

ГДУ, 1

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИНСТИТУТ
ФИЛОСОФИИ



14
ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН
Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА
И ЕГО ФИЛОСОФСКОЕ
ЗНАЧЕНИЕ

54.9
17. 27



СБОРНИК СТАТЕЙ



Лекс. 848

МХЛ-СОСР
Государственный завод
Химический завод
Техническая библиотека

ОГИЗ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ПОЛИТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1947

ОТ ИНСТИТУТА ФИЛОСОФИИ

В связи с тем, что в 1947 г. исполнилось 40 лет со дня смерти великого русского учёного Дмитрия Ивановича Менделеева, Институт философии Академии наук СССР счёл полезным издать работы советских учёных, посвящённые периодическому закону химических элементов, открытому Менделеевым.

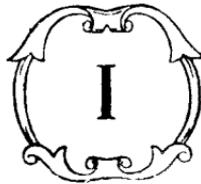
В книгу вошли доклады и статьи, опубликованные в связи с 75-летием открытия периодического закона, а также в предвоенные годы.

В первый раздел входят статьи, содержащие общую оценку открытия Менделеева; в статьях второго раздела освещается история открытия периодического закона и системы Менделеева; статьи, вошедшие в третий раздел, посвящены выяснению физического содержания периодического закона как с точки зрения физических взглядов на строение материи, так и в смысле характеристики его как общего закона природы (земли и космоса); в четвёртом разделе помещены статьи, в которых анализируются химические понятия, связанные с периодическим законом, в частности понятие химического элемента; статьи последнего, пятого раздела освещают общие вопросы мировоззрения Менделеева в связи с его учением о периодическом законе.

Статьи перепечатываются, как правило, лишь с небольшими изменениями, сокращениями и поправками редакционного порядка. Что касается

статьи покойного А. В. Раковского, то в неё, в соответствии с пожеланием, высказанным автором в своё время в письменной форме, внесены соответствующие поправки и одновременно заменён иностранный текст приводимых автором цитат русским текстом.

Р А З Д Е Л



ОБЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ
ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА
МЕНДЕЛЕЕВА

**К 75-летию ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА
Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА¹**

Академик А. Н. Бах

Имя и труды Менделеева пользуются мировой славой. Периодический закон, открытый Менделеевым, сопутствует каждому химику любой страны на всём протяжении его деятельности. Этот закон является могучим обобщением и орудием анализа огромнейшего арсенала химических знаний, накопленного человечеством и сильно обогащающегося с каждым годом.

Периодический закон послужил и продолжает служить путеводной звездой для тысяч новых исследований и творческих исканий в области химических, физических, геологических, технических и других наук.

Однако мы собрались сегодня не только для того, чтобы торжественно отметить 75-летие этого выдающегося открытия и ещё раз провозгласить славу гению и гордости мировой и русской науки — Дмитрию Ивановичу Менделееву, но и для того, чтобы вновь просмотеть, что сделано передовой наукой, что делается и что, по-нашему, следует ещё сделать, используя и развивая закон Менделеева — один из основных и величайших законов современного естествознания.

Периодический закон принадлежит к числу тех законов природы, открытие которых влечёт за собой многочисленные и разнообразные следствия и приложения и творческое развитие их вширь и вглубь.

¹ Из вступительного слова на заседании, организованном Всесоюзным химическим обществом имени Д. И. Менделеева и Отделением химических наук Академии наук СССР 30 марта 1944 г.

В своих трудах, особенно в «Основах химии», Д. И. Менделеев поистине закладывал фундамент теоретического мышления химиков, без которого нельзя быть настоящим химиком-исследователем.

Дмитрий Иванович Менделеев познал триумф периодического закона, когда, как он предсказывал, были открыты новые элементы, исправлены атомные веса некоторых элементов, установлены многочисленные новые зависимости свойств от состава элементов и их соединений. Недаром Энгельс назвал периодический закон Менделеева научным подвигом, который «смело можно поставить рядом с открытием Лавуазье, вычислившего орбиту еще неизвестной планеты — Нептуна». Действительно, периодический закон открыл новую эпоху творческих исканий и достижений, и не только в химии, но и во всем естествознании, оказав большое влияние также на материалистические обобщения в различных областях естественных наук и философии.

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЕЕВА И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ МИРОВОЙ НАУКИ

Б. М. Кедров

В 1869 г. ещё сравнительно молодой русский химик Дмитрий Иванович Менделеев сделал одно из величайших в истории науки открытий: он нашёл периодический закон химических элементов и на основе этого закона построил систему элементов. В чём состояла сущность этого открытия? Каково было его философское значение? Каково его значение сейчас в свете современной мировой науки? Попробуем ответить на эти вопросы.

1. Открытие периодического закона

Ещё в конце XVIII в. химики твёрдо установили, что вещества, из которых образуются все живые и неживые тела природы, сами состоят из нескольких десятков химически простых веществ или, точнее, химических элементов. Было признано, что все сложные вещества образованы либо из различных химических элементов, либо из одних и тех же элементов, но соединённых в различных пропорциях. Поэтому если подвергнуть химическому разложению любое вещество, то в конце концов оно распадается на отдельные химические элементы.

В начале XIX в. английский учёный-самоучка Джон Дальтон показал, что каждый химический элемент состоит из множества атомов, т. е. частиц, неделимых никакими известными в то время способами. По Дальтону, важнейшими свойствами атомов были: во-первых, их масса, выражаемая атомным весом; во-вторых, их способность соединяться между собой в простых кратных отношениях, т. е. так, что один атом присоединяет только целое, но никак не дробное, число других атомов. Благодаря

этому были раскрыты основные законы, согласно которым образуются сложные химические вещества из элементов, но связь между самими элементами оставалась ещё совершенно не раскрытой. Поэтому элементы до Менделеева казались чисто случайным скоплением ничем не связанных между собой веществ. Среди них встречались и сходные между собой и резко отличные друг от друга. Между хлором и натрием, например, казалось бы, нет ничего общего, это — крайние противоположности; хлор в свободном состоянии представляет собой газ, который легко соединяется с водородом и даёт сильную кислоту; натрий, напротив, металл, бурно реагирующий с водой и дающий едкую щёлочь. Как же можно мысленно связать в единую систему столь разнородные элементы? Химикам долгое время казалось это вообще невозможным.

Д. И. Менделеев обратил внимание на то, что у всех элементов, при всём их различии, есть нечто общее; это — их масса, выраженная в атомном весе. Каждый элемент обладает своим атомным весом; например, у хлора он равен 35,5, у натрия — 23,0 и т. д. Значит, заключил Менделеев, все элементы можно *сравнивать* между собой по их атомному весу. С этой целью он написал на отдельных карточках всё, что было известно в то время о каждом химическом элементе: значение атомного веса, физические свойства и химические свойства. А так как все элементы обладали общим свойством — атомным весом, то карточки Менделеев расположил в один ряд в порядке возрастания атомного веса у элементов. Первое место занял самый лёгкий элемент — водород, за ним шёл немного более тяжёлый — литий, потом ещё более тяжёлые элементы и так до самых тяжёлых, которыми заканчивался весь ряд. Когда после этого Менделеев посмотрел, как расположились отдельные элементы в общем ряду, то обнаружил замечательное явление. Оказалось, что элементы с одинаковыми химическими свойствами *повторяются периодически*, через 7 или 17 мест¹. Так, например, после щелочного металла лития через 7 элементов снова появляется щелочной металл натрий, а ещё через 7 элементов — тоже щелоч-

¹ Когда Менделеев делал своё открытие, недействительные газы — гелий, аргон и др. — не были ещё известны; поэтому длина каждого периода считалась тогда меньшей, чем сейчас, на один элемент.

ной метала калий; затем период становится длиннее: щелочной металл рубидий стоит на 18-м месте после калия, цезий — на 18-м месте после рубидия. Та же правильность обнаружилась и у других элементов, например, у галоидов: на 8-м месте после фтора стоит хлор, на 8-м после хлора — бром, на 18-м месте после брома — иод. Заметив это, Менделеев разделил весь ряд элементов на части (периоды) и поместил один период под другим — так, чтобы химически сходные элементы попали в один вертикальный столбец и стояли друг под другом; в результате получилась таблица, в которой элементы располагались в порядке возрастания их атомного веса, причём элементы с одинаковыми свойствами периодически повторялись на одном и том же месте от начала или от конца каждого периода.

2. Химическая сущность открытого Менделеевым закона

Для того чтобы стало яснее, в чём именно состоит открытая Менделеевым периодическая зависимость свойств от атомного веса у элементов, рассмотрим, как меняются по мере возрастания атомного веса химические свойства элементов.

Возьмём такие свойства, которые выражают металлический и неметаллический (или, как иногда неточно выражаются, «металлоидный») характер элементов. Запомним при этом, что выражение «сильный металл» или «слабый металл» в химии имеет иной смысл, чем в обычном обиходе. Для химиков, например, золото или железо — это слабые металлы, а мягкий, быстро тускнеющий натрий, наоборот, сильный металл; при оценке «силы» металла химики исходят не из его внешних, физических свойств — металлического блеска, ковкости, твёрдости, тугоплавкости и т. д., а из его химических свойств; к таковым у металлов относятся следующие свойства: способность давать с кислородом прочные соединения, водный раствор которых образует основания (лакмусовая бумажка от него синеет); способность соединяться с галоидами, образуя соли, не разлагающиеся химически от действия воды; неспособность давать прочные газообразные соединения с водородом или вообще соединяться с ним. Напротив, для неметаллов

в химическом отношении характерными являются такие свойства: способность давать с кислородом соединения, которые в воде образуют кислоты (лакмусовая бумажка от них краснеет); неспособность образовывать с галоидами прочные солеобразные соединения; способность давать с водородом прочные газообразные соединения, которые у галоидов (т. е. самых сильных неметаллов) при растворении в воде дают сильные кислоты.

Рассмотрим далее такое важное химическое свойство элементов, как их валентность. Валентностью называется способность атома данного элемента соединяться с определённым числом атомов водорода, валентность которого принимается за единицу, или с равноценным числом других атомов, например, атомов кислорода, валентность которого равна двум. У одного и того же элемента валентность может иметь различные значения. Так, если взять валентность по кислороду, то, например, у ртути она равна или 1 (в закиси ртути) или 2 (в окиси ртути). Менделеев учитывал *наибольшую* валентность элементов по кислороду, которая проявляется в их окисях, следовательно, ту, которая у ртути равна 2.

С точки зрения указанных свойств элементов рассмотрим для примера один из периодов менделеевской системы, скажем, третий:

I	II	III	IV	V	VI	VII	0
натрий	магний	алюминий	кремний	фосфор	сера	хлор	аргон
23,0	24,3	27,0	28,1	31,0	32,1	35,5	39,9

Сверху (римской цифрой) обозначается наивысшая валентность элемента по кислороду в окисле; численно она равна номеру группы элементов в системе Менделеева; снизу стоят атомные веса. Атомные веса растут от 23,0 до 35,5, соответственно атому валентность растёт от 1 до 7. При переходе же от хлора с атомным весом 35,5 к аргону с атомным весом 39,9 валентность внезапно падает до нуля с тем, чтобы в следующем периоде вновь начать возрастать.

Подобно этому совершается переход от металлических свойств к неметаллическим. Натрий — сильный щелочной металл; магний — металл, но более слабый; алюми-

ний — элемент с промежуточными свойствами: его окись по отношению к сильным щелочам ведёт себя как слабая кислота, а по отношению к сильным кислотам как слабое основание; кремний — слабый неметалл, у которого не исчезли ещё металлические свойства; фосфор — неметалл, дающий уже кислоты средней силы; сера — ещё более сильный неметалл, водородное соединение которого является кислотой, хотя и весьма слабой; хлор — один из сильнейших неметаллов, водородное соединение которого даёт с водою очень сильную кислоту (соляную); наконец, аргон — недеятельный газ.

Такие же отношения между элементами можно проследить и во всей менделеевской системе. Рассмотрим помещённую ниже таблицу элементов (см. стр. 33). В ней число, стоящее ниже символа элемента, означает атомный вес (округлён до одной десятой). При движении слева направо по каждому горизонтальному ряду химический характер элементов постепенно меняется: в начале периода стоят весьма активные элементы с резко выраженным металлическим характером — щелочные металлы; у следующих за ними щелочно-земельных металлов металлический характер ослабевает; дальше он ослабевает ещё сильнее, но зато у элементов начинает появляться, постепенно усиливаясь, прямо противоположный, неметаллический характер; этот последний к концу периода (у галоидов) становится примерно таким же резко выраженным, каким был металлический характер у элементов, стоящих в начале периода. После галоида (наиболее активного неметалла) происходит резкий скачок: мы находим здесь совершенно недеятельный в химическом отношении газ, которым завершается данный период; вместе с тем этот недеятельный газ образует собой переход к следующему периоду.

Таким образом, в пределах каждого периода химический характер элементов из резко выраженного металлического постепенно превращается в такой же резко выраженный неметаллический, а затем скачком, через недеятельный газ, снова возвращается к резко выраженному металлу, которым начинается новый период. Соответственно этому, по мере роста атомных весов, наивысшая валентность по кислороду последовательно увеличивается в пределах каждого периода: она равна 1 у щелочного

металла, 2 — у щелочно-земельного металла и т. д. до галоида, у которого она равна 7. После этого она внезапно падает до нуля у недейтельного газа, который вообще неспособен к химическому соединению, а затем снова начинает расти от 1 до 2, до 3 и т. д. до 7, после чего снова падает до 0. Таким образом, в то время как атомные веса растут непрерывно, валентность *сначала* увеличивается от 0 до 7, а *затем* падает до своего исходного значения; такое изменение совершается периодически, несколько раз на протяжении всей менделеевской системы; подобно этому и соответственно этому периодически несколько раз совершается переход от металлических свойств элементов к противоположным им неметаллическим свойствам; после недейтельного газа металлические свойства появляются снова, а затем вновь также постепенно происходит переход к неметаллическим свойствам.

На основании всего сказанного можно сделать вывод, что химические свойства элементов определённым образом *зависят* от значения их атомного веса и что эта зависимость носит характер *периодической зависимости*: атомные веса всё время растут от водорода до урана, и, по мере того как они растут, другие свойства элементов постепенно изменяются в пределах данного периода; в конце же периода происходит резкий скачок, перерыв постепенности, и с дальнейшим увеличением атомного веса свойства как бы возвращаются назад, причём такое возвращение совершается периодически, несколько раз на протяжении всей менделеевской системы. Отсюда произошло и самое название «периодическая система элементов».

Вот как определяет смысл периодического закона сам Менделеев в своей замечательной книге «Основы химии»:

«...Если все элементы расположить в порядке по величине их атомного веса, то получится периодическое повторение свойств. Это выражается законом периодичности: свойства простых тел, также формы и свойства соединений элементов, находятся в периодической зависимости (или, выражаясь алгебраически, образуют периодическую функцию) от величины атомных весов элементов»¹.

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, М. — Л. 1934, стр. 80—81.

3. Трудности открытия периодического закона и их преодоление Менделеевым

Теперь, спустя 78 лет, может показаться на первый взгляд, что сделать своё открытие Менделееву было не так уже трудно. Однако такое заключение было бы неверным. Та же таблица элементов показывает, насколько неполны и неточны были сведения о химических элементах к моменту, когда Менделеев делал своё открытие.

Из нынешних 90 с лишним элементов Менделееву были известны только 64 и только 35 из них размещались в новой системе естественно, без натяжек; а, например, у 10 элементов потребовалось изменить атомные веса в $1\frac{1}{2}$ —2 раза, с тем чтобы эти элементы могли найти своё место в периодической системе; каждое такое изменение вызывало сильные возражения и длинные споры, так как химики-эмпирики упорно настаивали на прежних определениях. Особенные трудности возникли от того, что в некоторых периодах обнаружались пропуски: например, не оказалось элементов, которые стояли бы непосредственно под алюминием, бором и кремнием.

Менделеев ясно понимал, что открытая им периодичность элементов носит закономерный характер, является действительным *законом* природы. Поэтому никакой случайности в расположении элементов быть не может. И он высказал смелую догадку: пропуски в периодах означают то, что в природе существуют ещё не известные нам элементы, которые должны будут заполнить пустующие места в периодической системе.

Исходя из того, что свойства элементов меняются так же закономерно, как и атомные веса, Менделеев наперёд вычислил предполагаемые свойства не открытых ещё элементов; он предсказал, *никаким образом* не только то, что должны быть открыты *неизвестные элементы*, но и то, какими свойствами они будут обладать. Более того, он предсказал даже и то, каким способом, вероятнее всего, будут открыты эти никем ещё доселе не виданные и даже не ожидаемые элементы. Эти предсказания были сделаны в 1871 г. В то время, пожалуй, никто из химиков не отнёсся

серьёзно к открытию Менделеева. «Поживём, увидим», — говорили скептики.

И вот всего через 4 года, в 1875 г. весь учёный мир был буквально потрясён следующим сообщением из Франции: химик Лекок-де-Буабодран открыл новый элемент галлий, свойства которого оказались почти в точности такими, как предсказывал Менделеев, и даже открыл его Лекок-де-Буабодран именно так, как это предвидел великий русский учёный, — при помощи спектрального анализа. Интересно, что сам Лекок-де-Буабодран впервые узнал о периодическом законе и о самом Менделееве уже после открытия галлия. Теперь мнение химиков сразу же изменилось: стало ясно, что периодическая система выражает действительно закон природы, а не просто придумана Менделеевым для удобства.

Вскоре последовали новые замечательные подтверждения предсказаний Менделеева. Были открыты элементы скандий и германий, наперёд описанные Менделеевым. Оправдывались все предложенные Менделеевым изменения атомных весов. Теперь периодический закон полностью был доказан; более того, он совершил триумфальное шествие в мировой науке. Имя великого учёного, открывшего этот закон, было заслуженно вписано в один ряд с именами величайших учёных мира всех веков.

4. Философское значение сделанного Менделеевым открытия

Что же дало Менделееву возможность открыть периодический закон и, в особенности, сделать свои замечательные предсказания? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо рассмотреть открытие Менделеева с философской стороны. Можно сказать, что периодический закон позволил взглянуть на химические элементы с диалектической точки зрения.

До Менделеева химические элементы казались случайным скопищем независимых между собой веществ, которые различными способами выделяются химиками-аналитиками в результате разложения самых разнообразных хи-

мических соединений. Менделеев раскрыл *органическую связь* между всеми элементами. Он показал, что они, будучи подчинены единому закону, внутренне едины по своей природе и взаимно обуславливают друг друга и что именно поэтому они располагаются в определённом порядке по периодической системе.

