоретик и физико-химик, родился 24 августа 1859 г. в Глазго, Шотландия, сын Джорджа Сазерленда, резчика по дереву, и его жены Джейн, в девичестве Смит. Эта семья мигрировала в Сидней в 1864 году, а затем поселилась в Мельбурне в 1870 году. Семья была сплочённая и увлечённая интеллектуальной и художественной деятельностью. Прочувшись в Уэсли колледже, в 1876 году Сазерленд поступил в Университет Мельбурна, который окончил с отличием в области естественных наук. Вместо получения диплома инженера он уехал в Англию, чтобы получать стипендию Gilchrist, которой он был удостоен для дальнейшего изучения наук в Университетском колледже в Лондоне. Там в 1881 году получил с отличием звание бакалавра по теоретической и экспериментальной физике. В последующем он оказался неудачным претендентом на должности на кафедры химии (1884) и физики (1885) Университета Аделаиды. В 1885 году Сазерленд послал свою первую научную работу в Лондон для публикации в одном из ведущих мировых журналов по физике,

знаку; вследствие этого между ионами и молекулами растворителя действуют электростатические притяжения, которые также препятствуют передвижению ионов и создают, таким образом, новый вид вязкости электрического происхождения». (Там же. С. 492.)

**Комментатор:** Дискуссия продолжалась и дальше, но уже на том историческом этапе можно было отметить, что при переходе к более высоким концентрациям растворов «помимо физических (электростатических) факторов начинают действовать другие факторы, характер которых очень близок к химическим. На первый план здесь выступают явления ионной ассоциации, сольватации, комплексообразования, изменения состояния растворителя, его ассоциации и структуры». (Там же. С. 509.)

## ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ

**Вопрос сторонников гидратной теории:** Почему именно те вещества, сродство атомов которых наиболее значительно, как, например, соли, сильные кислоты и основания, легче других распадаются на ионы? Кажется неправдоподобным, что при таком процессе, каким является растворение, электролиты распадаются на свои составные части при обычных условиях. (Там же. С. 253.)

**Ответ сторонников ионной теории:** «В процессе электролитической диссоциации, например, поваренной соли, образуются не атомы Na и Cl, а ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , которые обладают в связи с электрическим зарядом особыми специфическими свойствами, резко отличными от электрически нейтральных атомов. Заряд электричества сильно изменяет свойства атомов; благодаря ему, возможно, например, существование таких групп атомов

Philosophical Magazine. В целом он опубликовал семьдесят восемь научных работ, в основном в крупных международных журналах. Поскольку он не имел доступа к лаборатории, его исследования были почти полностью ограничены теоретическими исследованиями, главным образом в области молекулярной динамики. Его подход был основан на предположении, что частицы, из которых состоит материя, оказывают силу друг на друга в дополнение к гравитации. Хотя его теория контрастирует с теорией Людвиг Больцмана и других современников (которые приняли чисто кинематическое мировоззрение), в настоящее время она оказалась широко принята. Сазерленд много писал для международной аудитории, рассматривая такие вопросы, как поверхностное натяжение жидкости, диффузия, жёсткость твёрдых тел, анализ структуры воды, происхождение спектров и источников магнитного поля Земли. К его идеям всегда относились с уважением, но они всё же не получили широкого признания. Будучи человеком скромным и непритязательным, Сазерленд отстаивал свои взгляды довольно энергично. Немного застенчивый, но проявлявший глубокую привязанность к тем, кто его знал, он никогда не женился. Сазерленд умер от разрыва сердца 5 октября 1911 г. в Кью в доме его семьи и был похоронен в Мельбурне на общем кладбище.

(как, например,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и т.п.), которые в свободном состоянии без электрического заряда неизвестны». (Там же. С. 254.)

**Вопрос сторонников гидратной теории:** Непонятно, как могут такие атомы, как K, Na и др., находиться в совершенно свободном состоянии в водном растворе, не разлагая воды? (Там же. С. 253.)

**Ответ сторонников ионной теории:** ...

**В: Гидратная (химическая) теория растворов, теория электролитических ассоциатов:** химический подход, внимание не только к слабым, но и сильно концентрированным (крепким) растворам, чередование диссоциации и ассоциации, учёт тесной связи между ионами и частицами растворителя, избегание математизации в объяснении явлений, англо-франко-русские представители химической науки.

**(В) Сторонники Менделеева («гидратисты»):** Н. Н. Бекетов, Д. П. Коновалов, А. Л. Потылицын, Г. Г. Густавсон, В. Ф. Алексеев, Д. П. Турбаба, П. Д. Хрущов, В. Ф. Тимофеев, Ф. М. Флавицкий, А. В. Сапожников, А. Г. Дорошевский; в Англии — С. Пикеринг, Г. Джонс, Г. Э. Армстронг, Фицджеральд; в США — Каленберг и др., в Германии — И. Траубе и Видеман, во Франции — почти все химики во главе с М. Берто.

**1889 г. (В) Д. И. Менделеев:** «Во мне тем сильнее возродился ряд сомнений относительно диссоциации электролитов, что долговременное изучение растворов привело меня к тому представлению, что в растворах находятся всегда диссоциированные системы, но не самих растворённых тел, а определённых жидких их гидратов, подобных расплавленным кристаллогидратам (напр.  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), или таким нестойким соединениям, как гидраты Вроблевского<sup>79</sup>, Розебома<sup>80</sup> и др... Диссоциацию и обменное разложение частиц

<sup>79</sup> **Вроблевский (Эдуард Антонович 1848–1892)** — русский химик-органик. Окончил Петербургский технологический институт (с 1875 г. профессор). В 1870 г. открыл реакцию замещения диазогруппы этоксигруппой. В 1876 г. В. показал, что оба орто-изомера толудина (1,2 и 1,6) тождественны, равно как и оба мета-изомера бромтолуола (1,3 и 1,5), но что возможно существование только одного пара-изомера. Доказал также равноценность всех 6 ти атомов водорода в кольце бензола.

<sup>80</sup> **Розебом (Хендрик Биллем Бакхёйс, 1854–1907)** — нидерландский физико-химик. Учился в Лейденском университете, с 1878 г. работал там же. С 1896 г. профессор университета в Амстердаме. Основные труды посвящены гетерогенным равновесиям в системах из одного, двух и трёх компонентов, в частности равновесиям в водносолевых системах ( $\text{H}_2\text{O} - \text{CaCl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O} - \text{FeCl}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{MgSO}_4$  и др.). Установил Розебома правила, впервые обобщил экспериментальные данные о железоуглеродистых сплавах в диаграмме состояния системы Fe — C (так называемая диаграмма Розебома, 1900). Эти работы положили начало применению теории гетерогенных равновесий в химии, химической технологии, минералогии, металлургии, металловедении и др. областях науки.

образовавшихся гидратов я признаю во всяком растворе... и мне кажется, что такое представление о растворах может удовлетворить тем требованиям, которые заставляют Аррениуса, Планка<sup>81</sup> и Оствальда признать в слабых растворах диссоциацию электролитов на ионы». (Цит. по: там же. С. 257.)

**Комментатор:** Поскольку Аррениус, Планк и Оствальд стали объяснять для электролитов различия изотонического коэффициента  $i$  от 1 (например, для KCl, NaCl, для  $\text{Na}_2\text{CO}_3$   $i$  близко к 2) тем, что в растворах эти вещества они приняли диссоциированными на отдельные ионы, то Менделеев возмущился и привёл примеры, показывающие, что можно не прибегать к теории Аррениуса при вычислении коэффициента  $i$ .

**Я. Вант-Гофф:** При вычислении осмотического давления раствора коэффициент  $i$  можно определять обычно четырьмя способами: (1) из наблюдений над растворимостью газов, (2) из понижения упругости пара растворов, (3) из осмотического давления, (4) из понижения точки замерзания.

**(А) С. Аррениус:** Коэффициент  $i$  из формулы Вант-Гоффа правильно объясняется только теорией электролитической диссоциации.

**(В) Д. И. Менделеев:** А теорией гидратов?

**(А) С. Аррениус:** Нет. Ионы солей и сами соли существуют в растворах без гидратов. (Там же. С. 258.)

<sup>81</sup> **Планк (Макс, 1858–1947)** — немецкий физик-теоретик, основоположник квантовой теории. Родился в Киле. Учился в Мюнхенском и Берлинском университетах, в последнем прослушал курс лекций физиков Гельмгольца и Кирхгофа и математика Вейерштрасса. В это же время тщательно проработал труды по термодинамике Клаузиуса, во многом определившие направление исследований Планка в эти годы. В 1879 г. стал доктором философии, представив к защите диссертацию «О втором законе механической теплоты». В своей диссертационной работе рассмотрел вопрос о необратимости процесса теплопроводности и дал первую общую формулировку закона возрастания энтропии. Через год после защиты получил право на преподавание теоретической физики и пять лет читал этот курс в Мюнхенском университете. В 1885 г. стал профессором теоретической физики Кильского университета. Самой значительной его публикацией в этот период стала книга «Принцип сохранения энергии», получившая премию на конкурсе философского факультета Гёттингенского университета. В 1889 г. Планк был приглашён в Берлинский университет на должность экстраординарного профессора, через три года был назначен ординарным профессором. В первые годы пребывания в Берлине занимался вопросами теории теплоты, электро- и термехимией, равновесием в газах и разбавленных растворах.

(В) И. Траубе<sup>82</sup>: Считаю, согласно теории Клаузиуса<sup>83</sup>, носителями электричества ионы, нахожу, что «для объяснения электропроводности нет надобности предполагать существование свободных ионов в растворе, а нужно лишь признать непрерывный обмен ионов от одной частицы к другой без изменения химического характера растворённой частицы. Что же касается увеличения понижения точки замерзания и упругости пара, то есть увеличения коэффициента  $i$  с увеличением количества растворителя, то он допускает, что число простых молекул увеличивается с разбавлением раствора. Комплексные молекулы распадаются на простые, которые, находясь в состоянии значительной удобоподвижности, подвергаются процессу диссоциации и ассоциации и тем обуславливают проводимость». (Там же. С. 271.)

**Комментатор:** «По Клаузиусу, при молекулярном тепловом движении, возрастающем с температурой, происходят столкновения молекул. Некоторые из этих ударов бывают настолько сильными, что одна или обе сталкивающиеся молекулы распадаются на составные части, которые незначительное время остаются свободными, а затем соединяются, образуя новую молекулу». (Там же. С. 149.) Кстати, сторонники «В» легче готовы были смириться с кратковре-

<sup>82</sup> **Траубе (Исидор, 1860–1943)** – немецкий физико-химик. Родился в Хильдесгейме. Окончил Берлинский университет (1882). Работал в Гейдельбергском (1883), Боннском (1884–1886) и Ганноверском (1886–1890) университетах и в Высшей технической школе в Берлине (1890–1934, с 1900 профессор). В 1934 г. (после прихода нацистов к власти) эмигрировал в Великобританию, где работал в Эдинбургском университете. Основные научные работы посвящены изучению поверхностных явлений (прежде всего осмоса и поверхностного натяжения жидкостей), коллоидной химии, теории катализа. Провёл физико-химические исследования биологических жидкостей (молока, мочи, желудочного сока, крови). Сконструировал вискозиметр. Открыл (независимо от П. Э. Дюкло) закономерность возрастания поверхностной активности с увеличением длины углеводородного радикала в гомологических рядах органических ПАВ (правило Траубе-Дюкло).

<sup>83</sup> **Клаузиус (Рудольф Готтлиб, 1822–1888)** – немецкий физик и математик. Университетское образование получил в Берлине, занимал кафедру физики в цюрихских артиллерийской и политехнической школах (1855 г.). Профессором университета состоял с 1857 года в Цюрихе, в 1867 г. перешёл в Вюрцбург и, наконец, с 1869 г. был профессором в Бонне. 19 мая 1865 г. за научные исследования был избран членом-корреспондентом французской академии наук (секция механики). Славу Клаузиусу создали его работы по теоретической термодинамике, до него бывшей в младенческом периоде развития. Лишь благодаря трудам Клаузиуса, одновременно с работами Джоуля, Гельмгольца и Ренкина, термодинамика получила окончательную разработку. Так, им были усовершенствованы аналитические доказательства и, что особенно важно, Клаузиус предложил одну из формулировок второго начала термодинамики, известную сейчас как формулировка Клаузиуса. Клаузиус доказал и несколько новых теорем в механической теории тепла, которые носят его имя. Им же было введено понятие энтропии. Благодаря ясности изложения Клаузиуса механическая теория тепла в самом начале своего развития стала применяться к объяснению явлений из совершенно другой области научного знания. Так, в 1867 г. устанавливается аналогия между испарением и разложением химических соединений. Кроме указанных исследований, Клаузиус известен также работами по упругости тел, по оптике и динамическому электричеству.

менным, а не со сколь угодно большим существованием свободных ионов в растворах электролитов. «Итак, в растворе в каждый момент известное число молекул распадается на составляющие их частицы. Клаузиус полагал, что электродвижущая сила проявляет своё действие в виде направляющей силы на эти временно разделённые молекулы, заставляя одни из составных частей двигаться к одному электроду, а вторые к другому. Таким образом, электродвижущая сила не разделяет молекулы на составные части и не соединяет последние, а влияет только на движение этих частиц, когда последние находятся в свободном состоянии. Проводимость электролитов возрастает с температурой, так как чем выше температура, тем больше молекулярное движение и тем больше количество свободных ионов». (Там же. С. 149.)

**Безымянный сторонник «А»:** «Клаузиус ограничился констатацией факта распада части электролита на ионы, но не показал, как можно вычислить и определить величину диссоциации электролита на ионы». (Там же. С. 149.) Тепловая теория Клаузиуса не могла объяснить, «почему легко распадаются на ионы именно те вещества, которые, как считали, обладают наиболее сильным химическим сродством, о чём свидетельствует большое выделение энергии в момент образования», а также осталось непонятным, «почему с разбавлением растворов происходит возрастание эквивалентной электропроводности, тогда как по теории Клаузиуса разведение, уменьшая вероятность столкновения молекул электролита, должно, наоборот, ухудшать электропроводность раствора». (Там же. С. 149–150.)