Далее, Менделеев показал, что качественная химическая характеристика каждого элемента зависит от количественной характеристики его важнейшего свойства — атомного веса; постепенное нарастание атомного веса в ряду элементов каждый раз приводит к качественному изменению, обуславливая переход от одного элемента к другому, причём этот переход происходит не плавно, не постепенно, а *резким скачком*, путём *перерыва постепенности*. На это по существу диалектический характер изменений свойств элементов, расположенных согласно периодическому закону, много раз обращал внимание сам Менделеев.

На это же обстоятельство, подтверждающее диалектический характер истории природы, указывает товарищ Сталин в своей работе «Анархизм или социализм?»: «Менделеевская «периодическая система элементов» ясно показывает, какое большое значение в истории природы имеет возникновение качественных изменений из изменений количественных».

Отметим и такую особенность менделеевской системы: противоположные свойства элементов, и прежде всего их металлические и неметаллические свойства, отражены в ней не оторванно одни от других, а в их взаимной связи, в их единстве, в их взаимопроникновении. В том или ином соотношении противоположные свойства присутствуют в каждом элементе, так что их противоположность оказывается относительной. Так, например, окислы некоторых металлов (алюминия, цинка и др.) при одних условиях ведут себя как основания, при других — как кислоты. Имеются металлы (марганец, железо, олово, хром и т. д.), низшие окислы которых обладают основным характером, высшие — кислотным. Если взглянуть на таблицу Менделеева с этой точки зрения, то можно сказать, что наиболее сильные металлы занимают её нижний левый угол, а против них по диагонали в правом верхнем углу

располагаются наиболее сильные неметаллы. Поэтому, когда мы двигаемся мысленно по системе Менделеева сверху вниз или справа налево, то металлические свойства элементов возрастают, а неметаллические падают; когда же мы двигаемся в обратном направлении, то свойства меняются также в обратном отношении: неметаллические возрастают, металлические падают. Таким образом, вся система Менделеева представляет собой как бы живое отражение единства противоположных сторон и свойств элементов.

√ Всё это богатство диалектических связей и переходов, скачков и противоречий, заключённых в периодической системе, было открыто Менделеевым, хотя сам Менделеев не был сознательным диалектиком-материалистом, а применял диалектику бессознательно, стихийно. Тем не менее, именно фактическое применение диалектического метода позволило Менделееву открыть периодический закон, построить систему элементов и сделать свои замечательные предсказания, обессмертившие его имя.

В ходе открытия периодического закона Менделеев руководился идеей, что качество элементов обусловлено количеством их атомного веса и что количественное нарастание атомного веса в последовательном ряду элементов должно вызывать переход от одного качественно-определённого элемента к другому. На философском языке это означает не что иное, как конкретное применение закона о переходе количественных изменений в качественные.

Из этого же закона диалектики вытекала и возможность предвидения свойств неизвестных элементов. Менделеев исходил из убеждения, что количественные изменения свойств растут строго закономерно, каждый раз обуславливая собой качественные изменения элементов (т. е. «переходя» в качество). Если бы пропуска в ряду элементов не было и весь ряд был заполнен, то такой переход должен был совершаться в любом месте ряда, в том числе и в пустовавших тогда местах. На этом основании Менделеев и определил, как должны изменяться численные значения физических и химических свойств элементов там, где совершается переход от занятого места к пустому и от пустого места к следующему за ним занятому, т. е. там,

где должен совершаться качественный скачок от известного элемента к ожидаемому и далее к следующему за ним известному элементу. Так, например, в вертикальном столбце между алюминием с атомным весом 27,3 и индием с атомным весом 113¹ имелось пустое место. Так как количество атомного веса нарастает более или менее правильно, то его значение у ожидаемого элемента, который занял бы промежуточное положение между двумя названными элементами, должно было бы быть также промежуточным, или средним, между значениями их атомных весов, т. е. примерно равным 70. То же самое наблюдается при сравнении свойств соседей по горизонтальному ряду. В результате таких подсчётов Менделеев вывел, что значение атомного веса у предполагаемого элемента приблизительно должно быть равно 68; когда был открыт галлий, то оказалось, что его атомный вес равен 69,7, что очень близко к предсказанному. Следовательно, ход рассуждений Менделеева сводился по сути дела к признанию, что если качественные изменения у известных элементов обуславливаются определёнными количественными изменениями их свойств, то точно такие же количественные изменения должны существовать и в том месте, где ожидаются неизвестные элементы. Вот почему Энгельс с полным правом мог написать по поводу предсказаний Менделеева: «Менделеев, применив бессознательно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил научный подвиг, который смело можно поставить рядом с открытием Лавуазье, вычислившего орбиту еще неизвестной планеты — Нептуна».

Менделеев не был сознательным диалектиком, он был им бессознательно, стихийно. Об этом всегда следует помнить при рассмотрении взглядов Менделеева, так как стихийность, неосознанность применяемых на практике взглядов и метода приводит к тому, что соответствующие взгляды и метод проводятся непосредственно, с отступлениями и колебаниями. Это наблюдалось даже у такого гиганта научной мысли, каким был Менделеев. Раскрывая диалектику химических элементов, Менделеев иногда высказывал взгляды, несовместимые с диалектикой: он отстаивал более или менее явно идею неизменности

¹ Данные того времени.

и непревращаемости химических элементов и их атомов. Эту мысль он отстаивал даже в XX в., когда новые физические открытия уже в корне подрывали понятие абсолютно неизменных и непревращаемых элементов, понятие неделимых и вечных атомов.

5. Значение периодического закона для современной мировой науки

На рубеже двух веков — XIX и XX — были сделаны великие открытия в области физики, разрушившие устаревшие взгляды на атомы и элементы.

Первым было открытие *радиоактивности*. Суть его состояла в признании, что по крайней мере некоторые наиболее тяжёлые элементы — уран, торий и вновь открытые радий, полоний, актиний, нитон — подвергаются самопроизвольному распаду и превращаются в другие элементы. Те в свою очередь превращаются в другие, пока в результате всех превращений не образуется устойчивый элемент — свинец, которым и завершается весь ряд радиоактивных превращений.

Долгое время не удавалось найти общего закона радиоактивных превращений. Казалось бы к тому же, что радиоактивным веществам, число которых уже превысило 30, негде разместиться в системе Менделеева, так как число соответствующих мест в ней от свинца до урана равно только 11. Но вот в 1913 г. трое учёных — Содди, Фаянс и Рессель, независимо друг от друга, сумели разместить все радиоактивные элементы в менделеевской таблице и благодаря этому сделали замечательное открытие.

Было известно, что радиоактивный распад сопровождается либо так называемым «альфа-излучением», когда вылетают тяжёлые частицы (ядра атомов гелия), несущие два положительных заряда и обладающие массой, равной 4 атомным единицам; либо так называемым «бета-излучением», когда вылетают лёгкие частицы (электроны), обладающие ничтожно малой массой и одним отрицательным зарядом. Когда все радиоактивные элементы были помещены в таблицу Менделеева, то оказалось, что при любом альфа-излучении всегда происходит как бы сдвиг на два места влево от исходного радиоактивного элемента,

а при любом бета-излучении — на одно место вправо. Так, исключительно благодаря тому, что на новое физическое явление учёные взглянули с точки зрения менделеевской системы, был открыт первый и основной закон радиоактивных превращений, получивший название «закона сдвига». Он играет теперь роль одного из главных законов, которому подчиняются превращения атомных ядер (ядерные реакции).

Второе открытие прямо вытекало из первого; при размещении 30 с лишним элементов на 11 местах менделеевской системы на одно место неизбежно приходилось по несколько элементов. Когда учёные сопоставили свойства нескольких таких элементов, попавших на одно и то же место в системе Менделеева, то оказалось, что удивительным образом, несмотря на различие атомных весов, химические свойства всей плеяды таких элементов были совершенно одинаковы, так что, будучи однажды смешаны, они уже не поддавались затем разделению химическим путём. Это явление не только было понято, но и открыто опять-таки только при помощи менделеевской системы. В знак этого Содди назвал такие химически одинаковые вещества, имеющие разные массы, «*изотопами*», что значит «*одинаковоместные*». Впоследствии, особенно после открытия тяжёлой воды и тяжёлого водорода в 1932 г., учение об изотопах стало одной из важнейших глав современной физики и химии.

Третьим было открытие *рентгеновских лучей* (1895 г.) и их применение к изучению химических элементов. Молодой физик Мозели в 1913 г. обнаружил, что во всех рентгеновских спектрах элементов имеется яркая линия, из частоты которой путём простой математической операции можно вывести некоторое целое число, обладающее замечательным свойством: от элемента к элементу оно растёт ровно на 1. И опять, как в предыдущих случаях, смысл этого открытия помогла уяснить менделеевская система. Оказалось, что если перенумеровать последовательно все элементы в порядке расположения их мест в этой системе, то номер элемента будет как раз равен тому самому числу, которое Мозели вывел экспериментально на основании частот определённых линий в рентгеновском спектре. Отсюда возникло одно из важнейших

понятий современного учения об атомах, понятие «*порядкового номера*».

Оставалось пока ещё неясным: каково физическое значение этого номера? На этот вопрос ответило четвертое открытие. Ещё в 1911 г. Резерфорд обнаружил, что внутри атома, в его центре, имеется очень маленькое, но тяжёлое ядро, которое несёт на себе положительный заряд и вокруг которого, подобно планетам вокруг солнца, быстро вращается рой отрицательно заряженных частиц, электронов. Но какова величина заряда ядра и сколько электронов вращается в атоме, — точно установить было ещё нельзя. В 1913 г. родилась блестящая мысль о том, что заряд ядра должен быть численно равен порядковому номеру элемента и что, следовательно, таково же должно быть число электронов в нейтральном атоме. Эта идея была немедленно положена физиками в основу *электронной теории строения атома*, а спустя 7 лет (в 1920 г.) она была доказана экспериментально.

Электронная теория атома, намеченная Дж. Дж. Томсоном ещё в начале XX в. и разработанная особенно подробно Нильсом Бором в 1913—1921 гг., в главной своей части опирается на периодическую систему элементов. Вся электронная структура атома, согласно этой теории, делится на несколько слоёв, или оболочек, которые покрывают друг друга подобно деревянным яичкам в известной детской игрушке. В каждой оболочке, как считал вначале Бор, может поместиться столько электронов, сколько имеется элементов в соответствующем периоде менделеевской системы. Так, например, I период системы состоит из 2 элементов, II и III содержат по 8 элементов каждый, IV и V — по 18 каждый, VI — 32. Аналогично этому I оболочка, наиболее близкая к ядру, может содержать не более 2 электронов, II — не более 8, III — не более 18, IV — не более 32 и т. д.

Общее число электронов в оболочке нейтрального атома равно заряду ядра атома и, следовательно, порядковому номеру элемента. Так, например, в атоме водорода имеется всего 1 электрон, а в атоме урана — 92. Для того чтобы выяснить более точно строение атома, надо знать распределение его электронов по слоям. По мысли Бора, атом строится из электронов оболочками, которые распо-

лагаются как бы этажами одна над другой. У водорода единственный электрон находится в I этаже. У следующего за ним гелия 2 электрона заполняют весь I этаж. У лития имеется 3 электрона, из них 2 заполняют целиком I этаж, а третий располагается уже во II этаже, так как в I этаже для него нет больше места. У следующих семи элементов II периода (до неона включительно) каждый новый электрон занимает свободное место во II этаже. После неона свободных мест во II этаже для новых электронов не остаётся. Поэтому у элементов III периода начинает заполняться III этаж и заполняется в той же последовательности, в какой до этого заполнялся II этаж.

Таким образом, по Бору, сначала заполняется электронами первый этаж, потом второй, затем третий и т. д. Начиная с IV периода, заполнение более высокого этажа может начаться раньше, чем заполнится целиком нижний этаж. В соответствии с тем, как периодически меняются химические свойства элементов у Менделеева, так же периодически повторяется группировка электронов в атомной модели у Бора. Весь ход рассуждений Бора был не только подготовлен, но прямо навел менделеевской системой, а порою просто заимствован из тех связей и отношений, которые она выражала. Система Менделеева служила Бору важнейшим *источником* для новых теоретических представлений; она стояла перед ним как *цель*, требуя объяснения непонятной до тех пор причины периодичности свойств элементов; наконец, соответствием с нею Бор *проверял* правильность полученных им выводов.

По сути дела, Бор перевёл на язык новой электронной теории основные мысли Менделеева о периодической зависимости свойств элементов и на основе менделеевской системы создал физическую теорию атома. Недаром сам Бор назвал систему Менделеева путеводной нитью в разработке теории электронного строения атома.

Периодический закон вместе с построенной на его базе системой Менделеева является фундаментальным законом природы, которому подчиняются строение, свойства и поведение атомов и элементов, их рождение, их жизнь, их гибель. Поэтому-то смысл отдельных

физических открытий, касающихся атомов, становится понятным *только после того*, как эти открытия приводятся в связь с законом Менделеева, освещаются им, как прожектором. Чтобы убедиться в этом, достаточно вдуматься глубже в основные понятия современной физики и прежде всего физики атомного ядра. «Закон сдвига» говорит о смещении элементов по менделеевской системе при радиоактивном процессе. В учении об «изотопах» современная физика исходит из факта совпадения химических свойств у атомов, попадающих на одинаковые места в системе Менделеева. «Порядковый номер», равный заряду ядра, говорит о номере места элемента в менделеевской системе.

Понятия, обобщающие и выражающие самую *суть* названных открытий — *сдвиг* (с места на место), *одинаковое место*, *порядок мест*, — целиком заимствованы из представления об общей зависимости элементов, выраженной в периодической системе Менделеева. Можно смело сказать, что, не будь открыт периодический закон, современные физики вынуждены были бы блуждать в потёмках. Они не были бы в состоянии разобраться в сделанных ими экспериментальных открытиях, привести их в связь между собой, сделать из них правильные теоретические выводы. Во всех рассмотренных случаях сделать всё это позволяла физикам в конце концов система Менделеева; именно она помогала раскрывать глубокий физический смысл наблюдаемых фактов, именно она неизменно оказывалась связующим звеном между различными опытными открытиями.

Вот почему мы можем с полным правом считать Менделеева отцом современного нам учения об атомах и элементах, а следовательно, и современной нам физики и химии XX в. Не случайно, что всё современное учение об атомах и элементах от начала до конца опирается на такие понятия и представления, которые коренятся в системе Менделеева. Например, специалист по атомному ядру говорит теперь о разделении *изотопов* урана (с массой 235 и 238), о бомбардировке ядрами дейтерия (*изотопа* водорода с массой 2); он определяет характер продуктов ядерных реакций по числу последовательных бета-излучений, пользуясь *законом сдвига*; он вычисляет

заряд ядра, полученного в результате реакции, исходя из того, как меняется в ходе ядерного процесса *порядковый* номер элемента. Без этих представлений и понятий современный физик, изучающий атомное ядро, не может ступить и шагу.

К сожалению, не все современные физики отдают себе отчёт в том, что основой их собственных достижений служит именно система Менделеева, без помощи которой они давно запутались бы в бесконечном лабиринте эмпирических открытий. Между тем большая роль менделеевской системы подтверждается на примере новейших достижений физики. Когда после открытия нейтрона (нейтральной частицы с массой, равной приблизительно одной атомной единице) учёный Ферми в 1934 г. подверг бомбардировке нейтронами ядра урана, то сначала он не смог правильно разобраться в полученных результатах. Но вот в начале 1939 г. было открыто, что при действии нейтронов на уран образуется барий. Известно, что уран имеет порядковый номер 92, а барий 56 (почти вдвое меньший). До тех пор, согласно закону сдвига, можно было ожидать образования элемента с порядковым номером либо на единицу больше исходного (сдвиг вправо), либо на две единицы меньше (сдвиг влево). Уменьшение же порядкового номера сразу почти вдвое оказалось совершенно новым явлением. Его можно было объяснить, исходя из системы Менделеева, только одним единственным способом, а именно — допущением, что происходит *раскол* ядра атома урана на две примерно равные половины, например, на барий (номер 56) и криптон (номер 36). Это предположение вскоре же целиком подтвердилось. Здесь, как и раньше, путеводной звездой служила всё та же система Менделеева: именно она дала возможность понять факт, который был известен уже пять лет, но смысл которого раскрылся только тогда, когда он был приведён в правильную связь с менделеевской системой.

Когда в 1940 г. были искусственно созданы два новых элемента с порядковыми номерами 93 и 94, следующие за ураном по системе Менделеева, то и здесь смысл сделанного открытия стал ясен при сопоставлении соответствующих фактов с системой Менделеева: после захвата нейтрона изотопом урана с массой 238 происходят два

последовательных бета-излучения, благодаря которым элемент сдвигается на два места направо от урана. Подобно тому как в солнечной системе за планетой Уран были открыты более далёкие планеты — Нептун и Плутон, — так в системе Менделеева за элементом уран были открыты более далёкие от начала системы элементы с номерами 93 и 94, которые соответственно получили название нептуния и плутония. Сами эти названия, как и названия всех предыдущих, приведённых нами, открытий, свидетельствуют о том, что телескопом в данной области исследований служил всё тот же великий закон природы — периодический закон химических элементов, открытый гением русской и мировой науки Д. И. Менделеевым.

6. Развитие советскими учёными лучших традиций Менделеева

Менделеев любил свой народ. В 1889 г. (в 20-летний юбилей открытия периодического закона) Менделеева пригласили прочитать за границей так называемое «Фарадеевское чтение». Это была такая честь, которой удостаивались лишь немногие из самых выдающихся учёных мира. Менделеев принял это предложение, равно как и другие высокие научные почести, потому что, как он сам об этом писал, здесь важно было не его собственное имя, а русское имя, не его личная слава, а слава того народа, сыном которого он был.

Заветным желанием Менделеева было, чтобы всё, что он посеял, возшло для жатвы народной. Менделеев страстно призывал русских химиков продолжать начатое им дело. В материалах покойного академика Н. С. Курнакова сохранился интересный документ, свидетельствующий о том, как заботился Менделеев о сохранении созданных им традиций в рядах русских учёных. 8 февраля 1896 г. в ответ на приглашение принять участие в собрании химиков, Дмитрий Иванович ответил:

«Глубоко благодарю за память, скорблю о том, что не имею сил быть со всею русскою химическою дружиною и верю, что она постоит за любимое дело, как старался дряхлеющий

Д. Менделеев».

Глубоко благодарю
за память, скорбь о
том, что не была
ишь быт совсем русской
феминистской дружиной и
верю, что ^{они} ~~постоят~~ за
любимые дети, как
старая дружина

Александр

Друзья
люб

Фотовоспроизведение письма Д. И. Менделеева
к русским химикам.

Любимое дело, постоять за которое призывал Менделеев своих товарищей и учеников, это — беззаветное служение науке и отчизне. Именно эту черту передового учёного старался воспитать Менделеев у своих современников, именно её он оставил в качестве лучшей традиции для будущих поколений русских учёных. И если полвека назад о русских химиках можно было говорить только как о дружинне, так как тогда они насчитывались лишь немногими десятками, то теперь могучая многотысячная армия советских химиков отстаивает дело, которое всегда было близким и любимым для Менделеева.

Традиции Менделеева сохранились и развились в рядах его научных преемников — современных советских физиков и химиков. Но, разумеется, здесь речь идёт не о простом сохранении и продолжении традиций Менделеева вообще, а о критическом усвоении всего положительного, *ценного*, что содержалось в менделеевском научном наследстве. За последние 30 лет в жизни нашей Родины произошли коренные изменения, благодаря чему качественно изменились все общественно-политические отношения в ней, а следовательно, качественно изменились и такие понятия, как патриотизм, служение науке и т. д.

Говоря о патриотизме Менделеева, мы не всегда можем отделить его любовь к русскому народу от его приверженности к государственному строю старой России, который жестоко угнетал народы, населявшие бывшую Российскую империю, угнетал широкие трудящиеся массы русского народа, стремился к захвату чужих земель и т. д. В этом отношении патриотизм советских учёных *в принципе* отличен от патриотизма Менделеева, ибо у советских людей любовь к своей Родине, к своему народу неразрывно слита с борьбой за свободу не только от иноземного гнёта, но и от всякого национального или классового гнёта вообще, от всякой эксплуатации человека человеком. Поэтому хотя *советский патриотизм* имеет некоторые общие черты с лучшей прогрессивной стороной патриотизма Менделеева, в то же время он глубоко отличен от него по своему социальному смыслу.

Точно так же любовь к науке и служение истине неразрывно слиты у Менделеева с его приверженностью идее движения России по пути капиталистического развития. Объективно служение науке и борьба за всемерное развитие производительных сил должны были способствовать, по мысли Менделеева, укреплению капиталистических отношений в России. Следовательно, и здесь отвлечённые идеи Менделеева имели вполне определённый социальный, классовый смысл. Напротив, советский учёный, говоря о служении своей, *советской науке*, стремится отдать свои силы на то, чтобы способствовать развитию нашей страны, её промышленности, её сельского хозяйства по социалистическому пути, помогая осуществлению её перехода к высшей стадии развития нашего общества, к коммунизму.

Но было бы странно ждать от Менделеева, который никогда не был социалистом и никогда не разделял взглядов марксизма, чтобы он высказал такие взгляды, которые бы полностью соответствовали условиям нашей современной действительности.

Задача советских учёных найти в менделеевском наследстве то действительно *ценное*, что в нём содержится, и отсеять всё то, что устарело и противоречит духу современного строя нашей Родины. Но чтобы это ценное отделить и сохранить, надо уметь критически отнестись ко всему менделеевскому наследству в целом, уметь различать то, что было в нём положительного, прогрессивного, от всего отрицательного, реакционного, что содержалось в нём. Этого требует от советских учёных ленинский принцип партийности науки.

Мы обратили здесь внимание на некоторые отрицательные стороны в идеях Менделеева ради того, чтобы предостеречь от идеализации и прикрашивания его традиций, от забвения того факта, что идеи, выдвинутые в прежние времена даже самыми прогрессивными представителями русского естествознания, нельзя механически, безоговорочно переносить в новую социальную обстановку и применять их здесь целиком на том основании, что и раньше и теперь говорится о любви к своему народу, к науке и т. д.

От строителей нового коммунистического общества требуется критическое отношение к наследию прошлого.

У нас, в СССР, живут и крепнут лучшие традиции Менделеева. Советские учёные воспитываются на том научном наследстве своего великого предшественника и соотечественника, которое лежит в фундаменте основных физических открытий XX в., касающихся атомов и элементов. Но советские учёные имеют лучшие условия для развития своего научного творчества, чем в своё время имел Менделеев. Диалектический метод, который применялся Менделеевым лишь бессознательно, всё чаще становится осознанным методом научного исследования советских учёных. Животворный советский патриотизм вдохновляет их на действительные подвиги, о чём свидетельствует весь опыт участия наших учёных в Великой отечественной войне. Социалистический строй обеспечивает возможность под руководством нашей партии правильно организовать и направить научную работу на разрешение самых насущных задач, связанных с развитием народного хозяйства и укреплением экономической мощи Советского государства.

Та отеческая забота, которую повседневно, повсечасно оказывает нашим учёным советское правительство и лично товарищ Сталин, обеспечивает максимальное развёртывание творческих возможностей у каждого отдельного представителя советской науки и у всей когорты советских учёных в целом.

И если товарищ Молотов сказал в ноябре 1945 года: «Будет у нас и атомная энергия, и многое другое», то эти слова имеют вполне реальное, осязательное значение; они подкреплены всей историей передовой русской науки в прошлом и всем опытом её преемницы — современной советской науки. Продолжатели лучших традиций Менделеева на поприще физики и химии в СССР сумеют вывести советскую науку на первое место в рядах мировой науки, как это сделал для своего времени благодаря открытию периодического закона и другим своим открытиям великий русский учёный Дмитрий Иванович Менделеев.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА В ИСТОРИЧЕСКОМ РАЗРЕЗЕ

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	H 1,008											He 4,0
2	Li 6,9	Be 9,0	B 10,8	C 12,0	N 14,0	O 16,0	F 18,0					Ne 20,2
3	Na 23,0	Mg 24,3	Al 27,0	Si 28,1	P 31,0	S 32,1	Cl 35,5					Ar 39,9
4	K 39,1	Ca 40,1	Sc * 45,1	T 47,9	V 51,0	Cr ? 52,0	Mn ? 54,9	Fe 55,8	Co 58,9	Ni 58,7		Kr 83,7
5	Rb 85,5	Sr 87,6	Y 88,9	Zr 91,2	Nb 92,9	Mo 95,9	Ma * —	Ru 101,7	Rh 102,9	Pd 106,7		Xe 131,3
6	Cs 132,9	Ba 137,4	La 138,9	Ce 140,1	Pr 140,9	Nd 144,3						
	Sm 150,4	Eu 152,0	Gd 157,0	Tb 158,9	Dy 164,9	Ho 163,3	Er 167,2					
	Tu 169,4	Yb 173,0	Lu 175,0	Hf 178,6	Ta 180,9	W 183,8	Re * 186,3	Os 190,2	Ir 192,2	Pt 195,1		
	Au 197,2	Hg 200,6	Tl 204,4	Pb 207,2	Bi 208,0	Po * 210						Ra 222,0
7		Ra * 226,0	Ac * 227	Th 232	Pa * 231	U 238	Np 239	Pu 239	Am —	Ku —		
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇					

Обозначения к таблице

В заштрихованных клетках стоят элементы, которые были известны к моменту открытия периодического закона; в незаштрихованных — открытые позднее. Звездочкой отмечены элементы, предсказанные Менделеевым. Подчеркнуты элементы, открытые после его смерти. В вертикальных прямоугольниках стоят элементы, у которых Менделеев изменил атомные веса в $1\frac{1}{2}$ —2 раза. В кружках заключены атомные веса тех элементов, для которых Менделеев изменил порядок следования: более тяжёлые поставил перед более лёгкими. Знаком ? отмечены элементы, помещённые коих на данное место вызывало сомнения, поскольку неточно была установлена их валентность или же отсутствовала полная аналогия с другими членами той же группы.

Р А З Д Е Л



ИСТОРИЯ И ЛОГИКА
ОТКРЫТИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО
ЗАКОНА МЕНДЕЛЕЕВА

ОБ ОТКРЫТИИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ¹

*Член-корреспондент Академии наук СССР
А. В. Раковский*

Современное учение о строении атомов, тесно связанное столь отдалённые области знания, как спектроскопию и периодическую систему химических элементов, при внимательном рассмотрении вопроса приводит нас в восхищение перед гением Д. И. Менделеева, создавшим столь совершенную систему на основании весьма скудных данных. Совершенство этой системы сказалось только со времени возникновения учения о строении атомов и было доказано физиками с химической точки зрения оно недоказуемо. В химической литературе иногда проскальзывает мнение, что создание периодической системы элементов есть плод строго индуктивного мышления и явилось результатом слепого следования за фактами. Однако краткая историческая справка о первых шагах Д. И. Менделеева в этой области покажет, что указанное мнение неверно.

Для того чтобы должным образом оценить творчество Д. И. Менделеева, необходимо на короткий момент мысленно перенестись в ту эпоху, когда Менделеев приступил к поискам периодического закона. Это было в конце 60-х годов прошлого столетия. Только что отзвучали страстные споры между сторонниками старых химических теорий, теорий типов и радикалов, и новой теории валентности. Ожесточённо велись споры между двумя лагерями новой теории—сторонниками постоянной и переменной валентности элементов. Всего десяток лет прошло со времени выхода в свет исторической работы Канницаро;

¹ На репли «О работах Д. И. Менделеева», произнесённой в 1927 г. по поводу 25-летия со дня смерти Д. И. Менделеева.

крупная идея о необходимости отчётливого разделения понятий эквивалентного, атомного и молекулярного весов ещё не вошла в повсеместное употребление. Вспомним, что знаменитый французский химик Бергто только в 80-х годах прошлого столетия перешёл с языка эквивалентов на язык атомных весов. Само понятие об атомном весе не представлялось всем химикам столь важным и кардинальным, как нам теперь.

К концу 60-х годов химия определила около 64 элементов. Приняв атомный вес за основное свойство элементов, Менделеев расположил их по возрастающим значениям атомных весов и не только заметил отдельные группы элементов с повторяющимися свойствами, как это видели уже Деберейнер (триады) и Ньюлэндс (октавы), но и увидел, что все элементы подчинены общему закону, закону периодичности, который он выразил следующими словами: «Элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную периодичность свойств». Но Менделеев не ограничился открытием периодического закона, а в 1869 г. сделал первую попытку дать систему элементов на основании открытого им закона (табл. 1).

		1869			<i>Таблица 1</i>
		Ti=50	Zr=90	?=180	
		V=51	Nb=94	Ta=182	
		Cr=52	Mo=96	W=186	
		Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4	
		Fe=56	Ru=104,4	Ir=198	
		Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199	
H=1		Cu=63,4	Ag=108	Hg=200	
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Ti = 50	Zr = 90	? = 180.	
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4.	
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.	
		Ni = Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199.	
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.	
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ.

Фотовоспроизведение отдельного листка, разосланного Д. И. Менделеевым в феврале 1869 г. многим химикам

В этой таблице Менделеев действительно строго придерживался всех известных в то время фактических данных, не ставя ещё под сомнение истинность некоторых из них, зато и таблица была ещё далека от своей совершенной формы.

В следующем, 1870 г. появилась статья Л. Мейера, в которой он цитирует Менделеева и даёт таблицу, в

существенном тождественную с менделеевской таблицей; новое в этой статье — ныне известная кривая атомных объёмов. Глядя на этот рисунок, мы наглядно убеждаемся в существовании периодического закона, но безусловно столь сложного, что для робкого исследователя вполне понятны слова Л. Мейера: «Было бы поспешно изменять доныне принятые атомные веса на основании столь непрочного исходного пункта». В это же время Менделеев, углубляя свои идеи, особое внимание обратил на периодичность не физических, а химических свойств элементов. Рассмотрев, с одной стороны, атомные веса, а с другой — высшую валентность элемента в солеобразующих окислах, Менделеев заметил возможность значительно более строгого и правильного выражения периодичности, правда, ценою крупного шага изменений атомных весов ряда элементов, т. е. шага, отважиться на который Л. Мейер не считал возможным. Уже в 1871 г. Менделеев дал новую таблицу, по существу совпадающую с современной общепринятой таблицей; здесь элементы уже разбиты на 8 групп, на периоды. Необходимо, однако, обратить внимание на те изменения, которые вынужден был сделать Менделеев в общепринятых атомных весах, для того чтобы составить свою таблицу элементов.

Таблица 2

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Типичные элементы:	H							
1 период . . .	Li	?	B	C	N	O	F	
2 » . . .	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Fe??Cu
3 » . . .	K	Ca	—	Ti	V	Cr	Mn	
4 » . . .	Rb	Zn	—	—	As	Se	Br	
5 » . . .	? Rb	Sr	?	Zr	Nb	Mo	—	???Ag
6 » . . .	? Rb	Cd		Sn	Sb	?	?	
7 » . . .	Cs	Ba		—	—	—	—	—
8 » . . .				—	—	?	?	?
9 » . . .	? Rb	Hg	Tl	Pb	Ta	W	—	????
10 » . . .					Bi			
	R ₂ O	R ₂ O ₂	R ₂ O ₃	R ₂ O ₄ RH ₄	R ₂ O ₅ RH ₃	R ₂ O ₆ RH ₂	R ₂ O ₇ RH	R ₂ O ₈

В таблице 2 мною помещены только те элементы, размещение которых или вовсе не вызывало сомнений или вызывало только некоторое недоумение (подчёркнутые элементы).

Таким образом, из 64 элементов размещение только 35 элементов не вызывало сомнений; 8 элементов, подчёркнутых в таблице, вызывали недоумение уже у самого Менделеева ещё в 1869 г.: несколько непонятно было попадание Zn, Cd и Hg в одну группу с Mg, Ca, Sr и Ba и такое же попадание Cr и Mn, первого в группу S, Se и Te, второго в группу галлоидов. Алюминий доставлял тоже некоторые хлопоты; дело в том, что определение плотности пара хлористого алюминия привело к формуле Al_2Cl_6 , следовательно, алюминий надо было считать четырёхатомным элементом. Ненормальным казалось помещение и свинца в IV группу, так как в то время ещё не были известны соединения четырёхатомного свинца. Но эти затруднения были небольшие по сравнению с теми, которые встретились при попытке размещений остальных элементов в таблице: здесь потребовалось радикальное средство — или резкое изменение общепринятых атомных весов, или размещение элементов по местам, не отвечающим их атомным весам.

В следующей таблице показаны элементы, атомные веса которых Менделееву пришлось изменить; во втором столбце показаны атомные веса, принятые до Менделеева, в третьем — изменённые Менделеевым.

Таблица 3

Be	13	9
In	75,6	113
La	94	137
Di	95	140
Yt	60	88
Er	112,6	178
Ce	92	138
Th	116	232
U	120	240

У следующих элементов Менделеев изменил порядок следования друг за другом (см. табл. 4).

Для Ni и Co, а также Te и J Менделеев сравнивал атомные веса (59 для первой пары, 127 для второй), для титана считал вероятным более низкий атомный вес (<50).

Таблица 1

До Менделеева		Менделеев	
Rh	104,4	Ru	104
Ru	104,4	Rh	104
Pd	106,6	Pd	104
Pt	197,4	Os	199
Ir	198	Ir	198
Os	199	Pt	197
Au	197	Au	197

Итак, из 64 известных элементов 8 помещались в таблицу с нарушением химического родства, а для 20 элементов пришлось или изменить их атомный вес, или ставить их в ненормальное для них положение.

Допустим, что мы живём в 1871 г. с нашей психологией, с нашим уважением к экспериментальным данным, представим себе, что к нам приходит химик и заявляет, что он открыл периодический закон и что на нём он строит естественную систему элементов, но... для этого необходимо из 64 элементов над 28 сделать большее или меньшее насилие вплоть до резкого изменения их атомных весов. Едва ли я ошибусь, если скажу, что большинство из нас отнеслось бы к такому открытию отрицательно и такую систему элементов назвало бы противоестественной.

Не подлежит сомнению, что Менделеев открыл свою систему не в результате слепого следования за фактами, а на основании их критического анализа. Здесь Менделеев обнаружил ту сторону своего ума, которая отличает гения от таланта, великий и редкий дар природы, позволяющий увидеть истину, скрытую от взора громадного большинства людей, сквозь шелуху неверно установленных фактов.

Насколько велика была вера Менделеева в правоту своей идеи, видно из того, что он сделал ещё один большой шаг вперёд и в том же 1871 г. предсказал не только существование ряда неизвестных элементов, но и их будущие свойства, а также свойства их соединений. Особый исторический интерес представляют предсказания свойств трёх элементов, названных Менделеевым экабором, экаалюминием и экасилицием.

Современники встретили идеи Менделеева в лучшем случае сдержанно; многие химики вообще не поняли значения сделанного открытия; отсюда предостережения

Кольбе от попыток заменить опыт спекуляциями, откуда замечания Любавина о «грубо-приближённом» характере закона Менделеева, о возможности построения новых систем, не хуже менделеевской, и т. д. Можно сказать, что исключением тогда были такие химики, как Рихтер, который уже в 1874 г. в своём учебнике неорганической химии в основу плана положил периодическую систему элементов.

Потребовались долгие годы для подтверждения идей Менделеева, потребовалось открытие новых элементов, вполне подтвердивших предсказания Менделеева, чтобы учёный мир обратил должное внимание на его идеи.

Интересно, что первым крупным фактом в пользу Менделеева было не подтверждение исправлений им атомных весов уже известных элементов, а подтверждение его предсказаний новых элементов и их свойств. Лекок-де-Буабодран открыл новый элемент — галлий; в августе 1875 г. было дано предварительное описание способа открытия галлия и некоторых его свойств. В ноябре того же года Менделеев печатает статью, в которой указывает, что открытый галлий есть не что иное, как предсказанный им экаалюминий, и что этот новый элемент должен иметь атомный вес около 68, удельный вес — 6,0—5,9, атомный объём — 11,5. Первое определение удельного веса, сделанное Лекок-де-Буабодраном, дало цифру 4,7; получив большие количества элемента, Лекок-де-Буабодран определяет точнее удельный вес и находит его равным 5,96. Атомный вес галлия оказался 69,9, атомный объём — 11,7¹.

В 1879 г. Нильсон открыл скандий; в 1880 г. он смог показать, что скандий обладает свойствами, предсказанными Менделеевым для экабора².

В 1884 г. окончательно закончились споры об атомном весе бериллия в пользу Менделеева; постепенно

¹ «Я думаю, нет необходимости настаивать на огромном значении подтверждения теоретических выводов г. Менделеева относительно плотности нового элемента» (Лекок-де-Буабодран).

² «...Так подтверждаются самым наглядным образом мысли русского химика, позволившие не только предвидеть существование названного простого вещества, но и наперёд вывести его важнейшие свойства» (Нильсон).

долгие опыты и исследования подтверждали одно за другим исправления атомных весов, сделанные Менделеевым в 1871 г.; так, в 1884 г. атомный вес урана окончательно был признан равным 240, в 1885 г. для церия был установлен атомный вес 138, в 1888 г. для индия — 113. До 90-х годов прошлого столетия затянулись работы, окончательно подтвердившие исправления порядка атомных весов платиновых металлов.