(В) **Ф. М. Флавицкий<sup>84</sup>:** В  $i$  раз большее (сравнительно с неэлектролитами) понижение точки замерзания электролитов в водных растворах с химической точки зрения объясняется тем, что электролиты содержат растворённые вещества не в безводном состоянии, а в виде гидратов. «В противоположность теории электролитической диссоциации, объясняющей особенности растворов, представляющих электролиты диссоциацией растворённых веществ, предлагаемая мной гидратная теория исходит из представления об

<sup>84</sup> **Флавицкий (Флавиан Михайлович, 1848–1917)** – русский химик-органик, член-корреспондент Петербургской академии наук (с 1907 г.). По окончании Харьковского университета (1869 г.) работал в Петербурге в лаборатории А. М. Бутлерова (1870–1873 гг.). В 1873 г. Ф. М. Флавицкий в Харьковском университете защищает диссертацию на право чтения лекций «Соотношение физических свойств с химическим строением» и в этом же году принимает предложение А. М. Зайцева перейти на должность хранителя музея при химической лаборатории Казанского университета. В 1875 г. он защищает в Казанском университете магистерскую диссертацию «Об изомерии амилена из амильного алкоголя брожения» – прямое продолжение одной из работ, выполненных в лаборатории Бутлерова. Предмет его докторской диссертации – исследования в области терпенов – был одобрен А. М. Бутлеровым и А. М. Зайцевым. Докторская диссертация «О некоторых свойствах терпенов и их взаимных отношениях» защищена в 1881 г. С 1884 г. Флавицкий – профессор Казанского университета, с 1889 г. он прекращает занятия органической химией и полностью переходит на исследования в области неорганической, физической, а позднее и аналитической химии.

ассоциации соединений последних с растворителем — водой». (Цит. по: там же. С. 284). Существует два вида гидратов: «нормальные» и «диссоциированные». «В противоположность “нормальным”, “диссоциированные” гидраты могут влиять на осмотическое давление и температуру замерзания раствора, вызывая их аномальные величины». (Там же. С. 285.)

(А) **И. А. Каблуков:** Формулы, «приведённые Флавицким для вычисления количества воды, входящей в состав гидратов, приводят в том случае, когда  $l = 1$  (т.е. для растворов неэлектролитов), к выводу, противоречащему той же самой гидратной теории, а именно к тому, что в растворах неэлектролитов (спирта и т.п.) гидратов не образуется». (Там же. С. 285.)

**Комментатор:** Флавицкий и в 1914 г. стремился с позиции химической теории растворов объяснить те факты, которые к тому времени уже давно нашли удовлетворительное решение в физической теории растворов, но ему этого сделать не удалось. «Он также не смог применить и распространить математический метод, удачно принятый в физической теории, на химическую теорию растворов». (Там же. С. 285.)

**ав:** статичное, механически смешанное, прочное.

**В:** динамическое, химические соединённое в ассоциаты, непрочное.

**1887 год.** (В) **Д. И. Менделеев:** «Растворение ... основывается на способности растворителя образовать диссоциирующую систему с растворённым телом, и раствор есть среда, в которой находится ассоциация частиц, образуемых системой растворителя и растворённого тела». (Цит. по: Соловьев Ю. И. История учения о растворах. — М., 1959. С. 62.)

**Комментатор:** «Менделеев пришёл к твёрдому убеждению, что растворы представляют собой жидкие динамические системы, находящиеся в условиях подвижного химического равновесия и диссоциации, образованные частицами растворителя, растворённого вещества и тех определённых, нестойких, но экзотермических соединений, которые образуются между компонентами». (Там же. С. 68.)

«С современной точки зрения, ассоциаты или комбинационные соединения в понимании Д. И. Менделеева есть не что иное, как структурные группы, характеризующие степень упорядоченности раствора. Структурные группы рассматриваются как соединения переменного состава в зависимости от концентрации. Современными работами показано, что в разных зонах концентраций одной и той же системы имеют место различные подвижные равновесия и различные виды взаимодействия». (Там же. С. 68.)

(ав) **М. Бертло**<sup>85</sup>: Каждый раствор представляет собой устойчивую смесь, которая образуется, с одной стороны, из растворителя, с другой стороны,

<sup>85</sup> **Бертло (Пьер Эжен Марселен, 1827–1907)** — французский физико-химик и общественный деятель. Бертло родился в Париже в семье врача. Вначале Бертло изучал в

из растворённого тела, соединённого с растворителем в определённых пропорциях. То есть водный раствор представляет собой «смесь воды, безводной соли и различных гидратов». (Там же. С. 69.)

**Комментатор:** При реакциях в растворах Бертло принимал во внимание только «прочные гидраты», а непрочные гидраты не принимал в расчёт потому, что их участие, следуя правилу наибольшей работы, должно было бы во многих случаях направлять реакции в обратную сторону, с поглощением тепла, а этого не могло быть. (Там же. С. 71.)

(В) **Д. И. Менделеев:** «Моё мнение... состоит в том, что в растворах должно признать подвижное равновесие составных его начал, а потому я никак не могу, например, допустить мысль о том, что во всяких растворах соляной кислоты в воде содержится некоторое одно её определённое соединение  $\text{HCl} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , механически смешанное с водой. Это механическое смешение данного  $\text{HCl} \cdots n\text{H}_2\text{O}$  с водой само есть раствор этого тела в воде, и дело понимания растворов не продвигается вперёд, если мы растворение  $\text{HCl}$  переводим только на растворение определённого соединения  $\text{HCl} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Мой взгляд на растворы динамический, и я не согласен с господствующим статическим воззрением». (Цит. по: там же. С. 71–72.)

**Комментатор:** «При изучении водных растворов серной кислоты и спирта Менделеевым впервые были замечены “особые точки”, наблюдаемые при изучении и других свойств, и они оказались “весьма близки к определённым соединениям”». Исследуя изменение  $\frac{ds}{dp}$  или приращения удельного веса ( $S$ )

при возрастании процентного состава ( $P$ ) одного из компонентов, Менделеев нашёл, что эта производная на известных участках выражается прямой линией и, что места разрывов сплошности совпадают с определёнными соединениями, между водою и растворённым веществом». (Там же. С. 64.) Именно в «особых точках» кривой «изменение свойств достигает особой резкости, выразительности, характерности». (Там же. С. 64.)

«Существование определённых гидратов, по мнению Менделеева, является причиной того, что удельные веса и их изменение нельзя выразить для растворов  $\text{H}_2\text{SO}_4 + n\text{H}_2\text{O}$  общей простой кривой, потому что образование

Парижском университете медицину, но под влиянием лекций Т. Пелуза и Ж. Б. Дюма решил посвятить себя химии. Окончив университет в 1849 г., работал в лаборатории Пелуза, а с 1851 г. — в Коллеж де Франс у А. Ж. Балара. В 1859–1864 гг. Бертло был профессором химии Высшей фармацевтической школы в Париже, в 1864–1906 гг. — профессор в Коллеж де Франс. В 1873 г. стал членом Парижской академии наук. В 1889 г. — её неперменным секретарём. Иностранный член-корреспондент Петербургской Академии наук (с 1876 г.). Кавалер Большого Креста Ордена Почётного легиона. Подсчёты показывают, что при жизни Бертло за 57 лет — с 1850 по 1907 гг. — из печати вышло 2870 его произведений: книги (примерно 60 томов), научные статьи, брошюры, сборники писем, газетные статьи, речи. В отдельные годы Бертло печатал более чем по сто статей. Например, в 1877 г. им были опубликованы 123 статьи.

определённых гидратов вызывает перемены свойств, иногда отвечающие явному перелому кривой». (Там же. С. 64.)

(В) **Д. И. Менделеев:** «В растворе находится подвижное равновесие между соединяющимися и разлагающимися телами, между образованием и постоянным распадением комбинационных соединений. Оттого-то раствор не представляет признака химического соединения, оттого-то в нём образуются особые пункты, которые при известных отношениях вещества образуют резкие перемены свойств». (Цит. по: там же. С. 69.)

(А) **С. Аррениус:** Изучение Менделеевым диаграммы состав-свойство и, в частности, изломов  $\frac{ds}{dp}$  не может служить основой для заключения

об образовании определённых соединений в системах. «Профессор Менделеев был очень несчастлив в выборе свойств, чтобы доказать существование гидратов». (Там же. С. 258.)

(bA) **В. Оствальд:** Причиной этого является то, что «удельный вес не может быть использован для установления стехиометрических законов». (Там же. С. 258–259.) Известные до сих пор «законы химического равновесия не дают ни малейшего основания предполагать, что если мы будем непрерывным образом изменять соотношение составных частей в однородной смеси, то следствием этого будут скачкообразные изменения соответствующих состояний равновесия или изменения с прерывными производными». (Цит. по: там же. С. 259.)

**Комментатор:** Г. Кромптон, являясь приверженцем идей Менделеева, «построил кривые, выражающие соотношение между электропроводностью и процентным составом раствора. Для растворов серной кислоты на диаграмме «состав – свойство» он обнаружил присутствие двух максимумов; один из них в промежутке между  $H_2SO_4$  и гидратом  $H_2SO_4 \cdot H_2O$ , другой отвечал гидрату  $H_2SO_4 \cdot 6 H_2O$ . <...> Кромптон построил также кривые для азотной, фосфорной и уксусной кислот и растворов едкого кали и натра. Для азотной кислоты кривая указывала на гидраты  $HNO_3 \cdot 15 H_2O$  и  $HNO_3 \cdot 4 H_2O$  (как и кривая Менделеева); для фосфорной кислоты – гидраты  $H_3PO_4 \cdot 7 H_2O$  и  $H_3PO_4 \cdot 2 H_2O$ . (Там же. С. 336.) «Дальнейшие исследования показали, что решить вопрос о составе диссоциирующего соединения по форме кривой состав-свойство весьма трудно. Можно получить лишь приближённые указания о его составе». (Там же. С. 338.) Так, например, вопрос, почему иногда имеют место переломы  $\frac{ds}{dp}$ , а иногда разрывы, (В) С. Пикеринг «оставил на рассмотрение более

искусных математиков, чем он». (Там же. С. 342.)

(В) **Д. И. Менделеев:** «Мне кажется, что в истории нашей науки эта гипотеза (электролитической диссоциации) займёт со временем такую же роль, какая принадлежит давно уже флогистону. И у него было немало ярых за-

щитников, внёсших много нового в науку, хотя и защищавших неверную гипотезу». (Цит. по: там же. С. 259.) Природа растворов «очень сложна и есть повод допустить в них часть веществ в состоянии соединения, а часть – в состоянии распада, т.е. в состоянии диссоциации, ничего общего с неясным ещё электричеством не имеющей. Считая, что существование диссоциации и ассоциации необходимо будет признать для понимания растворов, я думаю, что современное представление об электролитической диссоциации, с одной стороны, тормозит теорию растворения, хотя, с другой стороны, полезно, потому что даёт повод к накоплению опытного материала, который должна охватить будущая теория растворов». (Цит. по: там же. С. 261.)

**Комментатор:** Попытки Менделеева с сотрудниками выделить те или иные определённые гидраты в чистом виде, исходя из того, что «при низкой температуре растворы могут выйти из условий диссоциации и распасться на определённые, более или менее прочные соединения», не увенчались успехом. (Там же. С. 69.)

Менделеев с подозрением относился к теории Аррениуса потому, что прежде был сторонником унитарной теории Лорана-Жерара, противостоявшей в 40–50-х гг. XIX в. дуалистической электрохимической теории Берцелиуса. Подозрительными казались ему и воззрения В. Оствальда, который в противовес атомистической теории, сторонником которой был Менделеев, развивал свою энергетическую теорию. (Там же. С. 261–262.)

(В) **Д. И. Менделеев:** Атом является химически целой неделимой частицей; химические элементы, обладая специфической индивидуальностью, не превращаются друг в друга.

(bA) **В. Оствальд:** Ионы можно рассматривать как самостоятельно существующие порции энергии и, тем самым, обходиться без «гипотетических атомов и молекул». «Мы можем стать на чисто формальную точку зрения и рассматривать ионы просто-напросто, как удобное для вычисления вспомогательное средство. В таком случае допущение подобных ионов оправдывается уже их целесообразностью». (Цит. по: там же. С. 262.)

**Комментатор:** Менделеев почти романтически верил в реальную природу атомов и хотел это доказать, а Оствальд допускал условность ионов и пытался прагматически их использовать.

### 1890 г. ДИСКУССИЯ МЕЖДУ (В) ИСИДОРОМ ТРАУБЕ И (А) СВАНТЕ АРРЕНИУСОМ

**Траубе:** Гипотеза Аррениуса противоречит понятиям о химическом родстве, так как она не объясняет, почему именно те вещества, которые обладают наибольшим родством атомов, как, например, KCl, NaOH, NaCl и т.д., легче других распадаются в растворе. (Там же. С. 269.)

**Аррениус:** Между ионом и атомом существует большое различие, поскольку ионы обладают зарядом электричества. (Там же. С. 271.)

**Траубе:** Почему более лёгкие ионы, как, например, H, не выделяются из раствора быстрее, чем более тяжёлые, как Cl, PO<sub>4</sub> и т.д.? Аррениус объясняет это обстоятельство притяжением между ионами, благодаря тому, что они имеют противоположные электрические заряды, но такое притяжение, по моему мнению, равносильно отсутствию диссоциации. (Там же. С. 269.)