Однако, повидимому, наиболее сильное впечатление на современников произвело открытие Винклером в 1886 г. германия, свойства которого удивительно совпадали с предсказанными свойствами экасилиция.

По мнению Винклера, нельзя требовать более сильного доказательства правильности учения о периодичности свойств элементов, чем это совпадение свойств экасилиция и германия; это не простое подтверждение искусной теории, — по словам Винклера, «это знаменует собою выдающееся расширение химического поля зрения, гигантский шаг в области познания».

Эти блестяще оправдавшиеся предсказания представляют торжество не только Менделеева: это — великое торжество человеческого разума. Когда Лавуазье и Адамс, «на кончике пера» открыли новую планету Нептун, это было гордостью астрономии, и нет учебника по астрономии, в котором бы об этом открытии не упоминалось. Я полагаю, что открытие и предсказания Менделеева ещё более удивительны. Лавуазье и Адамс открыли Нептун, опираясь на видимые неправильности в движении Урана и базируясь на всеми признанном законе Ньютона. Менделеев открывал элементы и предсказывал их свойства, опираясь на пустые клетки в созданной им же системе и базируясь на законе, им же открытом и далеко не всеми признанном.

Открытие инертных газов в 90-х годах прошлого столетия не только не создало затруднений периодической системе элементов, но оказалось очередным триумфом её. Эти элементы, не обладающие валентностью, образовали нулевую группу в системе, переходную от сильно электроотрицательных элементов VII группы (галогенов) к сильно положительным металлам I группы. Вслед за открытием первых представителей нулевой группы (ге-

лий и аргона. Ю. Томсен, пользуясь методом Менделеева, предсказал существование других элементов этой же группы и их атомные веса, что впоследствии также блестяще подтвердилось.

Таблица 5

АТОМНЫЕ ВЕСА

	Гелий	Неон	Ар- гон	Крип- тон	Ксе- нон	Ни- тон	
Предсказано Томсе- ном	4	20	36	84	132	212	292
Найдено	4,00	20,2	39,9	82,9	130,2	223	—

Вполне понятно, что с ходом времени все химики должны были считаться с периодической системой, хотя бы из-за тех услуг, которые она оказала в окончательном установлении атомных весов элементов; в этом отношении периодическая система встала в один ряд с законами Авогадро, Дюлонга-Пти и Мичерлиха (изоморфизм). С течением времени периодическая система всё чаще и чаще кладётся в основу руководств и учебников неорганической химии. И тем не менее ещё в начале XX столетия мы встречаем весьма сдержанное отношение к периодическому закону и к системе Менделеева у ряда учёных. Так, Оствальд в своих «*Основах неорганической химии*» отводит периодической системе последние страницы, подчёркивает её несовершенства и говорит (1900 г.): «Здесь мы имеем дело не с законом природы в строгом смысле слова, но с принципом классификации чего-то не вполне определённого».

Чем же объясняется такое сдержанное отношение к периодическому закону? Несомненно, причины для этого были. Со стороны энергетика Оствальда отрицательное отношение к открытию Менделеева было вызвано прежде всего соображениями философского порядка. Но были обстоятельство и другого рода, зависевшие от неясностей в самой системе элементов. Дело не в том, что до последнего времени нельзя было объяснить ненормальности в размещении некоторых элементов, как, например, мода и теллура, никеля и кобальта, аргона и калия; дело не

только в трудности размещения элементов редких земель. Главная причина неудовлетворённости от периодической системы лежала в непонятных переходах в атомных весах от одного элемента к другому, в дробных значениях атомных весов, в непонятном попадании ряда элементов в чуждую им компанию (например, Mn среди галоидов). Если элементы помещаются в правильно расположенных клетках, то почему разницы между атомными весами так причудливо различны?

Только последние десятилетия принесли разгадку если не всех, то главнейших из этих вопросов. Открытие изотопии и порядкового числа элементов, в связи с современными теориями строения атомов, дали ответ на эти вопросы, а вместе с тем показали, что периодический закон есть «закон природы в строгом смысле слова».

Д. И. Менделееву не пришлось дожить до новых триумфов его главнейшего труда.

Укрепители
периодического
закона

Клемент ВИНКЛЕР

Фрейберг

в Саксонии

В 1886 году

открыл акасилиций,

названный им

Германий

Ge=72.3

Кл. ВИНКЛЕР, Фрейберг.
Саксония 1886 г. Ма...¹

После меня сыну **Владимиру**
1886 г. Д. МЕНДЕЛЕЕВ

ЛЕВОН-де-БОАБОДРАИ

Нарвик

В 1875 открыл экаалюминий,

названный Галлием

Ga = 69.7

Почтительный знак совершенного уважения и мое живейшее желание считать Менделеева в числе моих друзей.
Л. де-В.²

В Санктпетербурге, на память проф. Дмитрию Ивановичу МЕНДЕЛЕЕВУ.
Манчестер, 7 февраля, 1887 г.
Богуслав Федорович
БРАННЕР³

Б. БРАННЕР

Прага в Богемии

В 1883 показал,

что Te = 125, как следует по периодическому

закону

Г-ну профессору МЕНДЕЛЕЕВУ
в С.-Петербурге

Свидетельствую высокое почтение.
Ф. ШИЛЬСОН, Упсала⁴

ШИЛЬСОН

Упсала в Швеции

В 1880 г. открыл экабор, названный

Скандием

Sc=44

¹ Автограф ВИНКЛЕРА

² Автограф Л. де-БОАБОДРАИ

³ Автограф БРАННЕРА

⁴ Автограф ШИЛЬСОНА

Остальное — автограф

Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА



Фотовоспроизведение листа с портретами «укрепителей периодического закона», составленного Д. И. Менделеевым (с его автографом).

Устройство
периодического
закона:

Клементь Вилкельдъ

Фрайбургъ

въ Саксоніи

Въ 1886 году

открылъ жасиниціи,
названнѣи и мѣ

Германіи

$\zeta_0 = 72,3$

1883 годъ

Полн. собр. соч. В. И. Вернадского
1886 г. - Д. Менделѣевъ

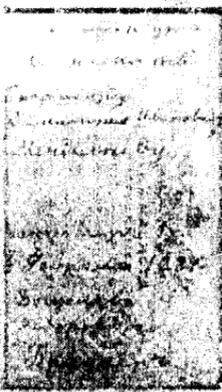
Ахоль де Боабодриль
Парижъ.

Въ 1875 г. открылъ

экиамолини, названнѣи

Талмисъ в

$\zeta_0 = 69,7$



Нильсонъ в.

Упсала въ Швеціи

Въ 1880 г. открылъ

экиборъ, названнѣи вѣ

Скандінавіи

$\zeta_0 = 44$

Б. Траунеръ.

Прага въ Богеміи.

Въ 1883 показавъ,

что $\zeta_0 = 125$, какъ

слѣдуетъ по периодическому закону

ЛОГИКА НАУЧНЫХ ОТКРЫТИЙ, СВЯЗАННЫХ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ЗАКОНОМ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Б. М. Кедров

Прошло 78 лет с того момента, когда величайший русский химик Д. И. Менделеев установил названный его именем периодический закон, повлекший за собой глубочайшую перестройку всей химической науки. Этот закон не только является теоретическим фундаментом современной химии, физики, геохимии, астрофизики — главных наук о неорганической природе, но имеет и глубокое философское значение: он вскрыл, как это показано ещё Энгельсом, диалектику связей и отношений между химическими элементами и послужил одним из ярких подтверждений материалистической диалектики.

1. О путях научного творчества

Сказанным не исчерпывается философское значение научного творчества Д. И. Менделеева: в его трудах содержится большое количество глубочайших высказываний, раскрывающих пути и закономерности естественного-научного познания. Вместе с тем сама история научных достижений, предшествовавших открытию менделеевского закона, равно как и те завоевания науки, которые явились следствием открытия и применения этого закона, дают богатейший материал для выяснения философского вопроса об исторической закономерности и логике научных открытий.

О какой, однако, логике научных открытий может идти речь? Разве можно охватить рамками логических закономерностей тот чрезвычайно сложный и никогда одинаково не повторяющийся творческий процесс, в

результате которого исследователь, иногда неожиданно даже для самого себя, словно по какому-то наитию, находит правильное решение задачи? Да и вообще: что может быть своеобразнее творческой, изобретательской мысли? Какой запутанный, извилистый путь проделывает она, какие совершает причудливые зигзаги и неожиданные повороты, прежде чем придёт к настоящему открытию? Если спросить самих изобретателей и учёных, каким образом натолкнулись они на свои открытия, то сколько самых разнообразных, весьма любопытных, но главное не похожих одно на другое объяснений можно услышать в ответ!

Во всех этих объяснениях на первое место будут выдвигаться моменты личного порядка, связанные с индивидуальными особенностями автора открытия и с теми особыми условиями, в которых автор находился в момент открытия. Именно эти обстоятельства придают неповторимое своеобразие каждому отдельному акту творчества. Здесь будет ссылка и на специфический характер ассоциаций, возникающих в голове автора, и на особенности его памяти, которая не только сохранила в своей глубине, казалось бы, давно уже забытый материал, но и натолкнула на него изобретательскую мысль как раз в самый решающий для неё момент. Здесь будет также и указание на счастливое стечение внешних обстоятельств, облегчивших работу ассоциации и памяти, в результате чего внезапно перед мыслью автора открылось верное направление. Наконец, здесь будет упомянуто об интуиции, об игре и силе воображения, о роли фантазии, о подсознательной работе мысли, совершаемой не только наяву, но даже во сне...

Все эти и подобные им вопросы касаются не столько логики, сколько психологии.

Пути научного творчества чрезвычайно разнообразны. Творческий гений учёного использует различные пути, например более абстрактный путь построения различного рода геометрических образов, либо путь аналогий с чувственно-осязаемым миром, рождающий на этой почве различные ассоциации с чувственными ощущениями. Эти пути могут взаимно переплетаться с преобладанием того или иного из них.

В подготовке открытия периодической системы химических элементов можно обнаружить указанные пути. Шанкуртуа строит свою «*vis tellurique*» («земную линию»), располагая элементы по винтовой линии, накрученной на поверхность цилиндра; периодичность свойств элементов связывается у него с абстрактным представлением о ходе винта. Напротив, Ньюлэндс устанавливает свой Law of Octaves (закон октав), исходя из аналогии между повторяемостью свойств элементов и повторяемостью звуков в музыкальной гамме.

Особым был путь Менделеева. В своих «*Основах химии*» Менделеев говорит, что его неоднократно спрашивали, каким образом он пришёл к открытию периодического закона. Указав, что предположение о существовании такого закона основывалось на признании вечности массы вещества и вечности химических элементов, Менделеев заключает: «Поэтому невольно зарождается мысль о том, что между массой и химическими особенностями элементов необходимо должна быть связь... Вот я и стал подбирать, написав на отдельных карточках элементы с их атомными весами и коренными свойствами, сходные элементы и близкие атомные веса, что быстро и привело к тому заключению, что свойства элементов стоят в периодической зависимости от их атомного веса»¹.

Что же общего между всеми этими столь мало похожими друг на друга творческими путями — между карточками Менделеева, винтом Шанкуртуа и октавами Ньюлэндса? Общее между ними заключалось в том, что все эти психологически различные вспомогательные приёмы возникли на вполне определённой ступени познания и были направлены к единой цели — к открытию одного и того же закона природы. При всём своеобразии каждый путь так или иначе вёл к истине и содержал в себе её частицу, но лишь у Менделеева периодический закон выступил во всей чистоте как объективный закон природы, освобождённый от привнесённых в ходе творческих исканий субъективных моментов, связанных с особенностями

¹ Д. И. Менделеев. Периодический закон химических элементов. Госхимтехиздат, М.—Л. 1934. стр. 226.

психологической работы, которая совершалась в голове отдельных учёных.

Когда открытие этого закона было закончено, особенно ярко обнаружилось значение логики как науки об истинном мышлении, о достигаемых им результатах.

«Не психология, не феноменология духа, а логика — вопрос об истине»¹, — подчёркивает Ленин. Эти слова имеют решающее значение для понимания путей научного творчества.

Каков же общий ход развития мысли, в том числе мысли изобретательской, научно-исследовательской? Если очистить её от всех случайных, привходящих моментов и представить её в логически стройном виде как процесс, развивающийся внутренне необходимым образом, то нередко можно выделить три основные ступени в её развитии. Это — ступени единичности, особенности и всеобщности. Устанавливая вначале отдельные непосредственные факты, мы высказываем о них суждения единичности. Группируя затем вещи и явления согласно их особым признакам, мы составляем суждения особенности. Наконец, открывая общий закон, лежащий в основе данного круга явлений, мы поднимаемся до суждения всеобщности. Таков общий путь открытия законов природы, в том числе и периодического закона химических элементов.

«И в самом деле, — писал Энгельс, — всякое действительное, исчерпывающее познание заключается лишь в том, что мы в мыслях поднимаем единичное из единичности в особенность, а из этой последней во всеобщность»².

Это есть то устойчивое течение мысли, которым в конечном счёте характеризуется общий ход научного творчества, ведущий к открытию закона (всеобщего). Энгельс показывает это конкретно на примере истории одного из величайших открытий физики — открытия закона сохранения и превращения энергии.

То же самое имело место в истории химии.

Задача настоящей статьи заключается главным образом в том, чтобы показать логику научных открытий на

¹ В. И. Ленин, *Философские тетради*, 1938, стр. 170.

² Ф. Энгельс, *Диалектика природы*, Госполитиздат, 1946, стр. 187.

фактическом материале, приведшем к открытию периодического закона, и на последующих достижениях науки, явившихся результатом применения и уточнения этого закона.

2. Об открытии и последующей разработке периодического закона

Говоря о подготовке периодической системы элементов, остановимся сначала коротко на общем развитии мысли химиков, приведшем к открытию законов атомистики и понятия атомного веса. Здесь развитие шло в пределах тех же трёх стадий, отмеченных Энгельсом.

В XVI и в XVII вв. исследование вещества не выходило за рамки единичности, так как химики ограничивались изучением отдельных веществ и их индивидуальных свойств; типичным примером такого подхода к веществу было открытие в 1648 г. Глаубером сернокислого натрия (*Sal mirabile*) и его слабительного действия. В XVIII в. в связи с развитием теории флогистона, а затем — кислородной теории мышление химиков достигло более высокой ступени и перешло к раскрытию момента особенного в химических отношениях веществ; в этот период химики уже не ограничиваются исследованием состава и превращений отдельных веществ, а *группируют* эти превращения по признакам различных типов химических реакций (окисления, восстановления, нейтрализации, обмена и др.).

На рубеже XVIII и XIX вв. имеет место первое нащупывание момента всеобщего, правда, сначала ещё только в форме эмпирических правил и обобщений (стехиометрические законы Рихтера и Пруста). С установлением атомной теории в начале XIX в. все химические превращения оказались связанными между собой *единым общим законом*, согласно которому любая новая форма вещества не возникает из ничего и не исчезает бесследно: в природе имеет место только взаимный переход различных форм химического вещества друг в друга, причём в основе этого перехода лежат различные соединения и разъединения атомов.

Поэтому открытие химической атомистики Дальтоном можно рассматривать как результат перехода

мышления химиков от единичного через особенное ко всеобщему.

Само открытие атомного веса как будущей основы периодического закона прошло те же три стадии: упомянутый только что закон постоянных отношений Пруста устанавливал постоянство состава у единичных веществ; закон паёв, или эквивалентов, устанавливал отношения у веществ, вступающих в особенные химические реакции, например в реакцию нейтрализации; закон кратных отношений и связанное с ним понятие атомных весов, включая в себя оба предыдущие закона, выражали отношения в химическом составе вещества в общей форме; состав любого вещества определяется числом атомов, входящих в его частицу, и их атомными весами.

Та же, отмеченная выше Энгельсом, последовательность стадий научного познания красной нитью проходит через всю историю открытия самой периодической системы элементов.

До XIX в. классификация элементов фактически отсутствовала вовсе, тем более что само понятие о химическом элементе было окончательно установлено только в конце XVIII в. Элементы выступали тогда как случайное скопление *единичных* веществ. Об отдельных элементах можно было утверждать только то, что каждый из них, независимо от остальных, представляет некоторый предел разложения химически сложных веществ.

Но уже к концу XVIII в. стала обнаруживаться недостаточность такого взгляда на элементы. Возникла потребность в их классификации. Однако всякая классификация предполагает выделение *особенных* отличительных признаков, общих у всех членов данной группы предметов. Эти признаки дают возможность, с одной стороны, объединить сходные элементы в группы и классы, а с другой стороны, провести различие между элементами разных групп и классов. Первое нацеливание особенных признаков элементов мы встречаем у французских химиков во главе с Лавуазье, которые разбили все элементы на металлы и неметаллы, исходя из их отношения к кислороду и из свойств их окислов. Позднее, в начале XIX в., под эту классификацию Берцелиус подвёл электрохимическую основу.

Однако несравненно более важным было открытие Деберейнером так называемых естественных групп, которые объединяли элементы с аналогичными в химическом отношении свойствами. Таковы были группы серы, фосфора, галогенов, щелочных металлов и др. Каждая группа обладала своими особыми химическими признаками, общими для всех входящих в неё элементов, но отличными от признаков остальных групп.

Одновременно с этой линией развития классификации элементов по их особенным признакам возникла и другая линия, сторонники которой пытались построить общую систему всех элементов, располагая их в единый ряд, в соответствии с постепенным возрастанием количественного значения какого-либо их общего свойства. Предвосхищение такой системы мы находим у Марне в конце XVIII в. Однако в то время ещё не было известно никаких общих количественно измеримых признаков у элементов; поэтому мысль Марне осталась только натурфилософской догадкой.

С открытием атомных весов дело изменилось коренным образом. Уже Дальтон пытался расположить все известные в начале XIX в. элементы в единый ряд, согласно возрастанию их атомных весов (1808); но отдельные атомные веса рассматривались как случайные, не связанные между собой числа, — ни о какой периодичности свойств элементов не могло быть и речи. Спустя семь лет Праут высказал свою знаменитую гипотезу о происхождении всех элементов из водорода, играющего роль первичной материи (протила). Впоследствии гипотеза Праута большинством химиков была отвергнута. Тем не менее отдельные учёные неоднократно возвращались к мысли расположить элементы в общий ряд на основе их атомных весов.

Однако все такие попытки не приводили к желаемому результату; в значительной мере это объяснялось тем, что химики не располагали необходимым фактическим материалом и пытались сразу от единичного перейти к всеобщему, перескакивая через логически неизбежную ступень познания особенного; обойти же её в данном случае было невозможно. Во второй четверти XIX в. главная задача химии состояла именно в том, чтобы как можно

полнее раскрыть между элементами те связи, которые выражают их сходства между собой, их химические аналогии. Пока эта задача не была решена, нельзя было создать естественную систему элементов. Последняя должна была строиться на основе общих свойств элементов, но взятых не в отрыве от их особенных и индивидуальных свойств, а в единстве с ними. Системы, подобные прAUTОВСКОЙ, напротив, отрывали общее (атомные веса) от особенного, единичного и противопоставляли первое вторым. Этим обуславливалась их чрезвычайная абстрактность, которая, естественно, не могла удовлетворить химиков. Иначе говоря, здесь, как и в других областях науки, путь к истине шёл от единичного через особенное к всеобщему. Это прекрасно понимал Менделеев. Он писал:

«Вообще при изучении свойств элементов, долженствующем дать практические выводы и химические предсказания, заслуживают равного внимания как общие свойства группы, к которой принадлежит данный элемент (особенное. — *Б. К.*), так и его индивидуальные свойства (единичное. — *Б. К.*); только после такого сравнительного изучения на основании какого-либо точно измеримого свойства можно обобщить свойства элементов» (т. е. найти всеобщее. — *Б. К.*)¹.

К 60-м годам XIX в. дело настолько продвинулось вперёд, что возникла настоятельная задача отыскать общую связь между отдельными группами элементов и установить их единую систему. Для решения этой задачи требовалось перейти от рассмотрения элементов со стороны их химических особенностей к рассмотрению их со стороны общего физического свойства — атомного веса, но при обязательном учёте их групповых и индивидуальных свойств. Эту задачу и выполнил Менделеев. Он сумел подняться от особенного к всеобщему в понимании элементов так, что всеобщее (периодическая система) включило в себя всё богатство особенного (естественные группы) и отдельного у элементов.

Переход от особенного к всеобщему произошёл у Менделеева следующим путём. Как уже отмечалось, в течение

¹ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 81.

второй четверти XIX в. мысль химиков, изучавшая свойства элементов, находилась на ступени познания особенного; она искала лишь признаки химического сходства (аналогий) между элементами с тем, чтобы распределить элементы по естественным группам. В силу этого она сближала между собой лишь химически близкие элементы, решительно избегая сближать друг с другом химически различные элементы. Это стало традицией.

Периодическая закономерность, писал Менделеев, «имела под собою к 60-м годам подготовленную почву и если высказана с определённой лишь к концу 60-х годов, то этому причину, по моему мнению, должно искать в том, что сравнению подвергали только элементы, сходственные между собою. Однако мысль сличить все элементы по величине их атомного веса до того чужда была общему сознанию, что ни «*vis tellurique*» De Chancourtois, ни «*Law of Octaves*» Newlands не могли обратить на себя чьего-либо внимания, хотя у них... видно... приближение к периодическому закону и даже его зародыш»¹.

Открывая в 1869 г. периодическую систему как общую систему элементов, Менделеев сформулировал основную цель, которую он поставил перед собой и которую на языке логики можно определить как осуществление перехода от особенного к всеобщему в классификации элементов. «Цель моей статьи, — писал он, — была бы совершенно достигнута, если бы мне удалось обратить внимание исследователей на те отношения в величине атомного веса *несходных* элементов, на которые, сколько то мне известно, до сих пор не обращалось почти никакого внимания»².

Через два года, в 1871 г., Менделеев снова подчёркивает это обстоятельство. Он пишет: «...Атомные веса несходственных элементов никак не были сравниваемы между собою, а как раз на несходственных элементах и обнаруживается закономерная зависимость свойств от изменений атомного веса»³.

Сближение несходных элементов, которое наблюдается в менделеевской системе по горизонтали (в пределах

¹ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 164—165.

² Там же, стр. 20.

³ Там же, стр. 83.

периода), составляет существо самой системы и лежащего в её основе периодического закона. Оно составило, следовательно, существо и самого открытия Менделеева. До Менделеева сходственные элементы соединялись в изолированные группы, подобные следующим:

литий,		азот,
натрий,		фосфор,
калий,	или:	мышьяк,
рубидий,		сурьма,
цезий;		висмут

и т. д. Менделеев же облизил в один ряд химически различные элементы, обладающие близкими и постепенно возрастающими значениями атомных весов, например: литий, магний, алюминий, кремний, фосфор, сера, хлор; или:

натрий, бериллий, бор, углерод, азот, кислород, фтор

и т. д.

При этом оказалось, что ранее установленные группы не только не отпали при таком расположении элементов, а органически вошли в новую систему, выразив соотношения элементов в ней по вертикали. Теперь эти группы потеряли ту искусственную изолированность, которая придавалась им ранее: они вошли в менделеевскую систему так, что обнаружили свою подчинённость общей периодической зависимости.

Открытие общей зависимости стало возможным и необходимым как *высшая* ступень, следующая за раскрытием химических аналогий элементов, т. е. за ступенью особенного. По словам Менделеева, «...периодическая зависимость свойств *несходных* элементов и их соединений от атомного веса элемента могла быть установлена лишь после того, как она доказана для *сходных* элементов. В сопоставлении *несходных* элементов, — продолжал Менделеев, — заключается по-моему основной признак, отличающий мою систему от систем моих предшественников. За немногими исключениями я принял те же группы аналогичных элементов, что и мои предшественники, но поставил целью изучить закономерности во взаимоотношении групп. Тем самым я пришёл к вышеупомянутому общему принципу, который приложим ко всем элемен-

там и схватывает многие прежде высказанные аналогии, но допускает ещё и такие следствия, которые раньше были невозможны»¹.

Такова сущность открытия Менделеева.

На примере этого открытия мы видим, что логика обобщает отдельные, индивидуальные процессы мышления и вскрывает их общий ход развития. В самом деле: перед химиками 60-х годов XIX в. стояла задача подняться со ступени особенности на ступень всеобщности в учении об элементах, другими словами, стояла задача открыть общий закон элементов и построить на его основе их естественную систему. Для этого требовалось *сблизить* в первую очередь те элементы, которые до тех пор разрывались между собой.

Пути и способы подобного сближения могли быть самыми различными, причём само открытие могло быть сделано с помощью различных мыслительных приёмов и обменов (аналогий, ассоциаций).

Какими же путями шли отдельные учёные к мысли о необходимости сблизить различные элементы и в какой конкретной форме они осуществляли это сближение? У одного (Шанкуртуа) это сближение достигалось тем, что различные химические элементы попадали как бы в выемку винтовой парезки; Шанкуртуа мысленно созерцает как бы постепенный «спуск» элементов по винтовой лестнице. Другой (Ньюлэнде) так же мысленно улавливает как бы постепенное снижение «тона» у химических элементов, подобно последовательному изменению звуков в музыкальной гамме.

Но только Менделеев заранее знал, *что* именно он ищет. Его поиски носили чрезвычайно целеустремлённый и вполне осознанный характер, а применённый им приём был точен и логически последователен: в целях сближения различных элементов Менделеев, нанеся данные о них на карточки, располагал эти последние в ряды, подобно тому как располагаются игральные карты по масти и по значимости.

Тем не менее *сущность* всех этих трёх приёмов сводилась к одному и тому же: сблизить между собой химически

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, 1934, стр. 221—222.

несходные элементы. Эта сущность была отчётливо понята Менделеевым; но её неявно осознавали другие химики, приближавшиеся к открытию периодического закона, но не видевшие, в чём состоит главная цель их исследований; поэтому дальше намёков на этот закон они не шли. Только Менделеев с присущей ему силой строго научного, логического мышления вскрыл сущность движения мысли химиков к открытию периодического закона, освободил её от той случайной, субъективной формы, которую придали ей особенности творческого процесса, протекавшего у отдельных учёных, и показал эту сущность в её чистом виде.

Дальнейшее развитие периодической системы уже после Менделеева было тесно связано с открытием превращения элементов; это открытие также прошло ряд ступеней — от единичного через особенное к всеобщему.

Когда в 1896 г. Беккерель случайно обнаружил у солей урана особого рода радиацию, а М. и П. Кюри открыли радий, то сначала было ещё не ясно, в чём именно состоит явление радиоактивности. Первым суждением о нём по существу явилась теория, высказанная Резерфордом и Содди в 1903 г., гласившая, что радиоактивность *есть спонтанный распад единичных элементов*. Ленин приводит слова Рамзая, который, рассказав о превращении радия в гелий, замечает: «По крайней мере, один так называемый элемент не может уже теперь быть рассматриваем, как последняя материя; сам он превращается в более простую форму материи»¹.

Можно сказать, что в это время учение о превращении элементов находилось на ступени познания единичности. Констатировалась способность отдельного элемента превращаться в более простые формы материи.

В течение последующих десяти лет накопился огромный фактический материал, касавшийся естественной радиоактивности; были установлены особые виды радиоактивного распада: альфа- и бета-излучения; были изучены сначала порознь, а затем в их взаимном отношении три особых радиоактивных ряда — урана, тория и актиния. Наконец в 1913 г. Содди и Фаянс открыли основной закон радио-

¹ Цит. по В. И. Ленину, Соч., т. XIII, стр. 256.

активного распада (закон сдвига), благодаря чему удалось выяснить отношения между радиоактивными процессами, а также участвующими в них элементами. Закон сдвига связал радиоактивные процессы с менделеевской системой, и с тех пор все превращения элементов рассматриваются только в связи с нею.

К этому времени твёрдо установилось мнение о радиоактивности как особом естественном свойстве некоторой группы тяжёлых элементов. Можно сказать, что учение о превращении элементов достигло тогда ступени познания особенности.

Но уже в 1919 г. Резерфорду удалось впервые искусственным путём разрушить ядро атома лёгкого нерадиоактивного элемента—азота. А ещё через два года были разрушены ядра ряда других элементов. Последующие открытия новых элементарных частиц, искусственной радиоактивности, новых видов ядерных реакций всё больше подтверждали мысль, что при определённых условиях *любой* элемент может и должен претерпевать коренное превращение. В настоящее время многие из этих процессов ещё не осуществлены, но несомненно, что физика приближается к тому, чтобы на практике доказать, что при определённых условиях *любой* элемент может и должен превращаться, прямо или через ряд промежуточных ступеней, в *любой* другой элемент. Особый интерес в этом отношении представляет дробление ядер урана, приводящее к целой цепочке последовательных превращений элементов в порядке их мест по периодической системе. Можно сказать, что отныне познание разложимости и превращаемости элементов вышло из стадии познания их как чего-то особенного и было поднято Резерфордом до уровня *всеобщего* закона. Мы достигли и здесь познания всеобщности.

История менделеевской системы подтверждает мысль Энгельса о том, что определения единичности, особенно *сти* и всеобщности являются ступенями, которые проходит научное познание.

3. Об открытиях отдельных химических элементов

Сказанное подтверждается также историей открытий отдельных химических элементов. До 1800 г. открытия элементов происходили только в порядке единичных, случайных событий и были поэтому очень редки. В древности были известны семь металлов, которые встречаются в природе в свободном состоянии: золото, серебро, медь, железо, олово, свинец и ртуть, а из неметаллов — сера и углерод. Кроме того в Вавилонии знали сурьму. В средние века алхимики открыли висмут, цинк, фосфор и мышьяк. Эти открытия носили случайный характер. Вследствие своей малой химической активности перечисленные элементы легко получались в виде простых веществ или встречались как таковые в естественных условиях. В XVIII в. прибавилось ещё 11 элементов, открытых флогистиками.

Обычно все эти открытия происходили так. В процессе химических операций химики-практики наталкивались на множество новых веществ, среди которых случайно сказывались и отдельные химические элементы. Однако никакой внутренней связи между открытием одного элемента и открытием другого не было. Каждое из них представляло независимый, *единичный факт*.

Это вытекало уже из самого аналитического подхода к элементу как пределу разложения вещества. Практически каждый такой предел устанавливался совершенно самостоятельно, независимо от других подобных пределов. При отсутствии же какой-либо связи между всеми этими эмпирически найденными пределами невозможно было предвидеть, сколько элементов и каких именно ещё не открыто.

Говоря об открытии отдельных химических элементов, следует отметить огромную стимулирующую роль производственной практики вообще, в частности практики металлургии и тесно связанного с нею горного дела. По мере того как в Швеции, Норвегии, Саксонии, Испании и в других странах расширялась разработка полезных ископаемых, особенно рудных, росло количество новых веществ, с которыми человеку приходилось иметь дело на практике. Открытие этих новых веществ и их использование в свою

очередь вызвало необходимость в проведении точного анализа их химического состава. В результате такого анализа химики приходили к открытию новых химических элементов, т. е. таких веществ, которые не поддавались дальнейшему химическому разложению. Это касается прежде всего открытия новых металлов. Так, в 1733 г. Г. Брандт открыл кобальт; в 1751 г. Кронштадт выделил никель; в 1783 г. испанские химики, братья д'Эльгауры, нашли в вольфрамите вольфрамовую кислоту (идентичную с открытой шведским химиком Шееле в 1781 г.) и путём восстановления выделили из неё вольфрам. Но всё это, повторяем, были единичные, непосредственно не связанные между собой открытия.

Несколько в особом положении стояли открытия трёх химических элементов — водорода (Кэвэндиш, 1766), азота (Резерфорд, 1772) и кислорода (Пристли и Шееле, 1774); эти элементы, как известно, в свободном состоянии существуют в виде газов. Поэтому их открытие стало возможным лишь во второй половине XVIII в. на основе развившихся методов газового анализа.

Начиная с XIX в. совершился переход к открытию элементов группами. В этих открытиях стала играть решающую роль особенность химических свойств элементов данной группы, благодаря которой устанавливалось их сходство между собой и отличие от остальных элементов. В итоге число известных элементов стало быстро возрастать. «Годы с 1800 по 1870, — пишут Рабинович и Тило, — можно назвать, собственно, эпохой открытия элементов»¹.

Пожалуй, наиболее ярким примером открытия нового типа явилось открытие калия и натрия, сделанное Гэмфри Дэви в 1807 г. Окиси этих металлов были известны уже давно. Едкие щёлочи, под именем растительной и минеральной, долгое время принимались за элементы. Но уже Лавуазье стал считать их не разложенными ещё окисями неизвестных радикалов. Однако щелочные металлы в отличие от ранее известных являются химически чрезвычайно активными и дают очень прочные соединения с кислородом; поэтому известными в XVIII в. химическими

¹ *Е. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, М.—Л. 1933, стр. 23.*

способами их нельзя было выделить из их окисей (восстановить). Нужен был новый, чрезвычайно сильный, физический агент, который мог бы разорвать их связь с кислородом. Действие этого агента, не будучи ограничено областью какого-либо одного вещества, делало бы возможным одновременно открытие целой группы химически активных металлов, поскольку, повторяем, их окиси были уже известны к тому времени.

Таким могущественным агентом явился гальванический ток. Последний получался от открытого в 1800 г. вольтова столба.

В данном случае новые элементы были открыты не в одиночку, а совместно, и не случайно, а на основе уже сложившегося взгляда, что по своим свойствам они проявляют характерную для них особенность — сильнейшую химическую активность.

Через год тем же путём Дэви открыл группу щелочноземельных металлов, члены которой — магний, кальций, стронций и барий — обладали также большой химической активностью, хотя и меньшей, чем члены предыдущей группы.

Позднее открытие новых методов физического исследования снова приводит к открытию особых групп элементов. В 1860 г. Бунзен и Кирхгоф открыли спектральный анализ, с помощью которого могут быть обнаружены самые ничтожные количества вещества. Таким методом одновременно были открыты два новых щелочных металла — рубидий и цезий. Немного позднее были открыты два металла будущей III группы — таллий и индий. Так, Крукс нашёл, что спектр, образуемый остатками от обжига колчеданов, содержит яркозелёную линию таллия. Два года спустя тем же путём был обнаружен индий по синей линии в спектре, которую давали огарки цинковой руды. А ещё через пять лет Локиер тем же путём обнаружил на солнце спектр гелия, принадлежащего к будущей нулевой группе. Только в конце XIX в., уже после открытия периодического закона, Рамзаю с сотрудниками удалось открыть всю нулевую группу, включая и гелий, не только спектроскопически, но и выделив каждый газ в отдельности.

Но если открытия отдельных элементов стали происходить, как правило, группами, то открытия самих групп

в XIX в. оставались на уровне установления единичных фактов.

Высшей ступени открытия элементов достигли с установлением периодического закона, благодаря которому была раскрыта *всеобщая* связь элементов. Поэтому в дальнейшем открытия элементов становятся необходимым следствием разработки их общего закона. Рассмотрение элементов в их общей связи позволяет определить не только, каких элементов ещё не хватает, но и какими индивидуальными свойствами они должны обладать и даже какими особыми способами и где их следует искать.

Периодический закон выступил, таким образом, как всеобщее, включающее в себя моменты единичного и особенного.

«Без периодического закона, — пишет Менделеев, — не было возможности предсказывать свойства неизвестных элементов, мы даже не могли иметь какого-либо представления о недостающих членах в ряду элементов. Открытие новых элементов было только делом наблюдения и поэтому было обусловлено или случайностью или выдающимся чутьём исследователя. С таким открытием не было связано особого теоретического интереса. Поэтому-то эта важнейшая часть химии, изучение элементов, исследовалась немногими химиками. Новый путь открывает в этом направлении периодический закон»¹.

Так, например, Менделеев определил, что в III группе имеется незанятое место между алюминием и индием, которое должен занять элемент, названный им «эка-алюминием».

«Свойства этого металла, — говорил Менделеев в 1871 г., — во всех отношениях должны представлять переход от свойств алюминия к свойствам индия, и очень вероятно, что этот металл будет обладать большею летучестью, чем алюминий, а потому можно надеяться, что он будет открыт спектральным исследованием, подобно тому как открыты следующие за ним индий и таллий, хотя он и будет, конечно, менее летуч, чем оба эти элемента, а потому

¹ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 119—120.

и нельзя ждать для него столь резких спектральных явлений, какие привели к открытию этих последних»¹.

Предсказания Менделеева блестяще подтвердились вплоть до того, что галлий, в который воплотился экаалюминий, был открыт Лекок-де-Буабодраном в 1875 г. именно с помощью спектрального анализа. Совпадение индивидуальных свойств галлия и его особенных свойств, как элемента III группы, с вытекавшими из его положения в общей системе и предсказанными Менделеевым свойствами явилось, по словам Менделеева, конкретным доказательством «правильности и общности периодического закона»².

Точно так же были предсказаны Менделеевым экабор и экакремний, воплотившиеся позднее в скандий и германий.

Тем самым открытие новых элементов превратилось в составную часть разработки общего закона.