**Аррениус:** «Что касается того, что лёгкие ионы должны бы диффундировать из раствора легче, чем тяжёлые, то это действительно имеет место, что подтверждается опытом Гельмгольца, именно — явлением концентрационных токов. Так, если привести в соприкосновение концентрированный раствор соли, например, NaCl, с слабым раствором той же соли и погрузить в обе жидкости по неполяризуемому электроду, то легко обнаружить в гальванометре ток, идущий в жидкости от слабого раствора к крепкому. Это явление с точки зрения диссоциации на ионы весьма легко объясняется: свободные ионы Cl<sup>-</sup> (в приведённом примере), вследствие меньшего трения в жидкости, легче диффундируют в слабый раствор и заряжают последний отрицательно, а не успевшие диффундировать ионы Na<sup>+</sup> заряжают концентрированный раствор положительно; при этом, благодаря взаимному притяжению, движение Cl<sup>-</sup> замедляется, а Na<sup>+</sup> ускоряется и таким образом равновесие периодически нарушается и восстанавливается в бесконечно малый промежуток времени, а потому химическим анализом невозможно констатировать появление свободных ионов. Отсюда же ясно, что диссоциация электролита на ионы резко отличается от диссоциации газов». (Там же. С. 272.)

**Траубе:** Гипотеза Аррениуса не может объяснить, почему один и тот же элемент в различных соединениях различно окрашен. (Там же. С. 270.)

**Аррениус:** «В том обстоятельстве, что одни и те же ионы в различных соединениях различно окрашены, нельзя видеть противоречия гипотезе, так как ионы во всех случаях, когда они различно окрашены, заряжены различными количествами электричества». (Там же. С. 272.)

**Траубе:** Гипотеза Аррениуса отрицает существование в водном растворе соединений с кристаллизационной водой, между тем как такие соединения предсказаны гидратной теорией и действительно получены. (Там же. С. 270.)

**Аррениус:** «Относительно гидратов в растворе, предсказанных гидратной теорией, лучшим выражением которой служат так называемые кривые Менделеева, то последние, по опытам Аррениуса, а также Пикеринга (1889), оказались несоответствующими действительности». (Там же. С. 272.)

**Комментатор:** В последующем этот ответ Аррениуса оказался неверным. «В 1893 г. Джонс провёл исследование, которым точно доказал существование некоторых определённых гидратов серной кислоты с водой, которые впоследствии признал и сам Аррениус». (Там же. С. 272.)

**Траубе:** «Аррениус не должен обижаться. Если на одной стороне высказываются за гипотезу диссоциации, то на другой её замалчивают. Она ещё далеко не стала общим достоянием химической науки. Иной, чувствуя своё право молчать, думает, что и без его возражений гипотеза электролитиче-

ской диссоциации не накликает на современную химию новую эру флогистона». (Цит. по: там же. С. 273.)

**Комментатор:** «Получалась интересная ситуация. Формулы и экспериментальные результаты, полученные Вант-Гоффом, Аррениусом, Оствальдом, не вызывали сомнения, и выводы теории электролитической диссоциации многократно подтверждались. Но с основной предпосылкой этой теории не соглашались». (Там же. С. 268.) Показательно в этом плане признание одного из противников электролитической диссоциации «гидратиста» Д. П. Коновалова, сделанное в 1899 г.: «Теория электролитической диссоциации представляет характер настоящей теории. В то время как химическая теория растворов, признавая лишь явления химического соединения внутри раствора, не могла до настоящего времени выразить ни самого явления, ни его следствий численным образом. Теория электролитической диссоциации и степень диссоциации, и её следствия выражает численными отношениями. Следствия эти допускают опытную проверку, и опытные данные оказываются в большинстве случаев в пользу теории». (Цит. по: там же. С. 279.) А дальше следовало «однако»...

### ДИСПУТ НА СПЕЦИАЛЬНОМ ЗАСЕДАНИИ БРИТАНСКОЙ АССОЦИАЦИИ ХИМИКОВ В ЛИДСЕ (АНГЛИЯ) В 1890 Г.

*Участники диспута:*

Принимающая сторона — сторонники «В»: Пикеринг<sup>86</sup>, Армстронг<sup>87</sup>, Фитцджеральд, Уокер, Рамзай, Лодж

<sup>86</sup> **Пикеринг (Спенсер, 1858–1920)** — британский химик и садовод. Пикеринг вырос в богатой семье, и был в состоянии начать карьеру в науке путём создания собственной лаборатории в его частном доме. В 1881 году он занял должность лектора в Bedford College, где и оставался до 1887 года. После потери глаза при серьёзной аварии в его лаборатории, его здоровье ослабло, и он переехал в сельскую местность в деревню Harpenden. Среди жителей деревни было уже четверо сотрудников Королевского общества, и Пикеринг стал пятым по 1890 год. С 1894 года он был директором Экспериментальной фермы фруктов Woburn, частного учреждения Пикеринга и герцога Бедфорда, где он работал, чтобы улучшить технику садоводства. В 1907 году он открыл явление, согласно которому эмульсии могут быть стабилизированы в виде мелких частиц, а эмульгаторы, в настоящее время называют Пикеринг-стабилизацию, хотя эффект был уже признан Уолтером Рамзаем в 1903 году.

<sup>87</sup> **Армстронг (Генри Эдвард, 1848–1937)** — английский химик. Член Лондонского королевского общества (с 1876). В 1865–1867 гг. учился в Королевском химическом колледже. В 1867 г. — в Лейпцигском университете. В 1871–1884 гг. — профессор Лондонского университета. В 1884–1913 гг. — Центрального института Южного Кенсингтона в Лондоне. Основная область исследования — органическая химия. Выдвинул (1888) хиноидную теорию цветности. Предложил (1887, одновременно с А. Байером) центрическую формулу бензола. Сторонник химической теории растворов, разработанной Д. И. Менделеевым. Предложил современную номенклатуру органических соединений (принята Международным конгрессом химиков в Женеве, 1892). Исследовал ферменты, углеводороды нафталинового ряда, терпены, камфару. Занимался кристаллографией. Президент

Приглашённые гости — **сторонники «А»:** Вант-Гофф, Оствальд

**Оствальд:** «Я еду, чтобы проповедовать новое евангелие среди неверующих». (Цит. по: там же. С. 274/)

**Армстронг:** Теория электролитической диссоциации «была принята окончательно известной школой химиков, во главе которой стоит Оствальд, считающих всех, кто не разделяет с ним этих взглядов, еретиками, достойными злой казни, не в качестве плодотворной гипотезы, но как абсолютная истина». (Цит. по: там же. С. 278.)

**Комментатор:** «Дискуссия началась большим докладом Пикеринга “Современное положение гидратной теории растворов”. Пикеринг считал, что раствор представляет собой смесь определённых гидратов с продуктами их диссоциации. Пикеринг познакомил слушателей с работами Менделеева. При этом он сообщил результаты, полученные Менделеевым для растворов серной кислоты. Он так же, как и Менделеев, полагал, что особые точки  $\frac{ds}{dp}$  соответствуют растворам определённого молекулярного состава. Пикеринг старался распространить положения гидратной теории не только на концентрированные, но и на разбавленные растворы и при помощи их объяснить аномальные явления, наблюдаемые для электролитов». (Там же. С. 274.)

**Пикеринг:** Растворитель нельзя считать недеятельной, инертной средой, как это полагают сторонники Аррениуса. И вообще, «теория диссоциации солей на ионы непонятна большинству химиков. Она кажется несовместимой с нашими понятиями об относительном постоянстве различных тел и с принципом сохранения энергии». (Цит. по: там же. С. 274.) Представляется невероятным, чтобы прочные соединения, образование которых сопровождается значительным выделением тепла, почти полностью диссоциировали в воде. «Как можем мы допустить, что чем прочнее тело, тем оно более склонно быть диссоциированным?». (Цит. по: там же. С. 274–275.)

**Армстронг:** «Я утверждаю, что невозможно отрицать активную роль растворителя при электролизе... Следует предположить, что ход электролиза в растворе... обуславливается взаимным влиянием растворителя и растворённого вещества; я утверждаю, что электролиз отнюдь не представляет какого-то движения отдельных атомов или ионов, но является делом сложных молекулярных систем». (Цит. по: там же. С. 278.) Я выступаю за «ассоциативную гипотезу»: между растворителем и растворённым веществом существует притяжение, в результате которого происходит образование нестойких соединений. «Я пытался доказать, что теория ассоциации имеет универсальное приложение, между тем как приложимость диссоционной гипотезы не только ограничивается немногочисленным классом явлений, но даже иногда идёт наперекор фактам». (Цит. по: там же. С. 279.)

Лондонского химического общества (1893–1895). Иностраннный член-корреспондент Петербургской академии наук (1916), почётный член АН СССР (с 1932).

**Фитцджеральд:** Допущение существования диссоциации — не нужно.

**Оствальд:** Я «много лет тщетно искал точное выражение закона зависимости молекулярной проводимости от концентрации, пока применение к упомянутому явлению понятия диссоциации не дало мне сразу ключа к нему». (Цит. по: там же. С. 275.)

**Комментатор:** «По мнению многих учёных дискуссия в Лидсе дала много для развития науки и способствовала выяснению спорных вопросов». (Там же. С. 275.)

**Оствальд:** «Первые дни говорили исключительно наши противники, так что до известной степени можно было думать, что мы уже убиты научно. Когда же после продолжительных и оживлённых личных споров представители новых идей получили, наконец, слово даже на публичных заседаниях, картина сразу изменилась, так что мы могли расстаться с нашими хозяевами по-приятельски и не без триумфа». (Цит. по: там же. С. 275.)

**Комментатор:** «В период споров “ионистов” с “гидратистами” Оствальд часто в своём журнале, особенно в рефератах, в довольно резкой форме критиковал не угодные ему взгляды. Естественно, что это вызывало ответную реакцию». (Там же. С. 276.)

**Оствальд:** «Если из формы и содержания нападения и защиты вытекает преданность истине и отрешение от побуждений, лежащих вне науки, как в данном случае, то столкновение умов приносит удовлетворение, и наука, о которой ведь идёт речь в первую очередь, от этого выигрывает». (Цит. по: там же. С. 275–276.)

**Комментатор:** «Наступление вождей ионистов на английских учёных увенчалось успехом. Начиная с 1891 г. в английских журналах стало появляться всё больше и больше статей, в которых указывалось на большое значение теории Вант-Гоффа и Аррениуса, приводились различные данные, подтверждающие эти теории». (Там же. С. 276.) Правда, дискуссия в Лидсе не изменила взглядов Пикеринга и Армстронга на природу растворов.

**Пикеринг:** Закономерности, найденные Вант-Гоффом и Аррениусом, справедливы только для бесконечно разбавленных растворов. Точные экспериментальные данные, полученные мною при изучении реальных растворов, говорят о том, что простые предпосылки физической теории растворов здесь оказываются неприемлемыми.

**Аррениус:** «Что касается истории с Пикерингом, то мне его, в сущности, очень жаль. Мне представляется, что он тратит колоссальную энергию на призрачные вещи. Во всяком случае, его образцово точные опыты сохраняют своё неизменное и больше значение. Я никоим образом не искал ссоры с ним. Он исходил из того предположения, что если новая теория растворов правильна, то тогда его изломы не имеют шансов на признание, если же удастся её опровергнуть, то его точка зрения возьмёт верх. Отсюда его

старания против Вант-Гоффа и меня, которые, конечно, могут лишь дискредитировать его взгляды. <...> Некоторые изломы, правда, выражены очень явственно, как, например,  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$  на кривой для проводимости серной кислоты. Но большая часть их иллюзорна. Что касается меня, то мне было приятнее всего, чтобы этот спор кончился». (Цит. по: там же. С. 277.)

#### 4. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

##### К теории ионной гидратации (конец XIX — начало XX вв.)

(aB и bB) **Сторонники теории ионной гидратации:** русские учёные — И. А. Каблуков, В. А. Кистяковский, А. А. Яковкин, Л. В. Писаржевский, В. А. Плотников; иностранные учёные — Г. Чамичан, А. Вернер, А. Ганч, Ф. Кольрауш, Р. Абегг, В. Бильц, Г. Джонс и др.

(aB) **А. А. Яковкин:** Нет никаких оснований противопоставлять теорию электролитической диссоциации химическим воззрениям на природу растворов, так как многие факты доказывают, что явления электролитической диссоциации несомненно обуславливаются взаимодействием растворённого вещества с растворителем. Эти явления можно отнести к одному из видов гидродиссоциации. «Задача нашего времени состоит в примирении этих теорий, а не в разъединении их». (Цит. по: там же. С. 280.)

(bB) **Д. П. Коновалов:** Эти теории непримиримы. Явная связь между гидратацией и электропроводностью раствора «заставила некоторых приверженцев теории электролитической диссоциации прийти к заключению, что гидратация предшествует диссоциации. При этом предварительно образуются гидраты солей, которые затем и подвергаются процессу электролитической диссоциации». (Там же. С. 280.) То есть, приходится считаться не только со свободными ионами, но и с их гидратами. Такая «уступка наносит серьёзный удар теории», вносит разлад в химические теории. (Там же. С. 280–281.) Гипотеза «таинственных ионов» излишняя, ведь достаточно признать образование нестойких диссоциирующих соединений.

(aB) **П. Д. Хрущов:** «Гипотеза Аррениуса несомненно сослужила свою службу, но самые явления, для обобщения и объяснения которых она придумана, необходимо теперь сгруппировать изучением их термодинамических соотношений». (Цит. по: там же. С. 282–283.)

**Комментатор:** «П. Д. Хрущов произвёл термодинамическое изучение процессов растворения смесей солей (1882); термодинамическим способом он исследовал состояние смешанных солей в растворах (1884). Он при этом изучал концентрированные и разбавленные, но не бесконечно разбавленные растворы, так как считал, что в последнем случае всякие случайные при-

меси оказывают влияние в такой же степени, как и основное растворённое вещество». (Там же. С. 282.)