Когда в 1895 г. Рамзай при нагревании минерала клевета открыл гелий, а в воздухе нашёл вместе с Релеем элемент той же нулевой группы — аргон, то, поместив оба новых элемента в систему Менделеева, он обнаружил между ними одно незанятое место и два пустых места ниже аргона. «По образцу нашего учителя *Менделеева*, — пишет Рамзай, — я описал, поскольку возможно было, ожидаемые свойства и предполагаемые отношения газообразного элемента, который должен был заполнить пробел между гелием и аргоном»³. Такое же предсказание сделал датский физико-химик Ю. Томсен.

Затем, опираясь на закон Менделеева как общую закономерность, Рамзай стал искать новые газы. Особенностью новой группы элементов была их химическая недеятельность. «Многочисленные опыты, предпринятые мною для определения возможных химических свойств... — писал Рамзай об аргоне, — дали все отрицательный результат. Казалось, что этот газ неспособен вступать в соединения»⁴.

¹ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 65.

² Там же, стр. 175.

³ В. Рамзай, Благородные и радиоактивные газы, 1909, стр. 19—20.

⁴ Там же, стр. 11.

Вставал вопрос: где же и какими способами искать новые газы? Физическое состояние, показывающее на слабость сил притяжения между молекулами, находилось в связи с их основной химической особенностью — неспособностью вступать во взаимодействия с другими веществами. Это давало указание, где и как следует искать новые элементы. «Такие индифферентные газы должны были существовать в воздухе, если только вообще их существование возможно», — говорит Рамзай ¹.

Вследствие их особенностей разделение их смеси химическим путём было, по крайней мере, практически невозможным. Для этого требовалось применить особый физический метод, например типа фракционной перегонки, позволяющей индивидуализировать составные части жидких смесей. Чтобы применить такой метод, следовало предварительно превратить газы в жидкость. Как только Линде и Гампсон открыли способ сжижения воздуха, Рамзай стал исследовать состав полученного жидкого воздуха; он обратил внимание на состав жидкости, остающейся после испарения большей части жидкого воздуха. Подвергая этот остаток фракционированию, Рамзай выделил газы: криптон, неон и, наконец, ксенон. Когда неон был достаточно очищен, то оказалось, что это действительно был предсказанный Рамзаем ещё «не открытый элемент».

На этом примере ещё резче выявились взаимная связь и последовательность ступеней познания единичного, особенного и всеобщего при исследовании химических элементов. Не только предвидение *отдельных* элементов, но и выбор *особого* метода для их открытия определялись положением элементов в *общей* периодической системе.

В XX в. по-новому стал вопрос о предсказании не открытых ещё элементов (единичного), поскольку была дана более глубокая трактовка сущности периодического закона (всеобщего). Большую роль сыграло установление порядковых номеров элементов, выведенных Мозели из данных анализа рентгеновских спектров элементов.

Если порядковые числа различаются на единицу, то оба элемента в менделеевской системе стоят рядом, являются смежными; между ними нет других элементов. Но вот

¹ В. Рамзай, Благородные и радиоактивные газы, стр. 19—20.

оказалось, что редкоземельный элемент — лютеций — имеет № 71, а следующий за ним — тантал — № 73. Это прямо указывало, что здесь есть пропуск и что следует ожидать элемент № 72. Но недостаточно было просто предсказать существование нового элемента: необходимо было дать в руки химиков-экспериментаторов указание, где нужно искать элемент № 72. Такое указание было дано Нильсом Бором на основании той же менделеевской системы.

Для того чтобы предсказать, где может встретиться тот или другой отдельный элемент (единичное), необходимо прежде всего установить, к какой группе или семейству этот элемент относится (особенное). Дело в том, что в природе элементы встречаются так, что члены одних и тех же групп и семейств обычно сопутствуют друг другу. Возник поэтому вопрос, принадлежит ли элемент № 72 к редким землям, как его сосед слева (лютеций), или нет. Многие химики во главе с Урбаном полагали, что этот элемент — член семейства редких земель (лантанидов) и что поэтому искать его надо среди их соединений. Однако многолетние поиски его среди этих веществ оставались безрезультатными.

Правда, химик Довийе утверждал, что ему удалось обнаружить элемент № 72 рентгеноскопическим методом во фракции, содержавшей иттербий и лютеций, но это была ошибка. Разумеется, если бы это подтвердилось, то тем самым было бы доказано, что элемент № 72 действительно принадлежит к лантанидам. Однако теоретические расчёты, основанные на общей квантовой теории и периодической системе, доказывали совершенно другое.

Нильс Бор показал, что если двигаться по периодической системе, следуя возрастанию порядковых номеров, то с переходом от одного её места к следующему число электронов в атомной оболочке возрастает на единицу. При этом электроны располагаются определёнными слоями; 1-й слой может содержать максимум 2 электрона, следующий за ним, 2-й слой — 8 электронов, 3-й — 18 и т. д.

2-й слой электронов образуется лишь после того, как построен 1-й. Равным образом построение 3-го слоя начинается лишь после того, как закончен 2-й слой. Но в

дальнейшем этот порядок нарушается, и ход построения электронной оболочки приобретает зигзагообразный характер: 4-й слой электронов начинает формироваться при недостроенном, более глубоком, 3-м слое; в 3-м слое не заполнены ещё 10 мест, а 19-й электрон (у калия) и 20-й (у кальция) вступают сразу в 4-й слой. Однако в дальнейшем процесс построения оболочки возвращается снова к 3-му слою, и происходит его достраивание.

Подобный ход образования электронной оболочки с возвратом назад был теоретически доказан Н. Бором, определившим энергетическую устойчивость атомных систем с точки зрения квантовой теории. Рассматривая на основе этой теории строение лантанидов, Бор пришёл к следующему важному заключению: лантан имеет 57 электронов, причём, хотя у него начата постройка 5-го и даже 6-го слоя, в 4-м слое остались незаполненными 14 мест. У лантанидов как раз и происходит заполнение этих мест, что является характерным признаком всего их семейства. Отсюда можно определить и общее число лантанидов. Оно равно 14. Следовательно, последний их член должен иметь № 71¹. Это будет лютеций. У него 4-й слой достроен полностью. Отсюда следует, что 72-й электрон должен включиться уже не в 4-й слой, а в 5-й. *Вследствие этого ожидаемый элемент № 72 должен принадлежать не к лантанидам, а к IV группе менделеевской системы, т. е. быть аналогом циркония и тория.* Как видим, индивидуальные и групповые признаки элемента № 72 Бор определил, исходя из общей закономерной связи между всеми элементами.

В 1921 г., незадолго до появления работы Довийе, Бор писал: «...Число элементов, заключённых во внутреннюю рамку², короче, чем общее число элементов, считаемых за редкие земли. Относительно конца этого семейства, как известно, существует неопределённость, проистекающая от того, что элемент с атомным номером 72 с уверенностью неизвестен. Теория, однако, позволяет заключить... что электронная группа с четырёхквантными орбитами (т. е. 4-й слой оболочки. — *В. К.*) полностью сформирована уже у лютеция (атомный номер 71). Этот элемент должен

¹ Поскольку лантан имеет № 57, то, прибавляя 14 последующих членов, получим № 71.

² Внутренней рамкой Бор обвёл семейство лантанидов.

быть поэтому последним в ряду веществ с аналогичными свойствами в первой половине шестого периода; на месте 72 следует ожидать элемента гомологического по своим физическим и химическим свойствам циркону и тору»¹.

Отсюда следовало, что раз элемент № 72 является аналогом циркония, то и встречаться в природе он должен не среди редких земель, а среди соединений циркония.

Сообщение об открытии Довийе, о котором говорилось выше, казалось бы, поколебало правильность сделанных Бором теоретических расчётов, но всё же Бор продолжал настаивать на своём, так как это предсказание твёрдо основывалось на *общей* теории. Если же допустить, что элемент № 72 принадлежит к лантанидам, то тогда потребовалось бы внести изменения в прочность электронной связи с возрастанием порядкового номера, а это было несовместимо с требованиями общей теории квантов. Таким образом, общее корректирует здесь определение единичного и особенного.

Предвидение Бора вскоре блестяще оправдалось. В начале 1923 г. Костер и Хевеши, руководствуясь указаниями Бора, открыли в норвежской циркононой руде новый элемент — гафний, имеющий № 72. В связи с этим Бор писал: «Но, в то время как до сих пор не было достаточно теоретического основания для понимания развития внутренней электронной группы, теория квантов даёт столь непосредственное объяснение этого факта, что едва ли будет преувеличением сказать, что если бы существование редких земель не было установлено химическим исследованием, то наличие подобного семейства в 6-м периоде естественной системы элементов могло быть предсказано теоретически»². Эти слова можно отнести и к нулевой группе менделеевской системы.

Следовательно, Н. Бор, опираясь на менделеевскую систему, поднял общее на ещё более высокий уровень, получив возможность предугадать не только единичное (отдельные элементы), но и особенное (их целые группы и семейства).

¹ Н. Бор, Три статьи о спектрах и строении атома, М.—П. 1923 («Современные проблемы естествознания» № 11), стр. 133

² «Die Naturwissenschaften», 1923, S. 606.

История открытия химических элементов показывает, таким образом, не только последовательный переход от единичного через особенное к всеобщему, но и единство этих ступеней познания и их субординацию, ибо с установлением периодической системы дальнейшее открытие *отдельных* элементов происходит в неразрывной связи с учётом их групповых *особенностей* и на основе рассмотрения их мест в *общей* системе. Периодическая система выступает поэтому не только как отвлечение от частных, но и как включающая в себя богатство частных. К ней как подлинной научной абстракции применима та «прекрасная формула», как её называет Ленин, которая гласит: «Не только абстрактно всеобщее», но всеобщее такое, которое воплощает в себе богатство особенного, индивидуального, отдельного (все богатство особого и отдельного?)!! Великолепно!»¹

4. Замечания о путях научных открытий

Не следует думать, что всякое естественно-научное открытие рождается всегда в результате восхождения мысли от единичного к особенному или от особенного к всеобщему. Таков путь открытия закона (всеобщего), как это отмечалось в начале данной работы. Но, после того как общее открыто и познано, дальнейшее движение мысли может происходить дедуктивно, в порядке перехода от общего к частному. Общее (закон) в этом случае становится основой и отправным пунктом для новых открытий отдельного и особенного, как моментов всеобщего, подчинённых этому всеобщему и охваченных им. Так, например, в отношении мысли о сохранении энергии Энгельс отмечает: «Мысль эта служит добытой раз навсегда основой гораздо более содержательного отныне исследования самого процесса превращения, того великого основного процесса, в понимании которого находит свое обобщение все познание природы»².

То же самое, как мы видели, произошло в области химии. После открытия периодического закона дальнейшие

¹ В. И. Ленин, *Философские тетради*, стр. 99.

² Ф. Энгельс, *Анти-Дюринг*, Госполитиздат, 1945, стр. 13.

открытия отдельных элементов и возможность предвидения их целых групп и семейств сделались простым следствием этого закона; следовательно, здесь открылся для мышления химиков путь перехода от всеобщего к единичному и особенному. Точно так же после открытия законов атомистики стало возможно предвидение новых химических веществ и их свойств. Так, например, опираясь на закон простых кратных отношений как основной закон атомистики, Дальтон предсказывает в 1810 г. существование такого соединения между Н и О, в котором О будет относительно в два раза больше, чем в воде. В 1818 г. Тенар действительно открывает перекись водорода. Или другой пример: опираясь на теорию строения как дальнейшее развитие атомистики, Шорлеммер предсказывает существование нормального пропилового спирта и через год получает его. В этих примерах единичное (новые химические соединения) открывалось на основании применения общих законов химической атомистики, следовательно, в порядке перехода от общего к отдельному.

Наконец, следует учесть ещё одно обстоятельство: если в окончательном виде, т. е. в форме закона природы, общее открывается лишь в итоге движения научной мысли, т. е. после того, как она уже прошла ступени единичного и особенного, то идея всеобщего в форме натурфилософской догадки или более определённой естественно-научной гипотезы может возникнуть значительно раньше и дать направление научному развитию. В таком случае поиски всеобщего могут начаться ещё до познания особенного и даже единичного. Однако, как это отмечалось в отношении гипотезы Праута, такие поиски не могут привести к конкретным результатам до тех пор, пока мышление не пройдёт стадии познания единичного и особенного как необходимой логической и исторической предпосылки открытия всеобщего. В процессе восхождения от единичности к особенности и от особенности к всеобщности первоначальная догадка, высказываемая часто в наивной форме, постепенно уточняется, опирается на отдельные, хотя ещё и немногочисленные, факты и превращается, таким образом, в научную гипотезу. Последняя в ходе дальнейшего восхождения к всеобщему очищается от привнесённых, посторонних толкований предмета и превращается в закон.

Так, например, идея неразрывности материи и движения, составившая философскую основу закона сохранения и превращения энергии, была высказана в качестве натурфилософской догадки древнегреческими мыслителями (вспомним хотя бы фалесовскую «душу магнита»). Как гипотезу эту идею высказал Декарт, а позднее Ломоносов. Но в качестве физического закона её открытие стало возможно лишь в середине XIX в. Таким образом, идея всеобщего витала перед глазами учёных, толкая их мысль в определённом направлении задолго до открытия самого закона. Точно так же атомистическая идея родилась в греческой философии первоначально в виде натурфилософской догадки (учение Левкиппа и Демокрита). Химической гипотезой она становится в работе Бойля «Химик-скептик» (1661). В закон она превращается лишь с момента открытия Дальтоном закона простых кратных отношений как общего закона состава и строения химически сложных веществ. Следовательно, и в химии общее витало перед глазами учёных и давало направление их мысли задолго до открытия его в форме химического закона. Особенно наглядно направляющее влияние идеи всеобщего сказалось в открытии самого Дальтона, как это показало исследование Роско и Гардена.

То же самое относится и к открытию превращения элементов. Соответствующая идея в виде опять-таки натурфилософской догадки была развита ещё Аристотелем и подхвачена в средние века алхимиками. Как гипотеза она была обоснована в XIX в. Праутом, Круксом, Бертло и другими учёными. Но в закон она смогла превратиться лишь после открытия радиоактивности и особенно после работ Резерфорда над искусственным разложением элементов.

Таким образом, при общем правильном движении мысли от единичного к особенному и от особенного к всеобщему возникают иногда весьма сложные взаимоотношения и влияния между этими ступенями познания, а также своеобразное забегание мысли вперёд, составляющее необходимое условие научного прогресса. Всё это исключает возможность применения ко всем случаям жизни заранее составленной логической схемы в такой последовательности: единичное, особенное, всеобщее, а требуе-

конкретного исследования истории каждого отдельного естественно-научного открытия.

Всё сказанное позволяет сделать общий вывод в отношении истории научных открытий, связанных с периодическим законом Менделеева; этот вывод мы сформулируем словами Ленина: «История мысли с точки зрения развития и применения общих понятий и категорий Логики — вот что нужно!»¹

Подходя с этой указанной Лениным стороны к истории открытия периодического закона, мы раскрываем во всём величии и глубине научный подвиг великого русского учёного Д. И. Менделеева.

¹ В. И. Ленин, *Философские тетради*, стр. 172.

Р А З Д Е Л



ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН
МЕНДЕЛЕЕВА
И СОВРЕМЕННОЕ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Академик А. Ф. Иоффе

Периодическая система Менделеева — величайшее обобщение химического опыта и в то же время глубочайшая проблема строения вещества. Менделеев впервые наглядно показал, что многообразие существующих на нашей земле элементов — не случайный набор, а единая система, периодическая по своему характеру. Система Менделеева построена в соответствии с атомными весами, однако не без исключений. Следовательно, не атомный вес, а нечто другое, связанное с ним, лежит в основе системы элементов.

Большое число целых чисел среди атомных весов наводит на мысль о водороде как составной части всех элементов. Однако имеется много исключений, к которым принадлежит и сам водород. Очевидно, и здесь в основе лежит что-то связанное с атомным весом водорода, но не совпадающее с ним.

Менделеев ясно понимал, что периодическая система ставит вопрос о строении и превращении атомов, и в то же время видел, что современное ему состояние науки не давало возможности ответить на этот вопрос. Вот что он говорил:

«Легко предположить, но ныне пока нет ещё возможности доказать, и может быть это вовсе даже неверно, и во всяком случае подлежит ещё большому сомнению... что атомы простых тел суть сложные существа, образованные сложением некоторых ещё меньших частей (ультиматов), что называемое нами неделимым (атом) — неделимо только обычными химическими силами, как частицы неделимы в обычных условиях физическими силами, однако,

несмотря на шаткость и произвольность такого предположения, к нему невольно склоняется ум при знакомстве с химией. Оттого такое учение повторяется в разных формах уже давно, и выставленная мною периодическая зависимость между свойствами и весом, повидимому, подтверждает такое предчувствие, если можно так выразиться, столь свойственное химикам... Мне кажется, что объяснение возможно только в смысле динамического представления, могущего и долженствующего прежде всего разъяснить самое понятие о весе. Только при ясном представлении об весе есть возможность на основании атомных весов построить гипотезу о природе элементов, но этот совершенно ещё нетронутый предмет не должен ещё увлекать нас в такой точной науке, как химия, потому что ещё не настало (хотя по моему мнению и не далеко) то время, когда представление о причине веса и притяжений станет нам настолько же понятно, как и представление о причине света»¹.

С тех пор прошло 78 лет.

Настало ли время, которое предвидел Менделеев? Разрешена ли загадка периодической системы и строения атома?

Вспомним главные этапы развития учения об атоме.

В конце XIX в. основным источником наших сведений об атомах были их спектры, тысячи точно измеримых линий. Каждая должна была иметь свой источник, следовательно, как заключил один из лучших знатоков оптических спектров Роулэнд, атом сложен, как рояль Стенвея с тысячами оптических струн.

В начале XX в. мы узнали, что в атомах существуют электроны, а спектры как будто указывали, что они и являются теми роулэндскими струнами, которые совершают строго периодические колебания. Изучение рассеяния рентгеновских лучей показало, что, вопреки мнению Роулэнда, электронов в атомах немного — около половины атомного веса.

Лучшая модель атома, построенная на основе этих данных, принадлежала Томсону. По Томсону, атом — это шаровое облако положительного заряда размером 10^{-8} см, внутри которого закреплены электроны с радиусом 10^{-13} см. Модель статическая.

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 111.