(bB) **Н. Н. Бекетов:** При электролизе водного раствора NaCl происходит обмен ионов не только между частицами соли, но и воды  $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{HCl}$ . «Если признать необходимость указанного мною обмена между солью и водой, то есть гидролиза, под влиянием тока, то возрастание молекулярной электропроводности с разжижением раствора не вызывает для своего объяснения маловероятной гипотезы о предварительном — до тока — распаде соли на ионы, т.е. до введения в раствор необходимой для химической диссоциации внешней энергии». (Цит. по: там же. С. 283.) Нахождение ионов в свободном состоянии до приложения внешней энергии тока является недоказанной гипотезой Аррениуса, ибо не указывается причина такого состояния. То есть происходит «распадение многих прочных соединений, как, например KCl и NaCl и т.д. без видимой затраты энергии». (Цит. по: там же. С. 293.)

(aB) **В. А. Кистяковский:** В отличие от старой теории, где для начала электролиза необходима определённой величины электродвижущая сила для преодоления сил химического сродства, новая теория опирается на опыты, которые показали, что «процесс электролиза начинается при незначительной разности потенциалов, следовательно, внутри раствора ионы электролита движутся свободно и работа тратится только на выделение их у электродов. Это отличие между электролизом и электролитической проводимостью не могло быть объяснено без теории электролитической диссоциации». (Там же. С. 283–284.)

(aB) **И. А. Каблуков:** «Я не смотрю на теорию Аррениуса, как на такую теорию, которая вполне ясно и верно разъясняет природу и строение растворов, но она является хорошей *рабочей* версией, руководствуясь которой можно увязать связь между многими явлениями в растворах, и в качестве такой рабочей теории она имеет много преимуществ перед другой теорией растворов, обычно ей противопоставляемой, так называемой гидратной теорией». (Цит. по: там же. С. 290.) Теория Аррениуса «позволила применить к изучению многих явлений в растворах такое могучее орудие, каким является математический анализ, она указала точную количественную зависимость между такими величинами, как коэффициенты диффузии и электропроводности, между последней и «жадностью» кислот и т.д.» (Цит. по: там же. С. 292.) В то же время из теории Аррениуса совершенно нельзя представить себе образование «голых» ионов в растворе, совершенно не учитывая при этом влияние среды — растворителя. Растворитель — это не просто объём, нейтральная среда для распада молекул на ионы; он является активным компонентом системы.

**Комментатор:** «По мнению Каблукова, при растворении электролита в воде частицы её как бы вторгаются внутрь частиц электролита и расшатывают связь между атомами; разлагая молекулы растворённого вещества, вода



образует с ионами непрочные соединения, находящиеся в состоянии диссоциации». По мнению же Аррениуса, «ионы свободно двигаются, подобно тем отдельным атомам, которые происходят при диссоциации молекул галоидов при высокой температуре». (Там же. С. 299–300.)

**1890 г. (aB) В. А. Кистяковский:** Многие «гидратисты» (в том числе Н. Н. Бекетов) задают вопрос «ионистам»: откуда берётся огромная энергия, долженствующая способствовать разложению электролитов на ионы? Если руководствоваться не гипотезой Аррениуса, а теорией Менделеева, то можно попытаться ответить на этот вопрос. Согласно Менделееву, «растворы представляют жидкие диссоциационные системы, образованные частицами растворителя, растворённого тела и тех определённых, нестойких, но экзотермических соединений, которые между ними происходят, одного или нескольких, судя по природе составляющих начал». «Если мы с этой точки зрения посмотрим на растворы, то становится очевидным, почему иногда свойства растворённого тела кажутся как бы свойствами его ионов. Дело в том, что если гидратация идёт в направлении ионов, т.е. образуются новые частицы, которых формула может быть написана для  $\text{NaCl}$ :  $\text{Na}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ ,  $\text{Cl}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ , а мы будем изучать факты, при которых эта гидратационная вода отнимается...

**Комментатор:** Имеется в виду понижение температуры замерзания, понижение давления пара раствора.

(aB) **В. А. Кистяковский:** ... то понятно, что полученные числа будут пропорциональны не числу частиц, а числу ионов, так как  $\text{H}_2\text{O}$  отнимается не от частицы, а от иона». (Цит. по: там же. С. 301.) Кстати, летом 1889 г. после разговора о свободных ионах (негидратированных) с Аррениусом, «я сказал, что трудно понять существование в воде свободных ионов (негидратированных), присутствующий при споре Оствальд сатирически заметил: «Согласитесь, если это трудно понять, то как это было трудно открыть». Всё же «меня печалит мысль, что будучи личным другом Сванте Аррениуса, я не сумел доказать ему основную правильность гидратной теории Менделеева». (Цит. по: там же. С. 303–304.)

**Комментатор:** «В последующих своих работах В. А. Кистяковский объяснял образование и существование определённых соединений в растворах как результат действия ванн-дер-ваальсовских сил молекулярного сцепления». (Там же. С. 304.)

**1890 г. (aB) Г. Чамичан:** «Можно принять, что при встречах частичек соли с большим количеством частичек воды кислородные и водородные атомы последних будут оказывать притяжение на катион, равным образом и на анион молекулы соли, которое, наконец, вызовет разделение ионов. При этом молекулы воды не разлагаются, а окружают со всех сторон как таковые свободные ионы как бы в поляризованном состоянии, так что они поворачиваются кислородной стороной к катиону, а водородной к аниону. Тому, что

оба иона не вступают немедленно во взаимодействие с водой, препятствуют электрические заряды, которые сразу возникают при разделении...». (Цит. по: там же. С. 305.)

**Комментатор:** «Чамичан был первым, кто высказал важное положение об электростатическом взаимодействии ионов с диполями молекул воды, плодотворно впоследствии развитое в работах К. Фаянса и других учёных...». (Там же. С. 305.)

**1893 г. (bB) А. Вернер:** Одним из «главных условий распада на ионы является предварительная гидратация, вследствие чего в водных растворах электролитическая диссоциация солей сопровождается образованием гидратированных ионов». (Там же. С. 305.) Если первоначального образования гидратов не происходит, то не наступает и никакой электролитической диссоциации.

(aB) **Дж. Дж. Томсон:** Причины электролитической диссоциации можно свести к электрическим силам, действующим между молекулами растворителя и молекулами и ионами растворённого электролита. То есть «для того, чтобы произошла электролитическая диссоциация, необходимо не только чтобы молекулы растворителя обладали электростатическим моментом достаточной величины, но и чтобы молекулы растворённого вещества были способны к внутримолекулярной ионизации». (Там же. С. 309.)

(aB) **П. Друде:** Важным доказательством взаимодействия ионов растворённого электролита с растворителем являются работы, связанные с изучением электрострикции. Что это такое? «У электролитов, особенно при растворении сильных кислот и оснований в воде, наблюдается явление сжатия, сокращения объёма». (Там же. С. 309.)

(aB) **В. Нернст:** Объясняется это явление тем, что «ионы растворённого вещества влияют на объём растворителя — воды, вследствие наличия у них сильного электрического поля. В сильном электрическом поле ионов происходит значительное сжатие растворителя». (Там же. С. 309.)

**Комментатор:** «Друде и Нернст вычисляли величину этого сжатия (для полной диссоциации) по уравнению  $\varphi = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\alpha_1 - \alpha_2}$ , где  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  — данные

молекулярного объёма при степенях диссоциации  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Такая электрострикция обнаруживалась и для ионов в неводных растворителях». (Там же. С. 309.)

(bB) **Г. Тамман:** Приращение внутреннего давления  $\Delta k$  вызвано «вовсе не воздействием электрических зарядов ионов, а исключительно специфическими силами химического сродства». При сопоставлении результатов опытных наблюдений над сильными электролитами и неэлектролитами в отношении их воздействия на внутреннее давление растворителя, не обнаружилось никакой существенной разницы между этими двумя категориями растворов. «Причину возрастания внутреннего давления в

жидкости нельзя поэтому относить за счёт воздействия электрически заряженных частиц; как ионы, так равно и незаряженные молекулы влияют на растворитель присущими им специфическими силами; сущность дела кроется здесь в тех же силах химического сродства, которые взаимодействуют также и между молекулами одного и того же соединения». (Цит. по: там же. С. 309.)

**Комментатор:** Таким образом, здесь опять же одни исследователи (*A*) делают акценты на физических факторах, а другие (*b*) — на химических.

(*bB*) **Г. Джонс:** Растворённые вещества образуют с водой *непрерывные ряды гидратов*, содержащих от одной до 30–40 молекул воды; при этом, если температура постоянна, состав гидратов зависит исключительно от концентрации растворов. «Чем более сложен гидрат, образуемый данным электролитом, тем более ненормальны величины молекулярного повышения температуры кипения и молекулярного понижения точки замерзания». (Там же. С. 316.) При более низких температурах из растворов должны кристаллизоваться гидраты с большим содержанием воды.

**Комментатор:** «Экспериментальным подтверждением существования гидратов в растворах явились... обширные спектроскопические исследования Джонса и его учеников». (Там же. С. 317.) Он показал, что возрастание сложности гидрата сопровождается постепенным сужением спектральных полос поглощения. «В целой серии работ Джонс изучал электропроводность растворов при разных температурах. Он нашёл, что при повышении температуры электропроводность увеличивается тем быстрее, чем сложнее был гидрат данного электролита. Такой вывод являлся необходимым следствием сольватной теории, так как уменьшение массы иона при возрастании температуры будет наивысшим для наиболее гидратированных ионов, а, следовательно, для таких ионов будет наблюдаться и наибольший прирост подвижности». (Там же. С. 317.) Если говорить о трудовой активности Джонса, то в 1913 г. он «вычислил, что суммарная экспериментальная работа в его лаборатории, посвящённая вопросу о сольватах, произведённая им и его 40 учениками, соответствует по времени почти столетней работе одного человека». (Там же. С. 321.) Сольватная теория Джонса сыграла большую роль в признании основной идеи учения Менделеева об ассоционно-диссоционных процессах в растворах.

\* \* \*

Следует отметить, что признаваемый самими «гидратистами» более или менее устойчивый характер ассоциаций разнородных молекул, давал повод сторонникам обеих теорий («*A*» и «*B*») видеть в рассматриваемом явлении, как в пятнах Роршаха, или в рисунках обоев на стене, что-то своё, что соответствовало архетипически- или биографически значимым стилиевым паттернам, сценариям поведения и когнитивным стилям.

Показательны в этом смысле слова немецкого термохимика Г. Яна: «Если мы и знаем кое-что о состоянии растворённого тела в очень разведённых растворах, то выяснить запутанные условия равновесия в растворах более крепких до сих пор ещё не удалось. Что в них известный процент растворённого тела содержится в виде гидрата — это мне кажется несомненным; но вместе с тем раствор, конечно, будет содержать и некоторое количество безводного вещества, которое, если оно электролит, будет ещё частью разложено на ионы. Таким образом, мы имеем здесь дело с чрезвычайно усложнёнными отношениями, выяснить которые с помощью одних лишь термических опытов едва ли когда-нибудь удастся». (Цит. по: там же. С. 372.)

То есть в этой природно ускользающей определённости между ассоциацией и диссоциацией, гидратности и ионности, учёные выбирали, объединяясь в группы, те тематические ракурсы, которые стилистически были им наиболее близки.

О том, что разница в стилях проявлялась именно в психологии восприятия и теоретических интерпретациях химических явлений, фактов, свидетельствует, например, письмо 1903 г. В. А. Плотникова к И. А. Каблукову. Плотников пишет: «... проф. Реформатский также хорошо отзывался о моих работах, пока был напечатан только фактический материал. Но как только появилась теоретическая часть, обстоятельства совершенно изменились: мне пришлось услышать целый ряд обвинений. По мнению Реформатского, я уничтожаю старое, давно установленное (теорию строения) и взамен даю что-то мало понятное; когда я возразил, что не только не отрицаю теории строения, но, напротив, излагаю гипотезы, которые служат дальнейшему расширению этой теории, и пользуюсь всюду структурными формулами... По словам Реформатского, изложенные мною гипотезы “мало говорят для чувств” — с ионами ещё возможно помириться, но комплексные ионы — это уже совсем что-то странное». Проф. Барзиловский также изменил мнение о моей работе: “Я могу ещё поверить в Иону, который был во чреве кита — заявил проф. Барзиловский — но в ионы — не верю”. <...> С одной стороны, моя работа встречает весьма суровый отзыв; принятые мною для руководства гипотезы признаются непонятными и малоизвестными; мне советуют отказаться от моих взглядов... с другой стороны — достаточно взять любую современную книгу по физической химии, в том числе и ваши труды, чтобы убедиться, насколько распространены и как плодотворны электрохимические гипотезы, исходя из этих гипотез, я предпринял опыты, которые увенчались полным успехом...». (Цит. по: там же. С. 465–466.)

## Дополнительный материал по опытам

ЛАБОРАТОРНЫЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ  
ПО ХИМИЧЕСКОМУ ЭКСПЕРИМЕНТУ.  
ИОННАЯ ТЕОРИЯ РАСТВОРОВ С. АРРЕНИУСА

### Движение ионов в электрическом поле

#### Опыт № 4.

1) Соберите электрическую цепь, используя батарейку, лампочку и провода. Возьмите пластину из органического стекла, к которой прикреплены железные стержни (катод и анод). Провода закрепите на пластине. Положите на пластину, смоченную дистиллированной водой, фильтровальную бумагу. По центру бумаги нанесите кристаллы медного купороса ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Включите цепь.

2) Такой же опыт проведите с кристаллами дихромата калия ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).

- Какие изменения с кристаллами соли произошли во время проведения опыта?
- На какие ионы диссоциирует сульфат меди (II)?
- На какие ионы диссоциирует дихромат калия?

### Электролиз растворов электролитов

#### Опыт № 5.

Для опыта потребуется прибор для электролиза. Возьмите стеклянную банку 500 мл. Налейте в неё 300 мл дис. воды и насыпьте 150 г соли. Размешайте раствор. Пропустите через раствор электрический ток. Выделившиеся на катоде и аноде газы соберите в пробирки методом вытеснения воды. В раствор, оставшийся после электролиза, добавьте несколько капель фенолфталеина.

- Какие газы выделились на катоде и аноде после электролиза раствора хлорида натрия?
- Какую окраску приобрёл фенолфталеин в растворе электролита после реакции? Какая среда раствора?
- Составьте уравнение электролиза раствора хлорида натрия.

## 3.3. Природа органических соединений

Дуалистическая теория,  
теория замещения  
и унитарная теория.  
Первая и вторая теории радикалов

### 10 класс

В органической химии 30–40-х гг. XIX в. многие выдающиеся учёные были заняты поиском универсальной природной причины органических соединений, условий естественного органического синтеза. И Якоб Берцелиус, и Юстус Либих, и Шарль Жерар видели эту причину в некоей жизненной силе, которая, тем не менее, нуждалась в конкретизации. Либих писал: «Слово *жизненная сила* при настоящем состоянии науки не означает какой-нибудь особенной силы, как, например, электричество, магнетизм, но это собирательное имя, под которым разумеют все причины, от которых зависят жизненные свойства. В этом смысле слово *жизненная сила* употребляется так же верно и основательно, как и слово *сила сродства*, которым обозначаются причины химических явлений и которая выражает между тем силу, нам не более известную, чем сила, обуславливающая жизненные явления»<sup>88</sup>. Жерар считал, понятие «жизненная сила» символом обозначающим неизвестные причины жизни. По Берцелиусу, это же нечто особенное, находящееся наряду с неорганическими элементами.

Многие историки химии указывают, что первым синтезом органического вещества, стало получение Ф. Вёлером в 1828 г. в лабораторных условиях путём выпаривания мочевины из вещества, заведомо считавшегося минеральным, т.е. — из раствора кристаллического циановокислого аммония. Но по отношению к этому событию были скептики, которые продолжали утверждать, что «такие составляющие организм вещества, как углеводы, жиры, кислоты и др. не могут быть получены без участия “жизненной силы”».

<sup>88</sup> Цит. по: *Фигуровский Н. А.* Очерк общей истории химии. Развитие классической химии в XIX столетии. — М., 1979. С. 158.

**В понимании органических веществ в 30-40-х гг. XIX в. конкурировали две основные группы теорий**, соответствующие характерным стилям мышления.

(А) *Дуалистическая теория и первая теория радикалов*, согласно которым (1) все органические соединения имеют *бинарный* характер, связь между их *полярно* заряженными частицами осуществляется посредством электростатического взаимодействия, (2) составные единицы органических соединений представляют комплексы атомов, переходящие при химических метаморфозах в неизменном состоянии из одних в другие соединения, (3) составные единицы соединений — радикалы — могут существовать в свободном состоянии (этот факт подтвердился лишь в 1900 г.);

Сторонники: Я. Берцелиус, Г. Копп, Г. Кольбе, Ф. Вёлер, братья Розе, Х.Г. Гмелин и др.

(В) *Теория замещения, унитарная теория типов и вторая теория радикалов (теория остатков)*, согласно которым существуют реакции замещения: например, совершается *замещение* электроположительного водорода электроотрицательным хлором, что не изменяет основных свойств исходного органического соединения, но даёт остаток в виде неконстантной группы атомов, переходящей от одного соединения к другому<sup>89</sup>;

Сторонники: Ж.-Б. Дюма, Ш. Жерар, О. Лоран, Е. Пелиго, Ф. Малагutti, О. Кагур, Ш. Шансель, Б. Силлимен-младший, А. В. Вильямсон, А. Кекуле, А. И. Ходнев, Н. Н. Зинин, Н. Н. Бекетов, Д. И. Менделеев и др.

#### (А) ДУАЛИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ И

#### (В) ТЕОРИЯ ЗАМЕЩЕНИЯ (МЕТАЛЕПСИИ)

(В) «В 1834 г. Ж. Дюма при действии хлора на этиловый спирт ( $C_2H_6O$ ) получил хлораль  $C_2H_3Cl_3O$ . Он обратил внимание на общность реакций замещения водорода галогенами в органических соединениях и предложил называть это металепсией (от *греч.* замена, обмен. — В. П.)»<sup>90</sup>. Также и Лоран (В) постулировал, что при замещении хлором водорода в органическом соединении он занимает место водорода, так что хлоропроизводное аналогично тому соединению, производным которого оно является.

(А) Берцелиус же считал, что столь электроотрицательный элемент, как хлор, не может никогда вступать в органический радикал, поскольку электроотрицательная природа хлора и его сильное сродство приводят к тому, что он может встречаться как составная часть характерного для него соединения.

<sup>89</sup> См. Родный Н. И. Очерки по истории и методологии естествознания. М., 1975. С. 106–107, 112–114.

<sup>90</sup> Соловьев Ю. И. История химии: Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. — М., 1983. С. 170–171.

То есть если «А» указывает на *устойчивые и структурные* характеристики группы атомов, составляющие антагонистические части соединения, то «В» — на *неустойчивые и функциональные*.

(А) Согласно Берцелиусу, водород в органических соединениях всегда должен быть электроположительным, а хлор — электроотрицательным, (В) согласно же Дюма водород и хлор при замещении играют одну и ту же роль, т.е. замещение эквивалента одного элемента эквивалентом другого элемента есть действие, причина которого лежит в стремлении к сохранению органического типа, напоминающего здание, части которого можно заменить без разрушения самого здания<sup>91</sup>.

По поводу утверждения Дюма в «Анналах Либиха» была опубликована шуточная заметка, где «утверждалось, что её автору будто бы удалось при действии хлора на ацетат марганца  $MnO + C_4H_6O_3$  заместить хлором сначала водород, затем кислород и марганец и, наконец, углерод. После этого новое соединение было подвергнуто анализу, давшему 100% хлора. Однако новое соединение обладало свойствами ацетата марганца. В примечании говорилось, что в Лондоне путём замещения хлором водорода, кислорода и углерода в клетчатке получают вату, состоящую исключительно из хлора. Из такой ваты в Лондоне делают превосходное бельё, набрюшники и ночные колпаки для госпиталей»<sup>92</sup>.

(А) Берцелиус считал, что трихлоруксусная кислота не имеет ничего общего с уксусной кислотой, так как их физические свойства совершенно различны, а (В) Дюма полагал, что, если судить не по внешним физическим свойствам, то трихлоруксусная кислота схожа с уксусной кислотой по химическому поведению, наподобие того, как схожи между собой изомерные кристаллы<sup>93</sup>. Открытие Дюма в 1839 г. трихлоруксусной кислоты убедило большую часть химиков, что электроотрицательный элемент (хлор) может замещать электроположительный водород.

(А) Берцелиус считал, что трихлоруксусная кислота на самом деле является хлоругольнощавелевой кислотой и её следует рассматривать как парное соединение, состоящее из щавелевой кислоты —  $C_2O_3$  (ангидрид) и копулы —  $C_2H_3$ ; копула в трихлоруксусной кислоте превращается в  $C_2Cl_3$ , и, таким образом, формула трихлоруксусной кислоты —  $C_2O_3 + C_2Cl_3$  (+вода)<sup>94</sup>. То есть речь идёт о двойственной структуре соединений, что служит аргументом в пользу электрохимической теории и против теории замещения.

После открытия Дюма металепсии (замещения) и получения трихлоруксусной кислоты ( $C_4Cl_3O_3$ ), Берцелиус вынужден был отказаться от своей формулы «безводной уксусной кислоты» ( $C_4H_3O_3$ ) как соединения положитель-

<sup>91</sup> См. Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. Развитие классической химии в XIX столетии. М., 1979. С. 231.

<sup>92</sup> Там же. С. 230.

<sup>93</sup> Там же. С. 229–230.

<sup>94</sup> Там же. С. 232.

ного радикала  $C_4H_3$  с отрицательным кислородом в связи с тем, что радикал  $C_4Cl_3$  включал отрицательный элемент, что противоречило электрохимической теории. Вместо старой он стал писать формулу  $C_2H_3 \cdot C_2O_3$ , т.е. изображая в виде парного соединения, состоящего из «безводной» щавелевой кислоты и радикала метила (изменчивой копулы). Г. Кольбе и Э. Франкланд попытались доказать справедливость точки зрения Берцелиуса. «С этой целью Кольбе предпринял электролиз уксусной кислоты. Как известно, при этом на аноде образуется ион  $CH_3CO_2^-$ , распадающийся на углекислоту и этан (составленный из двух метильных групп). Кольбе принял этан за свободный радикал метил и, таким образом, пытался показать справедливость точки зрения Берцелиуса»<sup>95</sup>. Правда, с производными уксусной кислоты возникли осложнения в доказательствах. «Кольбе остроумно вышел из затруднений, признав в уксусной кислоте существование радикала ацетила ( $C_2H_3 \cdot C_2$ ), в котором  $C_2$  «представляет точку приложения сил сродства кислорода, хлора и т.д.»<sup>96</sup>. Тогда получилась формула  $HO(C_2H_3)C_2O_3$ , из которой следует, что в кислотах атомы углерода должны обладать различными функциями. Франкланд также пытался получить радикалы в свободном виде, пользуясь реакцией взаимодействия между иодистым этилом и цинком. Он считал, что получил свободный этил (но в действительности же это был бутан  $C_4H_{10}$ ).

Изучая действия хлора на терпентиновое масло, (В) Ж. Б. Дюма пришёл к выводу, что при этом водород замещается равным объёмом хлора. Дюма установил, что «водород замещается эквивалентным количеством хлора и других элементов, применив здесь понятие эквивалент в собственном смысле, вне связи с относительными весами атомов»<sup>97</sup>. Он сформулировал и основные правила замещения: (1) «Если водосодержащее вещество теряет в результате дегидрогенизирующего действия хлора, брома, иода, кислорода и т.д. свой водород, то при этом каждый атом водорода замещается атомом хлора, брома, иода или половиной атома кислорода»; (2) «Если гидрогенизированное вещество содержит кислород, то же самое правило наблюдается без изменений»; (3) «Если гидрогенизированное вещество содержит также воду, то вода теряет свой водород без какого-либо замещения. Далее если отнимать от такого вещества новые количества водорода, то последний будет замещаться, как указано выше»<sup>98</sup>.

Огюст Лоран дополнил правила Дюма тем, что в число продуктов, замещающих водород, включил азотную кислоту (собственно, нитрогруппа). Вот это дополнение: (1) «Если хлор, бром, азотная кислота или кислород оказывают дегидрогенизирующее действие на углеводород, каждый эквивалент отнимаемого при этом водорода замещается эквивалентом хлора, брома

<sup>95</sup> Там же. С. 264

<sup>96</sup> Там же. С. 264

<sup>97</sup> Цит. по: там же. С. 222

<sup>98</sup> Цит. по: там же. С. 222

или кислорода»; (2) «Одновременно образуются соляная, бромистоводородная или азотная кислота, или вода, которые либо выделяются в свободном состоянии, либо соединяются с новым образовавшимся радикалом»<sup>99</sup>. Но Дюма не брал ответственность за такое преувеличенное толкование его теории в заявлении Лорана о том, что водород замещается хлором, который играет ту же роль, что и водород.

#### (А) ПЕРВАЯ ТЕОРИЯ РАДИКАЛОВ (ДУАЛИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ) и (В) ВТОРАЯ ТЕОРИЯ РАДИКАЛОВ (УНИТАРНАЯ ТЕОРИЯ ТИПОВ)

В «А» прослеживаются акценты на *бинарности (дуальности), автономности, природной сущности, идентичности органического и неорганического в строении*, а в «В» — *унитарности, заместимости, расположенности (сгруппированности), специфичности органического в строении элементов и соединений*.

Например, (А) *теория радикалов* «рассматривала образование этиламина как соединение этила и аммиака, т.е. двух замкнутых группировок атомов»; напротив, (В) *теория типов* «трактовала этиламин как результат замещения кислорода в эфире аминогруппой или как аммиак, в котором водород замещён этилом»<sup>100</sup>.

Если (А) *дуалисты* (Я. Берцелиус) под понятием «радикал» понимали *тела*, которое можно получить *в свободном виде* или которое существует в свободном виде, то (В) *унитаристы* (Ш. Жерар) — *отношение*.

(А) Берцелиус делал акцент на *структуре* соединения, а (В) Жерар — на *отношениях*, которые связывают тела между собой в процессе *превращения*.

(А) Берцелиус оптимистически смотрел на неудачи с выделением свободных радикалов, приводя пример из неорганической химии, касающийся фтора, который в свободном состоянии никто не видел, но все знают о его существовании. (В) Жерар скептически относился к «химии несуществующего», если не удаётся выделить радикалы в свободном виде.

(А) Согласно *первой теории радикалов Берцелиуса*, органические соединения образуются из двух противоположно заряженных частей, например, радикала и кислорода, а вода предсуществует в органических соединениях (гидратная вода). Для Берцелиуса радикалы — это «реальные» органические атомы.

(В) Согласно *второй теории радикалов (теории остатков) Жерара*, в результате взаимодействия двух органических веществ получается простое неорганическое вещество, образовавшееся из атомов обоих взаимодействующих веществ, а оставшиеся при этом комплексы атомов обоих веществ — остатки — соединяются друг с другом, так как они не могут существовать в свободном виде: например, реакция взаимодействия бензола с азотной кислотой

<sup>99</sup> Там же. С. 225

<sup>100</sup> Родный Н. И. Очерки... С. 114–115.