Вскоре, однако, изучая рассеяние альфа-лучей, Резерфорд доказал, что положительное ядро занимает ничтожную часть объема атома, что размеры ядра не больше размеров электронов. Статическая модель рухнула: положительное ядро, притягивая отрицательные электроны, разрушило бы такой атом. Резерфорд нашёл выход: электроны не падают на ядро, потому что вращаются вокруг него, как Земля вокруг Солнца. Но и эта модель неудовлетворительна: вращающийся электрон, излучая, должен постепенно потерять свою энергию и в конце концов всё же соединиться с ядром.

Следующий решающий шаг сделал Бор в 1913 г., подчинив модель Резерфорда законам квантовой механики с неизлучающими стационарными орбитами, отвечающими целым квантовым числам. За первым числом, определяющим радиус орбиты (n), последовало второе (k), определяющее эллиптичность её, n , наконец, третье, дающее наклон плоскости орбиты к оси атома.

Паули ввёл ещё четвёртое число, для которого, казалось, нет места в нашем трёхмерном мире. Но и здесь выход был найден: четвёртая координата характеризует не трёхмерную орбиту, а состояние самого электрона. Последний же обладает не только зарядом, но и вращательным моментом количества движения, или спином, и определённым магнитным моментом, который может так или иначе располагаться по отношению к плоскости орбиты.

Ещё в 1908 г. В. И. Ленин утверждал, что господствовавшее тогда представление об электроне как о простейшем элементе мироздания — шаровом заряде — несовместимо с положением диалектического материализма о неисчерпаемости реального мира. Он предсказал, что представление об электроне неизбежно усложнится в ходе исследования. И действительно, электронный заряд в современном представлении — это не имеющее резких границ вращающееся веретено, обладающее магнитным моментом. Такой же заряд может временно существовать в виде мезона с массой, в 200 раз превышающей массу обычного электрона.

Я не стану описывать победного шествия атома Бора через всю территорию физики и химии, откровения спектральных серий, магнетизма, рентгеновских спектров,

валентности и химических гетерополярных связей. Всё это известно.

Однако к концу первой четверти нашего века стали выявляться недочёты и внутренние противоречия модели Бора. Механическое сочетание классической физики с квантовыми законами оказалось недостаточным. Всю атомную физику пришлось перестроить на новых основаниях волновой механики, которая действительно привела к стройной системе, лишённой и внутренних противоречий и противоречий с опытом. Открылась природа гомеопольярных химических связей.

На этом этапе теория атома потеряла свою наглядность. По принципу неопределённости мы не можем следить за движением электрона по орбите, определяя в каждый момент его положение и скорость. Электронные орбиты мы заменили статистическим описанием движения. Наша модель атома — это уже не набор шариков, вращающихся по своим орбитам, а размытая картина, напоминающая быстро вращающееся тело с более густой окраской в тех местах, где тело задерживается, и с более слабой окраской участков, которые оно быстро проскакивает. Нет чётких границ, отделяющих электроны друг от друга.

Законы атомного мира не сводятся к переносу привычных нам понятий и явлений в мир микрокосма. Здесь действуют качественно отличные закономерности, для которых наш макроскопический опыт не мог создать адекватных наглядных образов.

Появление качественно новых закономерностей с переходом к новому классу явлений не будет неожиданным для диалектически мыслящего физика.

Не могу не вспомнить, какой катастрофой казался этот поворот для такого выдающегося учёного, как создатель электронной теории Лоренц. Он мог только выразить сожаление, что не умер раньше, чем вскрылось противоречие между классическими законами физики и поведением атомных электронов.

Мы не будем ни удивляться непривычности законов атомного мира, ни сетовать на неё. Наоборот, мы с удовлетворением отметим, что новая квантовая механика не знает ни одного противоречия с опытом и умеет уже сейчас правильно предсказывать свойства атомных электро-

нов, а следовательно, и те физико-химические явления, на которых выросла периодическая система Менделеева.

Каковы же современные представления о системе атомов?

1. Мы знаем, что электрические заряды ядер составляют ряд целых чисел, совпадающих с порядковым номером соответственного элемента в системе Менделеева.

2. С увеличением заряда ядра возрастает и масса его. Однако связь эта не однозначна: изотопы обладают одинаковым зарядом, но разными массами. Химический элемент — смесь нескольких изотопов (иногда до десятка). Общее число всех известных стабильных и радиоактивных разновидностей атомов достигает 600, а различных зарядов — всего 96.

3. Атомные веса изотопов выражаются почти целыми числами. Наибольшее отступление мы встречаем в самом простом атоме — водороде. В нашей системе, где атомный вес кислорода принят равным 16, атомный вес водорода равен не 1, а 1,008. Разница невелика — всего $\frac{3}{4}\%$, но значение её громадно. Эти 0,008 — источник света Солнца и звёзд, всей нашей энергетики и самого нашего существования.

Дело в том, что веса и отступления от целых чисел в атомных весах — выражение энергетических запасов данного атома.

С удивительной прозорливостью это предвидел Менделеев, и слова его (кроме последней фразы) можно почти без изменения повторить через полвека для характеристики современных представлений:

«Закон сохранения веса можно рассматривать как частный случай закона сохранения силы или движения. Естественно, что вес вызывается особым видом движения материи и нет оснований отрицать возможность при образовании атомов элементов перехода этого движения в химическую энергию или иную форму движения... Если бы известный нам элемент разложился или образовался новый, то это явление сопровождалось бы потерей или приращением веса. Этим я до известной степени считаю возможным объяснить различие химической энергии различных элементов»¹.

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 203.

4. Периодичность в свойствах элементов квантовая механика объясняет распределением электронов в электрическом поле ядра. Электрон может занимать в атоме лишь ряд вполне определённых состояний. Каждому из них соответствует определённый уровень энергии. Как и следует ожидать, электроны занимают уровни с наименьшими доступными для них энергиями. Однако ни на одном уровне не может одновременно находиться больше одного электрона.

Поэтому с возрастанием порядкового номера элемента всё новые электроны постепенно заполняют квантовые уровни в порядке возрастающей энергии. Этот порядок соответствует обыкновенно, но не всегда, росту квантовых чисел и увеличению расстояния от ядра.

Квантовые уровни атома делятся на группы по значению основного квантового числа n (1, 2, 3, 4...). Группы же состоят из подгрупп, определяемых вторым квантовым числом и обозначаемых спектральными символами s , p , d , f . Электроны каждой группы образуют слой, отстоящий от ядра тем дальше, чем больше значение числа n .

Чем ближе к ядру данная группа электронов, тем прочнее она с ним связана, тем больше энергии нужно затратить, чтобы отделить электрон от ядра. При сближении двух атомов во взаимодействие вступают прежде всего внешние электроны, которые легче остальных могут отделиться от своего ядра и связаться с другим.

От такого перехода индивидуальность данного элемента не теряется. Пока цело ядро, пока не изменился его заряд, до тех пор железо остаётся железом, а золото — золотом, сколько бы электронов они ни потеряли. Можно даже удалить все электроны, окружающие ядро: возвращаясь в нормальное состояние, оно снова объединит вокруг себя ровно столько электронов, сколько нужно, чтобы скомпенсировать его положительный заряд, и эти электроны снова займут те квантовые состояния, которые соответствуют минимуму энергии.

Резко выраженным минимумом энергии обладают замкнутые группы электронов. Они не отдают и не приобретают электронов. Таковы электронные группы нейтральных газов — гелия, аргона и др. Если в атоме помимо сформировавшейся группы имеются ещё один-два электрона сле-

дующей группы, то они легко отделяются от атома, оставляя его положительно заряженным ионом. Таковы металлы — натрий, магний и др.

Наоборот, если для завершения группы атому не хватает одного-двух электронов, то он жадно поглощает их, отнимая от других атомов с легко отделимыми электронами. В этом случае образуется отрицательный ион. Таковы — галоиды, кислород, сера.

Положительные и отрицательные ионы, притягиваясь друг к другу, образуют «гетерополярную» молекулу, связанную электрическими силами, или твёрдую кристаллическую решётку, подобно каменной соли, состоящей из положительных ионов натрия и отрицательных ионов хлора.

Однако электростатическая схема образования молекул явно недостаточна: какими же силами связываются два одинаковых атома водорода в двухатомную молекулу водорода или два атома азота в молекулу азота?

Почётный член нашей Академии наук Гильберт Льюис уже давно высказал предположение, что связь атомов в молекуле осуществляется парой электронов. В квантовой механике, действительно, молекулы стягиваются парами электронов с противоположными спинами. В замкнутой группе электронов спины их связаны уже попарно и поэтому не реагируют с другими атомами. Такое расположение осуществляется в нейтральных газах. Если же в атоме имеется некоторое число отдельных непарных электронов, то каждый из них, объединившись с непарным электроном другого атома, обладающим противоположно направленным спином, образует пару, которая своим зарядом создаёт валентную связь ядер. Третий электрон уже не может участвовать в этой связи.

Таким образом, валентность определяется числом одиночных электронов с неспаренными спинами, существующими во время сближения данного атома с другими. Если разность энергий соседних состояний невелика, один из пары электронов может перейти в другое состояние. Тогда оба они окажутся непарными и валентность повысится на 2 единицы.

При соединении электроположительного атома с электроотрицательным пара электронов располагается вблизи

последнего, образуя полярную молекулу. При соединении же двух одинаковых атомов пара электронов симметрично расположена между ними.

Применяя эти общие положения квантовой механики к отдельным элементам, мы устанавливаем полное согласие их с предсказаниями периодического закона Д. И. Менделеева.

Рассмотрим с этой целью систему квантовых уровней. В следующей таблице показано наибольшее число уровней в каждой группе и подгруппе:

Группы	Подгруппы				Общее число уровней в группе
	s	p	d	f	
I	2	—	—	—	2
II	2	6	—	—	8
III	2	6	10	—	18
IV	2	6	10	14	32
V	2	6	—	—	—
VI	2	6	—	—	—
VII	2	6	—	—	—

В I, ближайшей к ядру группе имеется всего два возможных уровня. В атоме водорода с одним электроном занят один из этих уровней, в гелии с двумя электронами — оба уровня I группы. Поэтому водород одновалентен, а гелий химически неактивен.

Начиная с лития (где третий электрон принуждён перейти во II, более отдалённую от ядра группу) и до десятого элемента неона заполняются все восемь уровней II группы. Химические свойства этих элементов определяются электронами II группы.

Для натрия с 11 электронами последнему из них уже нет места во II группе, — он переходит в III группу, образуя одновалентный атом натрия, который вполне аналогичен одновалентному же атому лития. От натрия до аргона заполняются все 8 s и p состояний III группы.

18 уровней следующей группы, где начиная с Sc заполняются 10 d состояний III группы и 8 состояний s и p IV группы, распадаются на две подгруппы в 10 и

8 электронов. Первая — от калия до никеля и вторая — от меди до криптона. Строение внешнего слоя электронов в каждой подгруппе здесь не повторяет строения предыдущей; свойства же элементов в основном определяются числом внешних непарных электронов.

Правильность в размещении электронов нарушается тем, что в атомах с большим числом электронов иногда более отдалённые уровни обладают меньшей энергией, чем некоторые более близкие к ядру уровни предыдущей группы. Тогда внутренние уровни остаются незамещёнными и заполняются позже в более отдалённых элементах периодической системы. В ряде редких земель, например, электроны постепенно заполняют оставшиеся свободными уровни подгруппы *f* IV группы, в то время как число электронов в наружном шестом слое остаётся одинаковым, равным двум. Так объясняется нарушение периодичности в семействе редких земель. Так же слабо сказывается влияние *d*-электронов внутри оболочки элементов вблизи железа, палладия, платины и урана.

Раз образовавшаяся группа сохраняется во всех последующих элементах при всё возрастающем положительном заряде ядра. Поэтому те свойства, которые определяются такими внутренними электронами, непрерывно изменяются от элемента к элементу с ростом заряда ядра, не обнаруживая никаких следов периодичности.

Так, например, *K*-серия рентгеновых лучей создаётся при переходе одного из внешних электронов в I группу, когда там освобождается один из двух уровней. Частота колебаний *K*-серии, определяемая изменением энергии электрона при таком переходе, непрерывно возрастает от элемента к элементу пропорционально квадрату порядкового номера.

В 1913 г. Мозели измерил частоты рентгеновых лучей различных рентгеновых серий, соответствующих переходу электронов на различные внутренние квантовые уровни. Нанося корни квадратные из частот как функцию атомного номера, Мозели получил ряд прямых, изображённых на чертеже (рис. 1). Переход от аргона к калию здесь ничем не отличается от следующего шага — к кальцию, несмотря на резкие отличия в химических свойствах,

Однако непрерывность прямых Мозели не противоречит периодичности системы Менделеева: и та и другая вытекают из общей квантовой теории атома и распределения электронов по квантовым состояниям, которое установлено для всех элементов системы.

Атом — это система электрических зарядов. Доминирующая роль электрического поля ядра, а не его массы, с полной очевидностью доказывается тем фактом, что изотопы, обладая одинаковым зарядом ядра, хотя и разными массами его, всё же почти идентичны по своим свойствам. Даже лёгкий водород и дейтон, атомные веса которых отличаются в два раза, трудно различимы химически.

Таким образом, можно утверждать, что периодическая система элементов имеет чисто электрическое происхождение. Заряд ядра определяет порядковый номер элемента, а задаваемое электрическим полем ядра распределение электронов по квантовым состояниям — все его физико-химические свойства.

Естественно возникает вопрос: какое же значение имеет атомный вес, который был путеводной нитью при составлении системы элементов и в котором Менделеев видел разгадку своего закона? Почему с увеличением атомного веса растёт и заряд ядра?

Понимание периодической системы не может быть полным, пока мы не выяснили свойств атомных ядер, в которых сосредоточена почти вся масса и вся энергия атома.

Здесь мы вступаем в новую область явлений, с новыми законами, ещё менее привычными и гораздо менее изученными, чем квантовая теория атомных электронов.

Что же мы знаем о составе атомного ядра?

С начала нашего столетия было известно, что процесс распада атомного ядра сопровождается выделением ядер гелия (α -лучи) или выделением электронов (β -лучи). С 1919 г. к ним присоединились ядра водорода — протоны.

Естественным казалось допущение, что ядра состоят из тех частиц, которые они выделяют при распаде, т. е. из протонов, электронов и их сочетаний в виде ядер гелия. Но законы квантовой механики не допускают

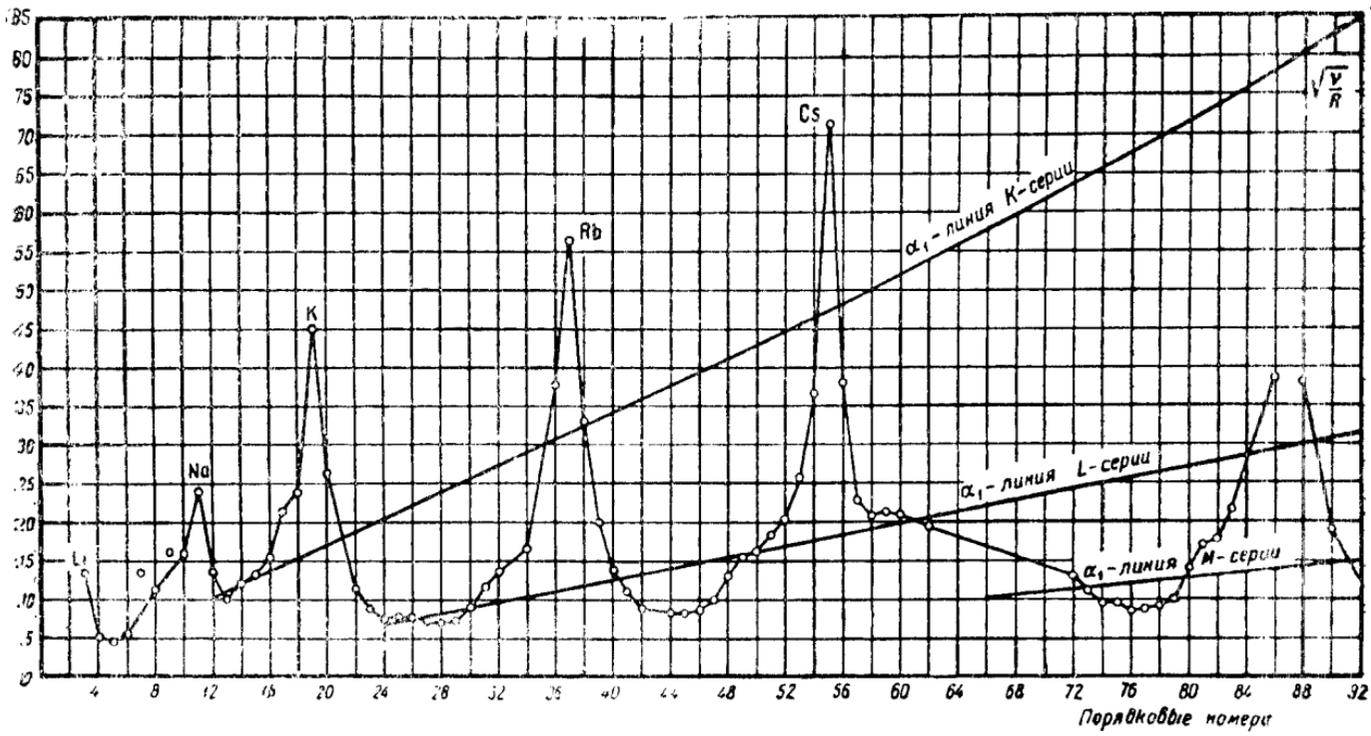


Рис. 1

присутствия в ядре таких лёгких частиц, как электроны, а опыт подтверждает это положение, так как неразрывно связанный с электроном магнитный момент отсутствует в атомном ядре.

Вскоре опыт обнаружил новую частицу — нейтрон, который позволил решить задачу о соотношении веса и заряда ядра помимо гипотезы о присутствии электрона в ядре. Такое объяснение было предложено Д. Д. Иваненко и разработано Гейзенбергом.

Нейтрон, как и протон, представляет собой частицу с массой, в 1835 раз превышающей массу электрона. От протона он отличается отсутствием заряда.

Ядра атомов состоят из примерно одинакового числа протонов и нейтронов, так что атомный вес, который определяется суммой тех и других, приблизительно вдвое больше порядкового номера элемента. Правильнее было бы сказать, что ядро состоит из определённого числа тяжёлых частиц, между которыми распределено примерно половинное число положительных зарядов. Можно ли внутри ядра различать протоны и нейтроны — неизвестно.

Казалось бы, такому представлению об атомном ядре противоречит факт испускания β -лучей радиоактивными элементами. Как же, действительно, ядро может излучать электроны, которых в нём нет?

Дело в том, что электрон создаётся в момент его испускания ядром. Такой ответ не покажется столь удивительным, если мы вспомним об излучении атомом светового фотона. Свет не находился в атоме до излучения, как электрон не находился в ядре. При переходе атомного электрона с более высокого энергетического уровня на более низкий избыток энергии излучается в виде фотона.