представляется так  $C_6H_6 + HONO_2 = H_2O + C_6H_5NO_2$ . То есть при взаимодействии двух тел из одного из них выделяется элемент (например, водород), дающий с одним из элементов (например, кислородом) другого тела устойчивое соединение (воду); остатки же взаимодействующих тел соединяются между собой<sup>101</sup>. Для Жерара радикалы (остатки) — это «мнимые» образования, полностью отличающиеся от веществ, способных существовать в свободном виде; это скорее сочетания атомов, которые при химических превращениях могут переходить из одного соединения в другое, подобно элементам, без изменений, придавая этим соединениям определённые химические свойства.

(А) Берцелиус, как сторонник старой теории радикалов, считал органические радикалы неизменными, согласно же (В) Лорану, как стороннику новой теории радикалов, радикалы (ядра) могут изменяться: то есть фундаментальные ядра, состоящие только из углерода и водорода, могут путём замещения в них водорода галогеном, кислородом, нитрогруппой превращаться в соединения, основой которых служат производные ядра, отличающиеся от фундаментального меньшим содержанием водорода, заместившегося частично другими элементами.

Лоран («В»), употребляя вместо термина «радикал» термин «ядро», считал, что углеводородные фундаментальные ядра могут путём замещения водорода, например, галогенами, превращаться в новые ядра (с меньшим содержанием водорода). «Помимо замещения, — отмечает Н. А. Фигуровский, — О. Лоран допускал и присоединение к ядрам различных атомов. Так, этилен присоединяет к себе хлор и бром, а также и кислород. Теория ядер была положена в основу классификации органических соединений по конституции их ядер. Он пытался представить ядра в виде геометрических фигур (призм, кубов) для наглядного объяснения перехода фундаментальных ядер в производные»<sup>102</sup>.

Хотя Жерар и Лоран принадлежали к одному лагерю «В», тем не менее, и между ними просматривалось субстилистическое различие. Жерар был ориентирован на настоящее, а Лоран — на будущее химии. Жерар был скорее алгебраистом и классификатором в химии, а Лоран — геометром и инженером.

Согласно электрохимической теории (А), «химическая функция» каждого атома молекулы определяется его электрической природой, согласно же теории ядер, теории замещения (В), 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»<sup>103</sup>.

<sup>101</sup> См. Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. Развитие классической химии в XIX столетии. — М., 1979. С. 245.

<sup>102</sup> Фигуровский Н. А. История химии. — М., 1979. С. 108.

<sup>103</sup> Соловьев Ю. И., Куринной В. И. Якоб Берцелиус. Жизнь и деятельность. — М., 1980. С. 155.

И Берцелиус, и Лоран соглашались с тем, что в некоторых случаях хлор может занимать место водорода, при этом новое соединение аналогично по свойствам исходному. «Однако, — поясняют Ю. И. Соловьев и В. И. Куринной, — 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 (... в русской литературе иногда употребляли термин *сочетатель*...), которая незначительно влияла на физико-химические свойства вещества. Если замещение происходило в копуле, то новое соединение оказывалось аналогичным исходному»<sup>104</sup>.

В письме от 20 октября 1843 г. Берцелиус писал Лорану: «... 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 замещён эквивалентом хлора, с механистической точки зрения понять ещё можно, но что место эквивалента водорода или атома кислорода может быть занято двумя атомами азота и четырьмя атомами кислорода — это невозможно механически. <...> Чтобы замещающее тело вошло в соединение, порядок (расположение) всех других элементов в нём должен измениться, но тогда исчезнет и сама идея замещения»<sup>105</sup>.

«Унитаризм как общий принцип внутримолекулярной организации и дуализм (курсив мой. — В. П.) как одна из форм её конкретного проявления оказывались в отношении прямого противоречия, усиливающегося тем, что оба они определяли один и тот же предмет — молекулу химического соединения. <...> 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 проницательно заметил А. М. Бутлеров»<sup>106</sup>. Антиномия «структурность-унитарность», «локализация-делокализация» в понимании молекулы, по словам Ю. И. Соловьева и В. И. Куринной, в конечном счёте, обусловлена корпускулярно-волновым дуализмом входящих в неё микрочастиц — ядер и электронов. Но поскольку такое объяснение было делом далёкого будущего, то Берцелиус решил рассматривать органические соединения по аналогии с неорганическими, тогда как Жерар и Лоран настаивали на самобытности органической химии, а также на геометрическом факторе в электрохимии.

<sup>104</sup> Там же. С. 156–157.

<sup>105</sup> Берцелиус Лорану.//Там же. С. 312.

<sup>106</sup> Соловьев Ю. И., Куринной В. И. Якоб Берцелиус. Жизнь и деятельность. — М., 1980. С. 145.

Сторонники «А» стремились рассматривать сложные вещества как состоящие из *двух групп*, соединённых электричеством, а сторонники «В» — из одной *целой группы*, в которой атомы располагаются симметрично<sup>107</sup>.

Если (А) Г. Кольбе призывал идти от простого рационального (типично дуалистического) к неизвестно-сложному (несчётному) эмпирическому, то (В) Ш. Жерар — от известно-сложного (счётного) эмпирического к простому рациональному (типично унитарному)<sup>108</sup>.

(А) Берцелиус и его сторонники чаще использовали *рациональные* формулы (предполагающие различные гипотетические предпосылки о структуре органического «сложного атома»), а (В) Жерар и его сторонники — *двухоъёмные эмпирические формулы* (свободные от всяких гипотетических предпосылок о структуре органического «сложного атома», неизменные), отражающие лишь процентный состав соединений.

Дуалисты (А), например, по-разному писали формулу этилового спирта: Берцелиус —  $(C_2H_6)O$ , Митчерлих —  $C_4H_{10}O_2 + H_2$ , Малагути —  $C_4H_6O + H_4 + H_2O$  и т.д.

Если (А) *рациональные* формулы делали акцент на выражении *состава и строения* химических соединений, то (В) *эмпирические* формулы — на отображении только *реакций образования* соединений без представления расположения атомов.

Жерар (В) писал: «Только суммарные или эмпирические формулы имеют научное значение, которое нельзя приписывать рациональным формулам, являющимся эфемерным продуктом более или менее богатой фантазии». Лоран (В) ему отвечал: «Я хочу вместе с Вами отбросить рациональные [дуалистические] формулы, но при условии, что мы постараемся создать синоптические формулы, указывающие на отношения между различными классами [соединений] и их свойствами. Другие химики будут искать формулы “расположения”, и мы сможем их критиковать хотя бы потому, что они не нашли истинной формулы».

Позднее Жерар писал: «Рациональные формулы весьма полезны, когда речь идёт о выявлении графическим путём некоторых аналогий в реакциях, некоторых отношений между телами различного состава. Каждый может изменять их по своему желанию в зависимости от того, какое отношение он хочет изобразить, но строить формулы *только* согласно *дуалистическим* взглядам — значит придавать им слишком узкое значение, противное духу науки»<sup>109</sup>. Свою систему химических формул он назвал унитарной, рассматривая молекулу вещества как единое целое.

По мнению Жерара, установить конституцию с помощью рациональной формулы — «значит установить не расположение атомов в молекуле,

<sup>107</sup> См. Бутлеров А. М. Сочинения. Том III. — М., 1958. С. 230.

<sup>108</sup> См. Бутлеров А. М. Сочинения. Том III. — М., 1958. С. 255–259, 278.

<sup>109</sup> См. Фаерштейн М. Г. Шарль Жерар. — М., 1968. С. 106–107.

а гомологический ряд, к которому принадлежит данное вещество, и место, которое оно занимает в ряду и во всей системе классификации»<sup>110</sup>. Таким образом, эмпирические формулы легли в основу классификации органических веществ по принципу «лестницы сгорания», установленного Жераром: «Органические вещества надо расположить в виде “лестницы”, в которой верхние ступеньки заняты наиболее сложными, а нижние — наиболее простыми веществами таким образом, чтобы эти последние получались путём “горения” (окисления), т.е. отнятием углерода и водорода в виде  $CO_2$  и  $H_2O$  из предшествующих. Эта “лестница” будет, таким образом, составлена из различных ступенек, соответствующих различному числу углерода в убывающем порядке»<sup>111</sup>. Если в рациональной формуле карбоната этиламмония (А) Берцелиус использует знак «+», то (В) Жерар — знак «{»<sup>112</sup>.

*Основной предмет спора:* могут ли органические соединения рассматриваться как парные с точки зрения электрохимической теории? Или по-другому: соответствует ли состав предполагаемых радикалов электрохимической теории Берцелиуса? То есть в полной ли мере свойства радикалов в органических соединениях соответствуют свойствам атомов в неорганических соединениях, если считать радикал своего рода «органическим атомом»?

В середине 30-х гг. XIX в., например, Либих и Дюма то спорили, то сходились во мнениях, касающихся состава радикалов. В общей статье 1837 г. они писали: «Сложные радикалы являются теми настоящими элементами, которыми оперирует органическая химия, а не более отдалённые простые составные части, как то: углерод, водород, азот и кислород, которые обнаруживаются лишь тогда, когда уже исчезает всякий след органического происхождения. В неорганической химии все радикалы просты, в органической же химии все элементы сложны. В этом заключается всё различие. Законы же соединения и реакций одинаковы в обоих случаях. Таким образом, органическая химия имеет дело с радикалами, из которых одни играют роль металлов, другие — кислорода, серы и хлора. Эти радикалы могут соединяться между собой, а также с простыми телами и таким путём, подчиняясь простейшим законам неорганической природы, ведут к образованию всех органических тел»<sup>113</sup>.

«Придерживаясь во всех случаях системы Лавуазье, — пишет Н. А. Фигуровский, — Берцелиус воспринял и дуалистические взгляды Лавуазье на образование солей, согласно которым окисел металла (основание), соеди-

<sup>110</sup> Там же. С. 110.

<sup>111</sup> Цит. по: Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. Развитие классической химии в XIX столетии. — М., 1979. С. 247.

<sup>112</sup> См. Фаерштейн М. Г. Шарль Жерар. — М., 1968. С. 110.

<sup>113</sup> Цит. по: Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. Развитие классической химии в XIX столетии. — М., 1979. С. 218–219.

няясь с кислотой (кислотным окислом — радикалом), даёт соль. Берцелиус распространил этот дуализм и на другие соединения. <...> Начав с исследований электролиза растворов солей (совместно с У. Гизингером), Берцелиус ещё более укоренился в убеждении, что соединение (соль) следует рассматривать как комплекс, образовавшийся из двух частей, противоположно электрически заряженных и связанных друг с другом силами электрического притяжения»<sup>114</sup>.

«Дуалистическая система, разработанная Берцелиусом, — пишет М. Джуа, — предполагает, что каждое соединение состоит из двух частей, имеющих различную электрическую полярность. Так, по два заряда имеют угольная кислота  $\text{CO}_2$ , серная кислота  $\text{SO}_3$ , окись кальция  $\text{CaO}$  и т.д.»<sup>115</sup>. 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»<sup>116</sup>.

Однако в отношении сложных молекулярных соединений Берцелиус признавал применение теории электрохимического дуализма лишь к доминирующим в них типам химических превращений. Но подавляющее число таких неизменных, замкнутых, предполагаемых преформативных групп (радикалов) не удавалось выделить в свободном состоянии. «Прекрасно понимая трудности определения преформативных групп как инвариантов состава, желая сохранить равновесие между крайностями спекулятивного теоретизирования о взаимном расположении атомов и грубом 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»<sup>117</sup>. Проводя с 1811 г. исследования органических кислот, Берцелиус доказал, что органические вещества подчиняются закону кратных отношений так же, как и неорганические. То есть органические вещества можно рассматривать как парные, что соответствовало электрохимической теории.

Берцелиус был склонен рассматривать органическую химию как химию сложных радикалов (=элементов) и противопоставлять радикалам абсолютно электроотрицательный кислород, и, таким образом, рассматривать кислотосодержащие органические соединения как окислы сложных радикалов. Если Лавуазье различал простые радикалы в неорганических соединениях от сложных радикалов в органических кислотах, то Берцелиус искал общий подход на основе электрохимической теории.

<sup>114</sup> Там же. С. 120.

<sup>115</sup> Джуа М. История химии. — М., 1975. С. 207.

<sup>116</sup> Соловьев Ю. И., Куринной В. И. Якоб Берцелиус. Жизнь и деятельность. — М., 1980. С. 117.

<sup>117</sup> Там же. С. 148.

Основное же затруднение для себя он объяснял так: «В органических соединениях имеет место одна особенность, которой нет в неорганической природе, а именно, что образуются соединения из одних и тех же элементов, чаще всего в одних и тех же или очень близких относительных пропорциях с весьма неодинаковыми электрохимическими свойствами. В неорганической природе наиболее сильно электроотрицательные простые тела дают наиболее сильно электроотрицательные окислы, и мы объясняем это электроотрицательной полярностью радикала. Наоборот, в органической природе мы находим, что тела с одинаковым или почти одинаковым составом представляют собою: одни — сильные кислоты, другие — почти индифферентные вещества. Щавелевая кислота представляет собой более сильную кислоту, чем угольная кислота, несмотря на то, что в первой радикал соединён с меньшим количеством кислорода, чем в последней, и что этот факт связан с тем, что щавелевая кислота содержит в качестве радикала двойной атом»<sup>118</sup>.

Важным подтверждением своей теории Берцелиус считал факт обнаружения Либихом и Вёлером в 1832 г. бензойной кислоты в результате присоединения кислорода к горькоминдальному маслу, а точнее — вывод о том, что «при переходах от одного соединения (бензойной кислоты) к другим, группа атомов  $14\text{C} + 10\text{H} + 2\text{O}$  [ $2(\text{C}_7\text{H}_5\text{O})$ ] фигурирует в неизменном виде в составе всех соединений»<sup>119</sup>. То есть эта группа атомов представляет собой сложный радикал, названный бензоилом. Но при всём при том, Берцелиус вполне определённо выступил против идеи о существовании кислотосодержащего радикала бензоила, поскольку это противоречило убеждению, что кислород занимает особое положение абсолютно электроотрицательного элемента и, следовательно, его соединения с органическими радикалами должны рассматриваться как окислы.

Профессор Казанского, а затем Дерптского университета К. Н. Клаус выражал симпатии к учению Берцелиуса, утверждавшего, что все окислы разделяются на положительно и отрицательно заряженные, а их соединения, т.е. соли, образуются вследствие притяжения разноимённых зарядов. В своей книге 1854 г. «Клаус привёл ряд фактов, находящихся в явном противоречии с теорией Жерара, и отверг её, как непригодную для платиновых оснований»<sup>120</sup>.

Если Жерар (В) аммиачные соединения солей металлов толковал как замещённый аммоний (например, зелёная соль Магнуса истолковывалась как хлористый аммоний, в котором эквивалент водорода замещён одним эквивалентом платины), то Клаус (А) высказывал весьма близкую к современ-

<sup>118</sup> Цит. по: Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии. Развитие классической химии в XIX столетии. — М., 1979. С. 205.

<sup>119</sup> Там же. С. 209.

<sup>120</sup> Звягинцев О. Е. Развитие химии комплексных соединений//Очерки по истории химии. — М., 1963. С. 82



ным воззрениям на строение аммиатов платины и других тяжёлых металлов мысль, о том, что «в некоторых соединениях аммиак, как основание, может играть пассивную роль и, подобно воде, играть роль основания или не играть этой роли»<sup>121</sup>. В этом случае, согласно Клаусу, платиновые основания можно рассматривать, как «соединения пассивного аммиака, с окислами металлов, в которых способность к насыщению зависит от металлического окисла»<sup>122</sup>.

Исследования Клауса по химии платиновых металлов, замечает О. Е. Звягинцев, в значительной части относятся к химии комплексных соединений — платиновых, родиевых, иридиевых, рутениевых и других «оснований». «Не приняв теорию типов Лорана и Жерара, Клаус придерживался воззрений, более близких современной координационной теории, чем «аммонийная теория» Жерара»<sup>123</sup>. Примечательно и то, что Бутлеров (*ав*) был учеником Клауса.

Спор среди последователей продолжался и в начале 1870-х гг. «Химики, — комментировал ситуацию Канниццаро, — до сих пор ещё не вполне согласны относительно выбора формул, которыми выражают конституцию соединений... как кажется, и из тех, кто принял новую систему атомных весов и формул, называемую унитарной в противоположность дуалистической, довольно многие сделали это, по-видимому, из чистой любезности и, недостаточно исследовав солидность оснований, на которых покоится эта система, кичатся своим скептицизмом в оценке её реального значения; напротив, другие, руководимые верой, доходящей до фанатизма, придают одинаковое значение не только существенным и побочным частям новой системы, но и всякого рода предположениям, которые берут в ней начало или же местами вклинены в неё»<sup>124</sup>. Весьма примечательно следующее высказывание Канниццаро как химика-исследователя и историка химии, высказывание, касающееся исторического априори спорящих научных стилей. «Я знаю по собственному опыту, что понять и оценить работы, вокруг которых кипит спор в этой области науки, можно лишь тогда, когда мы обратимся назад и отыщем истоки не только господствующих ныне идей и методов, но также и теорий, которые, хотя заброшены и даже забыты, оставили в науке, в первую очередь в её языке, ещё неизгладившийся след»<sup>125</sup>.

### **Персона «А» — ЯКОБ БЕРЦЕЛИУС**

Якоб Берцелиус с детства имел склонность к коллекционированию. Он собирал чучела птиц, насекомых и растения, а также увлекался охотой. В студенческие годы он научился у одного итальянца паять стекло и делать сте-

<sup>121</sup> Цит. по: там же. С. 82.

<sup>122</sup> Там же. С. 83.

<sup>123</sup> Там же. С. 83.

<sup>124</sup> Цит. по: Быков Г. В., Крицман В. А. Станислао Канниццаро. — М., 1972. С. 43–44.

<sup>125</sup> Там же. С. 45.

кланную посуду, что пригодилось в его лабораторной деятельности<sup>126</sup>. Ещё одним штрихом к жизненному стилю Берцелиуса могут служить его частые болезни, начиная с 39-тилетнего возраста (1818, 1832, 1835 гг.). Причиной этому могло быть чрезмерное личное упорство в самых кропотливых исследованиях. Так, в период 1811–1818 гг. шведский учёный определил атомные веса 45 элементов, проанализировал и определил процентный состав 2000 соединений. А за период 1808–1818 гг. написал трёхтомный труд «Учебник химии», который стал настольной книгой для химиков 1820–1850-х годов. К тому же он в течение всей жизни вёл большую международную переписку с коллегами: написал более 6000 и получил около 7000 писем<sup>127</sup>.

Стилистически значимым оказывается и влияние работ И. Рихтера на Берцелиуса. Историки химии отмечают, что 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. «Так, выбрав произвольно некоторое количество кислоты (или основания) за единицу, — пишут Ю. И. Соловьев и В. И. Куринной, — 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 определённой форме, чем закон Пруста»<sup>128</sup>. На основе данных многочисленных анализов Рихтер составил и искал арифметические и геометрические прогрессии в рядах относительных весовых количеств кислот (рядах нейтрализации), которые необходимы для нейтрализации определённого количества какой-либо щёлочи и, наоборот, щелочей, необходимых для нейтрализации определённого количества какой-либо кислоты.

При важности геометрического фактора в кристаллографической теории «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»<sup>129</sup>. По его мнению, расположение атомов обусловлено равновесием электрохимических сил. Спустя столетие данное положение нашло своё отражение как в первых электронных теориях молекул, так и в квантовохимических методах.

<sup>126</sup> Там же. С. 82.

<sup>127</sup> Там же. С. 27–29.

<sup>128</sup> Там же. С. 54.

<sup>129</sup> Там же. С. 137.

Для характеристики стилей весьма примечательна дружба между величественным, сдержанным *Якобом Берцелиусом (А)* и резким, честолюбивым, «химически истеричным» (по словам Ф. Вёлера) *Юстусом Либихом (В)*. *Берцелиус* призывал быть толерантным, полагая, что мнения людей — это не сами люди и, что отвергая мнения, мы не нападаем на тех, кто их высказал. *Либих*, напротив, «не отделял автора от научного мнения и позволял себе высказывать резкие суждения в адрес того или иного учёного»<sup>130</sup>. *Первый* предпочитал приватную, дружескую научную полемику, а *второй* публичную. Если *Берцелиус* склонялся к консерватизму, *классической гармонии* и целостности, то *Либих* — к новаторству и *перестроечному конструктивизму*. «Мы должны стремиться создать в науке понятия настолько ясные, — писал шведский учёный, — насколько это возможно, и изменять настолько мало, насколько это возможно»<sup>131</sup>. Или вот такое высказывание *Берцелиуса*: «Кто хочет сделать ту или иную теорию достоянием человечества, тот должен предварительно подвергнуть её испытанию по отношению ко всем имеющимся фактам, без всякого пристрастия к самой теории, и одинаково открыто выставить как слабые, так и сильные стороны её. Он никогда не должен пытаться внушить убеждение там, где есть только вероятность»<sup>132</sup>. *Либих* же писал *Берцелиусу* следующее: «Принципы, установленные тобой в теоретической и философской химии, были нашими руководителями в течение долгих лет. <...> До известной высоты фундамент был достаточно прочным, но он не может быть таким до безграничной высоты. По мере того как он растёт, 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 неизменен»<sup>133</sup>. *Берцелиус* отвечал: «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 сооружённом строении, то оно падает... Более прочное и лучше укреплённое 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»<sup>134</sup>.

### Персона «В» — ШАРЛЬ ЖЕРАР

Может показаться удивительным, но *(В) Шарля Жерара* в своё время купил за 2000 франков из его военной службы в 13-ом кавалерийском полку

<sup>130</sup> Там же. С. 38.

<sup>131</sup> Там же. С. 296.

<sup>132</sup> Там же. С. 39.

<sup>133</sup> Там же. С. 38.

<sup>134</sup> Там же. С. 303.

такой представитель стиля «В», как Ю. Либих, который, правда, оказался более умеренным апологетом унитаризма. Таким образом, Жерар в 1836 году отправился работать в лабораторию Либиха, после чего получил хорошие рекомендации для учёбы в Париже у Ж.-Б. Дюма.

10 мая 1841 г. Жерар прочитал свою первую лекцию. Она была посвящена происхождению органических веществ. Студентов на его лекции в Монпелье приходило много (40–50 слушателей), тогда как у коллег, читавших курсы физики и зоологии, набиралось по 2–3 человека. С чем это связано? Вот, что писал в письме О. Кауру сам Жерар: «Мой курс кончился торжественно: в конце лекции зал аплодисментов. Но учтите, что на этой лекции я во время демонстрации опытов убил синильной кислотой кролика и произвёл взрыв гремучей ртути. Вы понимаете, что это всё их подогрело; хотя бы видеть дым, вот как!»<sup>135</sup>.

С 1842 г. Жераром овладела идея систематизации всего эмпирического материала по органической химии, прежде всего необходимая для удобства преподавания. «Я предполагаю представить ряд статей, — писал французский учёный, — в которых изложу опыты, предпринятые мною, чтобы связать между собой некоторые ряды органической химии и главным образом чтобы найти некоторый общий закон, который позволил бы координировать существующий разрозненный материал и установить на его основе систему классификации»<sup>136</sup>. С этого был сделан шаг к унитаризму, выпадам против дуалистов и войне с Академией. К тому же у Жерара была злость на своего отца и на свою бедность, о которой он постоянно жаловался в письмах. Из-за своей прямолинейности и некоторой научной бестактности впоследствии он был унижен и Тенаром, Баларом и Дюма. «Видите ли, — писал он Лорану, — надо нападать открыто, ибо, если дискуссия не будет перенесена в Академию, никто не обратит на нас внимания»<sup>137</sup>. В обострившейся к 1845 году дискуссии крепко досталось и Либиху за его заявления о существовании сложного радикала меллона, который образует ряд соединений — меллонидов. Примечательно, что именно в 1845 г. за свои научные заслуги Либих получил титул барона, что язвительно подчёркивали в своих письмах Жерар и Лоран. На фоне этого Лоран рисовал карикатуры на своих недругов и писал: «Какая собачья жизнь! У меня нет ни гроша. У меня всего один несчастный урок — за один час и три четверти мне платят 5 франков; это всё, что я смог найти с тех пор, как я в Париже. Через несколько месяцев мне придётся броситься в [Сену] (Нарисован человек, бросающийся в Сену. — М. Ф.)»<sup>138</sup>.

В 1848 г. Жерар становится горячим сторонником и активным участником революции, попутно используя это и для того, чтобы припугнуть Дюма,

<sup>135</sup> См. *Фаерштейн М. Г.* Шарль Жерар. — М., 1968. С. 20–21.

<sup>136</sup> Цит. по: там же. С. 23.

<sup>137</sup> Там же. С. 31.

<sup>138</sup> Цит. по: там же. С. 40.

оспаривавшего с ним приоритет в открытии гомологии отдельных классов органических соединений. Боевой же дух французского химика в науке характеризует следующее воспоминание 1853 г. А. Шерера-Кестнера о дискуссии между Жераром и Вюрцом: «Жерар — человек цельного характера, резкий и неистовый, и Вюрц — пылкий, но тонкий и деликатный, спорили об атомах и молекулах. Иногда Жерар — человек, глубоко убеждённый в правоте своих идей, выходил из терпения из-за возражений своего противника, и я видел, как он ломал пальцами мел, которым чертил формулы на доске»<sup>139</sup>.

В 1850 г. происходит примирение Жерара с Либихом: «Ещё сегодня можно определить органическую химию как химию сложных радикалов: надо только хорошо уточнить смысл слова “радикал” и лишить его абсолютного значения, которого вы сами никогда не допускали и которое было внедрено Берцелиусом»<sup>140</sup>. Исходя из идей теории замещения, они оба признавали изменчивость радикалов и не считали их замкнутыми группами. В это же время Жерар открывает частную химическую лабораторию, которая просуществовала около четырёх лет.

Со своим открытием в 1852 г. ангидридов одноосновных органических кислот (ангидриды — молекулы воды, в которых оба атома водорода замещены кислотными остатками) Жерар развивает новую теорию типов. «Он считает, что все химические соединения можно рассматривать как производные четырёх типов: типа воды ( $H_2O$ ), типа водорода ( $H_2$ ), типа хлористого водорода ( $HCl$ ) и типа аммиака ( $NH_3$ ). Замещая атомы водорода другими атомами или группами (радикалами), можно получать самые различные соединения»<sup>141</sup>. В связи с такой позицией Жерара в лагере стиля «В» произошёл раскол на субстили.

Если (*aB*) Дюма приписывал главное значение числу и расположению атомов молекулярного типа, то (*bB*) Жерар определял свойства соединений не только формой типа, но и природой радикалов (остатков), замещающих атомы водорода в данном соединении<sup>142</sup>.

Типы Дюма основываются на предполагаемом расположении атомов в веществе, не поддающемся опытному изучению, а типы Жерара позволяя сравнить различные вещества только по их реакционной способности.

Типические формулы, (*aB*) по Уильямсону и Вюрцу, дают некоторое представление о расположении атомов или, по крайней мере, о различии в их расположении, тогда как, (*bB*) по Жерару, эти формулы только «резюмируют более или менее полно некоторое число превращений», дают химические аналогии, являющиеся сокращёнными уравнениями реакций<sup>143</sup>.

<sup>139</sup> Там же. С. 150.

<sup>140</sup> Цит. по: там же. С. 52–53.

<sup>141</sup> Там же. С. 56.

<sup>142</sup> Там же. С. 56.

<sup>143</sup> См. Быков Г. В. Август Кекуле. Очерк жизни и деятельности. — М., 1964. С. 40–41.

Примечательно, что на Международном конгрессе в Карлсруэ (герцогство Баден) 1860 г. в вопросе о способах химического обозначения атомных и молекулярных весов (*A*) Дюма, Мариньяк были «за Берцелиуса» (соединительные веса), а (*B*) Канниццаро, Штреккер, Вюрц и др. «за Жерара» (новые атомные веса). «Наибольшую поддержку предложения Канниццаро встретили со стороны Вюрца. Не всегда последовательный, он всё же в ряде выступлений поддержал новую систему атомных весов. Так, на первом заседании конгресса, выступая после речи Канниццаро, он заявил: «... многие реакции двойного разложения приводят к формулам, тождественным формулам, которые следуют из паёв Канниццаро, одинаковых со старыми паями Берцелиуса». Однако на втором заседании Вюрц, критикуя атомные веса Жерара в связи с тем, что многие из них уменьшены вдвое, призвал обратить на атомные веса Берцелиуса. Стремление Вюрца ввести новые атомные веса под видом атомных весов Берцелиуса встретило противодействие Канниццаро, который указал на принципиальное отличие дуалистической системы от унитарной»<sup>144</sup>.

### Персона «В» — СТАНИСЛАО КАННИЦЦАРО

Знаменитым последователем унитарной теории был итальянский химик Станислао Канниццаро. Во время учёбы в школе-пансионе пятнадцатилетний Станислао был награждён золотой медалью за «умственную зрелость и искусность в высшей арифметике». В 1841 г. он поступил на медицинский факультет Палермского университета и занялся физиологией. Путь химика же, по его собственным словам, он избрал не по мощному внутреннему побуждению к этой профессии, а благодаря влиянию авторитета его знаменитого учителя Рафаэле Пириа. При этом он оставался представителем стиля «В» в химии: был порывистым в проявлении своих чувств, прекрасным оратором, общественно-политическим деятелем, человеком, обладающим педагогической эмпатией и дидактическим плюрализмом. В восьмидесятилетнем возрасте он читал двойной курс лекций, наблюдал за работой нескольких дипломников, издавал итальянский химический журнал и выполнял многочисленные административные обязанности в большом университете<sup>145</sup>.

С помощью своего исторического подхода в химии Канниццаро находил и устранял противоречия. Так, в проблеме определения атомных весов он осуществил согласование теории Авогадро и Ампера с теорией Жерара. Канниццаро показал, что Жерар, не зная того, был близок к теории Авогадро, но оказался непоследовательным во всех частях своей системы.

<sup>144</sup> Куринной В. И. Возникновение современной системы атомных весов. // Очерки по истории химии. — М., 1963. С. 25–26.

<sup>145</sup> См. Быков Г. В., Крицман В. А. Станислао Канниццаро. — М., 1972. С. 36–37, 148, 154, 159.

Согласно Канниццаро, «газовый объём» суть «молекула». Вес и число молекул пропорциональны весу и числу газовых объёмов. В химических явлениях молекулы могут подвергаться последующему делению, но эта делимость имеет пределы: неделимые части молекул суть атомы. «Плотности паров, — писал итальянский химик, — дают средство для определения молекулярных весов как простых тел, так и сложных. Удельные теплоёмкости служат для контроля над весами атомов, но отнюдь не молекул. Изоморфизм раскрывает аналогии в молекулярной конституции»<sup>146</sup>.

Как уже отмечалось, в стане «В» тоже случались споры. Так, например, на Международном конгрессе химиков в 1860 г. произошла дискуссия между (аВ) Канниццаро и (bВ) Кекуле.

Согласно первому, частица тела существует именно тогда, когда она находится в газообразном состоянии, и эта частица остаётся той же как для физики, так и для химии.

Согласно же второму, частицы тел, действующих в явлениях теплоты, не те, какие мы находим в твёрдых, жидких и газообразных телах, и не те, какие вступают в реакции, а газовая молекула суть лишь физическая молекула<sup>147</sup>.

Если Канниццаро допускал использование физических методов (по работам Авогадро и Ампера) при определении величины химических молекул, то Кекуле в этом отстаивал специфику химических методов.

В письме к Л. Мейеру Кекуле писал: «Будет совершенно против моей (я чуть было довольно надменно не сказал: логической) природы признать основной закон, согласно которому плотность пара есть *единственная* мера величины молекулы. Я не могу переварить такой основной закон. При этом я отношусь с полным уважением к плотности пара и к ней вовсе не неблагодарен»<sup>148</sup>. Для Кекуле атом важен не как физическая реальность, а как концепт, способствующий познанию механизма химических реакций. Он писал: «Как химик, я всё же считаю допущение атомов не только полезным, но и совершенно необходимым в химии. Я иду ещё дальше и выражаю моё убеждение в том, что *химический атом существует*, если понимать его как частицу материи, с которой при химических реакциях не происходит никакого дальнейшего деления»<sup>149</sup>. Такой же важной «единицей» химии он считал и химическую молекулу.

«В своём сочинении “Конспект курса химической философии” С. Канниццаро обосновал необходимость изменений атомных масс ряда металлов, не только базируясь на результатах определений плотностей пара металло-органических соединений, но и привлекая данные о валентности металлов, их способности давать соединения со спиртовыми радикалами. При этом

<sup>146</sup> Там же. С. 128.

<sup>147</sup> Там же. С. 130.

<sup>148</sup> Цит. по Быков Г. В. Август Кекуле. Очерк жизни и деятельности. — М., 1964. С. 107.

<sup>149</sup> Цит. по: там же. С. 108–109.

выяснилось, что вывод А. Кекуле и некоторых других химиков о постоянной валентности металлов неверен. Оказалось, что многие металлы обладают переменной валентностью»<sup>150</sup>.

### Персона «В» — АВГУСТ КЕКУЛЕ

У Августа Кекуле была замечательная память. Языки ещё в детстве усваивались им очень легко. Кроме своего родного немецкого, он в старших классах гимназии блестяще владел французским, английским и итальянским. Так, на выпускном акте он прочитал речь на итальянском языке на тему «Подземный мир Вергилия и Дантов ад»<sup>151</sup>. Он увлекался также геометрией и архитектурой, но после курса лекций Ю. Либиха отдал предпочтение химии. В начале 50-х гг. XIX века, согласно воспоминаниям Л. Мейера, Р. Аншюца и других химиков, Кекуле был духовным наследником Жерара и его теории типов. Он развивал эту теорию и добился своей конструкции, называя её теорией многоатомных радикалов. При толковании радикалов в стане «В» Кекуле был в большей степени последователем (bВ) Жерара (типы выражают известные отношения в превращениях), чем (аА) Уильямсона (типы представляют группировку атомов в существующем соединении)<sup>152</sup>.

### Персона «В» — НИКОЛАЙ ЗИНИН

Ещё одним представителем «В» был и Н. Н. Зинин. С детства он славился незаурядной физической силой и ловкостью. «Недаром, как отмечают биографы, среди тех, кто стали потом химиками, было сравнительно мало хрупких, изнеженных вундеркиндов. Нет, преобладали среди них жизнерадостные, здоровые, непоседливые мальчишки, доставлявшие немало хлопот своим воспитателям»<sup>153</sup>. Правда, в студенческие годы такой энтузиазм провоцировал перегрузки, которые могли заканчиваться кровохарканием. Не поэтому ли Зинин ещё интересовался и медициной? В начале 50-х гг. XIX в. он занимается исследованием свойств им же синтезированных аминов и видит в органических основаниях (щелочах) аналог аммиака, что приводит его в стан «лоранистов», сторонников унитарной теории. В эти же годы он посещает Кавказ и Крым для изучения минеральных вод и лечебных грязей. Затем в годы Крымской войны работает над взрывчатыми веществами, обращая внимание на удивительные свойства нитроглицерина.

В лаборатории и кабинете Зинина, по воспоминаниям Бородина, царил «организованный хаос», который, тем не менее, отражал важную особенность мышления химика. Эта особенность «позволяла ему “вслепую”,

<sup>150</sup> Фигуровский Н. А. История химии. — М., 1979. С. 137.

<sup>151</sup> См. Быков Г. В. Август Кекуле. Очерк жизни и деятельности. — М., 1964. С. 10.

<sup>152</sup> Там же. С. 45.

<sup>153</sup> Полищук В. Р. Чувство вещества. — М., 1981. С. 10.

не пользуясь ещё теорией строения, проделывать на удивление осмысленные, целенаправленные эксперименты». «Порой даже кажется, — пишет В. Р. Полищук, — что и теория строения у него была, но только какая-то своя, отдельная»<sup>154</sup>. Благодаря своей могучей памяти Зинин помнил не только расположение предметов в рабочих помещениях, но и, по воспоминаниям Белоголового, например, «как двенадцатилетний гимназист старого времени, в состоянии был, не запнувшись, перечислить все города какой-нибудь губернии, цитировал целые страницы Хераскова, Шиллера на немецком и в переводе Жуковского»<sup>155</sup>.

## Заключение

---

<sup>154</sup> Там же. С. 135.

<sup>155</sup> Цит. по: там же. С. 136.

Книжный, вербальный, абстрактно-символический язык науки... Разумеется, он необходим для социальной, профессиональной адаптации. Однако он лишь оформляет, классифицирует предварительные результаты процесса миропонимания, но не обуславливает сущностное развитие этого процесса. Ученик чаще всего не понимает того, что познает, ибо осмысливать действительность означает ещё и переживать опыт «встречи» (М. М. Бахтин, М. Бубер) с ней. Такая «встреча», «диалог» есть важнейшее условие глубокого понимания. Ученик не понимает того, с чем он встречается на уроке, поскольку не чувствует родства, сопричастности к объектам изучения. Они для него такие же бессмысленные и холодные, как для Кая льдинки, из которых он по заданию Снежной королевы складывал слово «Вечность». В той игре не было чувства, а значит, не было доступа к Книге Науки.

Может быть, ученик в школе оттого и не хочет читать и понимать Книгу Науки, что в нём не актуализированы задатки Актёра, интерпретирующего Текст? А ведь задатки эти у него есть, ибо игра — родная стихия для ребёнка. Он актёр в онтологическом смысле, Актёр, являющийся как Знаком, так и Читателем Науки как Текста. Актёр, живущий стилем и читающий стили.

«Что даёт актёру текст? — Строго и исчерпывающе говоря, только “дух”, идею, тенденцию, направление, задачу! Решение задачи, путь, очувствление, облечение идеи в плоть, превращение “духа” в душу, в лицо, в субъект... — вот что задаётся театру и актёру. <...> Актёр... условно изображает действующее лицо, а не копирует какого-нибудь действительного субъекта. Он сам создаёт воображаемые лица собою. <...> Если и можно говорить о творчестве актёров, как “подражании”, то только в некотором философски условном смысле. Это “подражание” ни в коем случае не есть копирование действительности. Это есть художественное и эстетическое “подражание”, т.е., говоря в терминах философии, “подражание идее”, творчество образа по идее, как по прообразу»<sup>1</sup>. Я привёл эту длинную цитату из работы Г. Г. Шпета, чтобы показать возможности претворения Текста в игру для школьного образования. Ведь персонажем, «лицом» может быть любое личностно-значимое для ученика явление природы, науки и искусства.

Как ни странно, но призывы обратить внимание на стили восприятия и мышления для гуманизации и диалогизации обучения наиболее заметны у тех, кто занимался когда-то и/или занимается сейчас проблемами матема-

тического образования вообще и школьной математики в частности. Назову наиболее известные имена: из «старых» европейцев — Клейн, Адамар, Пойя; из наших современников россиян — Арнольд, Башмаков, Каплунович. По общей дидактике у нас заметны В. С. Библер с «Диалогом культур», И. С. Якиманская с личностно-ориентированной урочной системой и М. А. Холодная с «Математика. Психология. Интеллект — проектом». Рефлексивно-исследовательская база богатая, но вот с методологией и практическим воплощением остались проблемы.

Естественно, стилевой подход распространяется на то, *как* учить и *чему* учить. В связи с этим появляются и новые принципы существенно корректирующие традиционные. Я бы выделил такие:

1) *по статическому аспекту*: бинарности и фрактальности (дробно-стилевой разномасштабности; М. А. Холодная говорит о феномене «расщепления» полюсов когнитивных стилей);

2) *по динамическому аспекту*: диалогичности, кинестетичности, ролевой сменяемости.

Для дидактики личностно-значимого образования стиле-ролевой подход может быть важен тем, что позволит наметить пути ролевого проживания разных стилей как в модусе существования «быть», так и модусе существования «иметь», разных стилей в коллективном и индивидуальном обучении, в когнитивно-центрированном и личностно-центрированном и так далее.

<sup>1</sup> Шпет Г. Театр как искусство. // Вопросы философии, 1988. № 11. С. 85–86.



Пузыревский Валерий Юрьевич,  
Виденкова Галина Викентьевна

## **Диалогика стилей в науке. Химия**

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ ИСТОРИИ ХИМИИ В 8–10 КЛАССАХ

Учебно-методическое пособие

Редактор *А.С. Русаков*  
Корректор *Е.С. Брискина*  
Художественный редактор *Д.Ю. Матиясевич*

Автономная некоммерческая просветительская организация  
в области естествознания и высоких технологий  
**«ШКОЛЬНАЯ ЛИГА»**

199034, Санкт-Петербург, 9-я линия В.О., д. 8, каб. 28  
е-мэйл: [books@fondedu.ru](mailto:books@fondedu.ru) тел. 8 (812) 640-21-31  
генеральный директор М.М. Эпштейн

Подписано в печать 10.12.2012  
Тираж 120 экз.      Заказ

Отпечатано в ООО «Издательство «ЛЕМА»  
Санкт-Петербург, Средний просп. В.О., 24  
Телефон/факс: (812) 401-01-74 e-mail: [izd\\_lemma@mail.ru](mailto:izd_lemma@mail.ru)