При перестройке атомного ядра, при переходе его в более устойчивое состояние освобождается некоторое количество энергии, которое сообщается создаваемым в этом процессе частицам.

Если перестройка ядра заключается в превращении одного из нейтронов в протон, или, иначе, в увеличении положительного заряда ядра, то равный ему отрицательный заряд уносит выделяющийся при этом электрон. Если же, наоборот, протон превращается в нейтрон, то

потерянный ядром положительный заряд уносится вылетающим позитроном.

Однако измерения показали, что электрон или позитрон уносят только часть той энергии, которая выделяется ядром. Видимо, нарушается и закон сохранения энергии и закон сохранения момента количества движения. Электрон или позитрон уносят определённый вращательный момент, не совпадающий с изменением момента ядра. Чтобы объяснить кажущееся нарушение законов сохранения энергии и момента количества движения, Паули ввёл гипотезу, согласно которой одновременно с электроном из атома вылетает ещё другая незаряженная частица — нейтрино, уносящая остаток энергии и вращательный момент. Испускание электрона или позитрона всегда сопровождается также вылетом нейтрино.

Отсутствие заряда и малая масса нейтрино делают его настолько проникающим, что его поглощения следует ждать с некоторой вероятностью только через много километров пути. А заметить нейтрино мы можем только тогда, когда он поглощается. Неудивительно поэтому, что нам не удаётся обнаружить его на пути движения. Но зато при вылете из атома нейтрино уносит с собой точно измеримые энергию, количество движения и момент количества движения, которые удалось обнаружить на опыте и которые позволяют судить о его реальности.

Отношение числа тяжёлых частиц к числу зарядов, или, другими словами, отношение атомного веса к порядковому номеру, не имеет строго определённого значения. Однако оно изменяется лишь в небольших пределах. Как только это отношение выходит за эти пределы, ядро становится неустойчивым, радиоактивным.

Радиоактивные излучения — это проявление процессов перестройки ядра, перехода его из неустойчивого в более устойчивое состояние.

Ядра с недостаточным зарядом, испуская электроны, увеличивают свой положительный заряд или же, теряя часть избыточных нейтронов, восстанавливают правильное соотношение между числом тяжёлых частиц и числом зарядов.

Ядра с избыточным положительным зарядом также неустойчивы; то один, то другой из таких атомов

выбрасывает положительный заряд в виде позитрона. Наблюдаются также случаи, когда ядро атома захватывает заряд одного из ближайших электронов, испуская нейтрино, и, таким образом, уменьшает на единицу свой положительный заряд. Таков, например, механизм образования аргона из калия или лития из бериллия.

На рис. 2 приведены все известные атомы — как устойчивые, так и неустойчивые. В горизонтальном направлении они расположены по величине заряда, в вертикальном — по числу нейтронов. Таким образом, атомы одного вертикального столбца — изотопы. Устойчивые ядра окаймляются неустойчивыми¹.

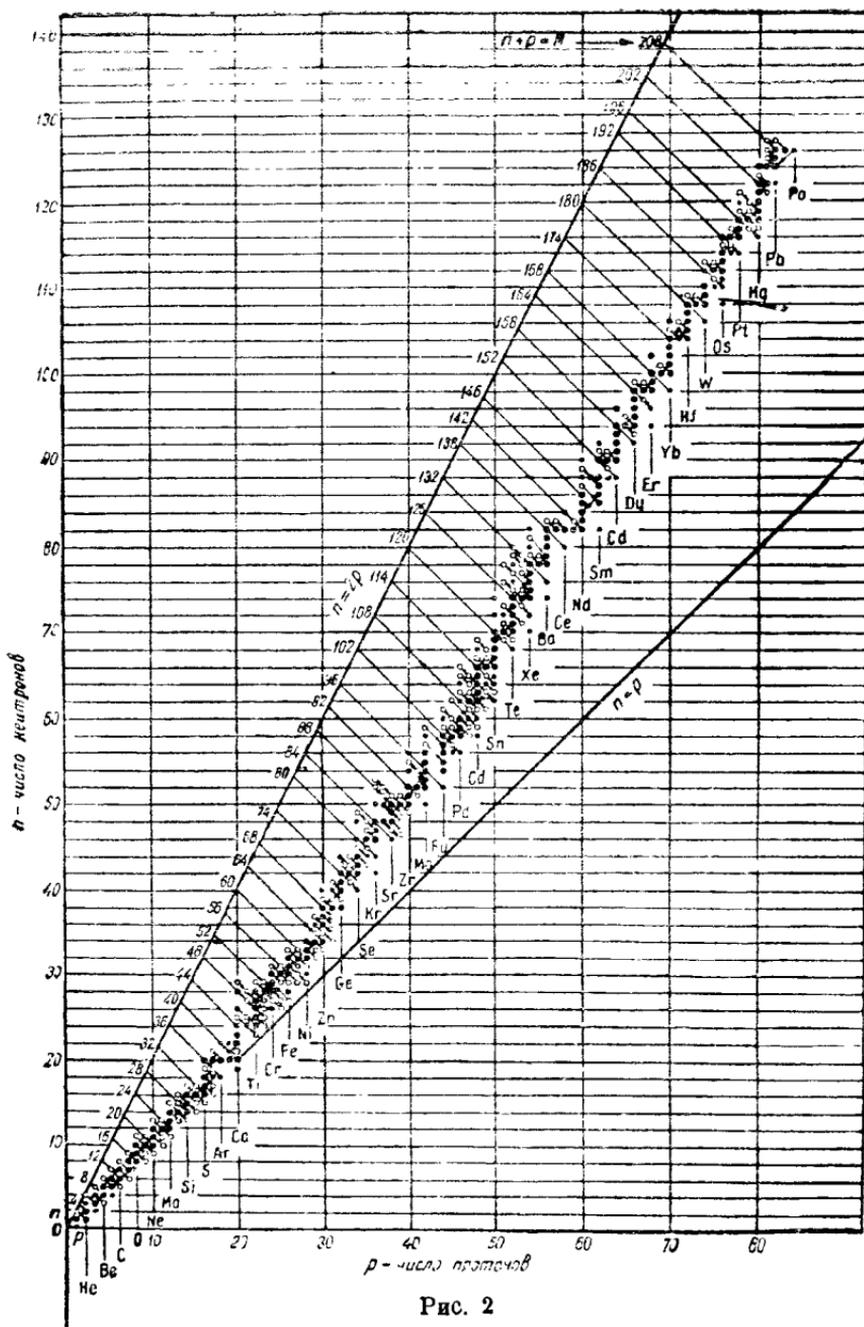
С увеличением числа частиц в ядре (к концу периодической системы) устойчивость ядер начинает падать, все изотопы элементов становятся радиоактивными. Кроме того под ударом нейтрона они разваливаются на два более лёгких осколка.

В последнем из известных элементов, одном из изотопов урана—235 тяжёлых частиц не сдерживают уже его 92 положительных заряда, и ядра урана 235 сами собой разваливаются, правда, в среднем раз в 10^{15} лет, но это знаменует уже конец периодической системы элементов. Ядра с 93 и 94 и даже с 95 и 96 зарядами можно создать искусственно, но они, как можно думать, распадаются ещё чаще и настолько неустойчивы при любом числе тяжёлых частиц, что должны были давно исчезнуть на Земле, если когда-то и существовали. В то время как наиболее устойчивый изотоп урана распадается наполовину только в 4.4 миллиарда лет, 94 элемент плутоний исчезает наполовину через 10 тысяч лет.

Этим можно объяснить тот факт, что периодическая система Менделеева обрывается на 92-м элементе.

О силах, связывающих частицы в ядре, мы знаем меньше, чем об их составе. Мы знаем, что ядерные силы не могут быть сведены к электрическим, как это имеет место в электронной атмосфере, окружающей атомное ядро. Ядерные силы одинаково связывают нейтроны и

¹ На рис. 2 чёрные точки означают стабильные ядра, светлые кружочки — радиоактивные ядра. Таблица доведена до полония (элемент № 84).



протоны и¹ подчиняются совершенно иным законам. В ядре мы имеем, однако, наряду с взаимным притяжением частиц ядерными силами электростатическое расталкивание его зарядов.

Наиболее точные данные мы имеем об энергии, заключающейся в различных ядрах. Мерой запаса энергии ядра служит его масса; умножив массу атома, выраженную в граммах, на квадрат скорости света, мы получим его энергию в эргах.

Так, мы можем утверждать, что ядро водорода при массе $1.67 \cdot 10^{-24}$ г обладает энергией в $1.5 \cdot 10^{-3}$ эргов, а ядро урана с атомным весом 235 — энергией в 0,35 эрга.

Атомный вес протона и нейтрона равен 1,008. Однако следующий элемент — гелий, состоящий из четырёх тяжёлых частиц, обладает атомным весом не 4,032 ($4 \cdot 1,008$), а всего 4,003.

Уменьшение атомного веса на 0,029 соответствует энергии в $4.3 \cdot 10^{-5}$ эргов, выделяющейся при образовании каждого ядра гелия из ядер водорода. Каждый грамм атом гелия выделяет при своём образовании $2.6 \cdot 10^{19}$ эргов, или $6 \cdot 10^8$ больших калорий, — в миллионы раз больше, чем самые бурные химические реакции.

Имеются основания предполагать, что именно это превращение водорода в гелий — основной источник энергии звёзд и в частности Солнца.

При образовании дальнейших элементов присоединением тяжёлых частиц каждая такая частица увеличивает атомный вес на единицу, а не на 1,008. Следовательно, каждое присоединение нового ядра водорода освобождает энергию, соответствующую атомному весу 0,008.

При более точном учёте атомные веса отличаются от целых чисел. Эти отступления, или «дефекты массы», хорошо измерены для большинства ядер. Сопоставление их обнаруживает некоторую правильность, точный расчёт которой нам ещё недоступен.

На кривой рис. 3 показана для всех атомов с атомными весами от 1 до 238 средняя энергия связи частиц, т. е. энергия, выделяющаяся при образовании атома из нейтронов и протонов, делённая на число частиц. Эту энергию можно рассматривать как некоторую меру устойчивости

Массовые числа

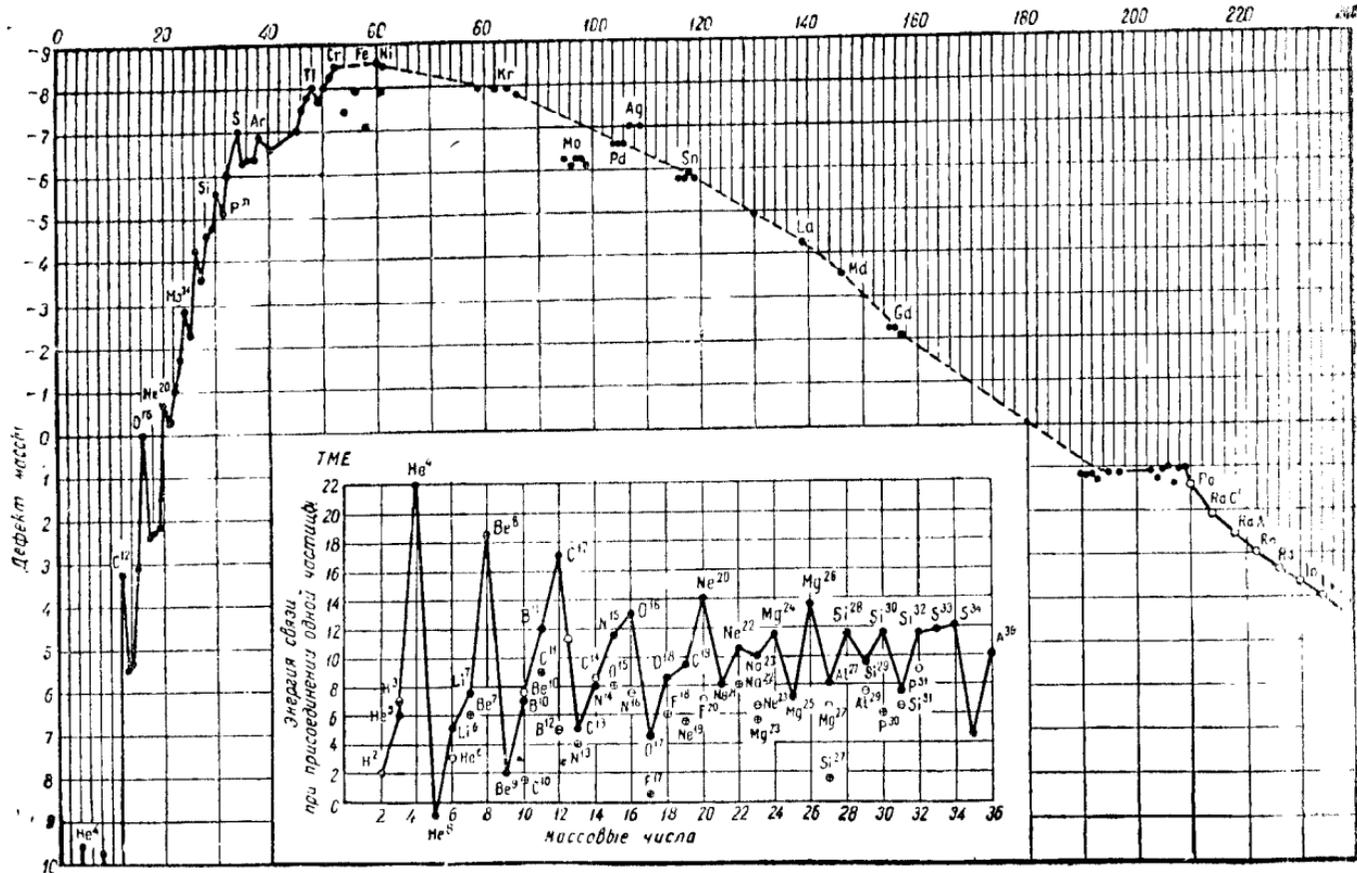


Рис. 3

атома. Все неустойчивые радиоактивные ядра расположены ниже кривой устойчивых. Наивысшее значение имеют атомы, близкие к железу.

Ещё нагляднее кривая, показывающая энергию, выделяющуюся при образовании ядра из предыдущего путём добавления одной тяжёлой частицы. На этой кривой, доведённой до атомного веса 36, чётко проявляется особая устойчивость ядер с атомным весом, кратным 4, что наводит на мысль об образовании в этих случаях ядер гелия внутри ядра.

Кривая носит явно периодический характер, но о физическом смысле этого нового периодического закона мы можем только догадываться.

Кривая дефектов масс позволяет предсказать энергетический эффект и направление процесса при любом превращении одних элементов в другие. Как и предвидел Менделеев, теплоты ядерных реакций определяются атомными весами.

Подобно тому как периодическая система элементов позволила Менделееву предугадывать свойства ещё не открытых элементов, кривая дефектов масс предсказывает в полном согласии с опытом результаты как известных, так и ещё не осуществлённых превращений элементов.

Мы умеем производить на опыте такую перестройку ядер, при которой происходит как выделение энергии отдельным ядром, так и изменение его состава, т. е. превращение элементов. Распад ядер урана, который достигается при бомбардировке их нейтронами, сопровождается выделением, например, до $3 \cdot 10^{-4}$ эргов на каждое ядро, или до $5 \cdot 10^9$ больших калорий на грамм-атом урана, в 100 млн. раз больше, чем при химических реакциях. Этот процесс привёл, как известно, к осуществлению атомной бомбы и обещает открыть новую эру технического прогресса.

Итак, периодический закон — уже не загадка. Но центр тяжести всей проблемы переместился в атомное ядро, где много ещё неясного. Так, мы знаем, что свинец с атомным весом 208 и 206 — результат распада урана и тория, что находимый в некоторых минералах гелий — также продукт распада радиоактивных элементов. Мы

подозреваем, что основной радио-уранин, то в атмосфере аргона и большой его массы вследствие того, что изотоп аргона с атомным весом 40 почти равномерно прерывается атомами калия с таким же атомным весом, ядра которых захватывают свои электроны, т. е. мы подозреваем, что наш аргон — бывший калий. На примере урана мы узнали новый вид ядерных процессов — распад тяжёлого ядра на два более лёгких. Этот процесс сопровождается выделением энергии. С другой стороны мы видели, что и протекающий в недрах звёзд обратный процесс объединения четырёх ядер водорода в ядро гелия выделяет почти столько же энергии.

Бор и Уиллер вычислили изменение энергии при расщеплении тяжёлого ядра на два осколка. Оказалось, что в то время, как для элементов второй половины периодической системы расщепление идёт с выделением энергии тем большей, чем выше атомный номер, элементы первой половины требуют затраты энергии. Здесь энергетически выгодным является обратный процесс — процесс соединения двух лёгких ядер в одно более тяжёлое.

Соответственная построения Бором и Уиллером кривая даёт энергетический эффект, связанный с синтезом или распадом ядер. Вместе с кривой дефектов масс она приоткрывает завесу, скрывающую историю происхождения элементов, и дополняет и радиогенную систему Менделеева.

От этих отдельных догадок до полной теории происхождения и распространённости элементов периодической системы ещё далеко. Мы не знаем природы сил, связывающих тяжёлые частицы между собой (хотя и определили численное значение константы, характеризующей эти силы), и только подозреваем, что ядерные силы обязаны участию недавно обнаруженных в космических лучах мезонов — заряженных частиц с массой, промежуточной между массой электрона и протона.

Наибольшая концентрация энергии наблюдается в самом тяжёлом атоме — уране. Между тем в космических лучах встречаются частицы с энергией в 10 000 раз большей. Каково их происхождение?

И, наконец, мы не знаем природы сил, связывающих тяжёлые частицы (которые определяют атомный вес) с зарядом, т. е. с атомным номером. А между тем это и есть существо периодической системы.

Проблема, поставленная Менделеевым в 1869 г., ещё не решена полностью. Будем надеяться, что физики и химики дадут со временем полное её освещение. А для этого нужно развивать и усиливать атаку на атомное ядро. В глубине атома мы найдём корни того дерева, которое было посажено Дмитрием Ивановичем Менделеевым и которое принесёт ещё немало плодов.

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЕЕВА В СВЕТЕ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ¹

Академик *А. Е. Ферман*

«Как одно из недавних, но выдержавших лабораторную проверку, научных обобщений, как инструмент мысли, ещё не подвергшийся до сих пор никаким видоизменениям, периодический закон ждёт не только новых приложений, но и усовершенствований, подробной разработки и свежих сил».

Д. И. Менделеев.

1. Введение

В своей гениальной «Диалектике природы» Фридрих Энгельс сказал крылатые слова:

«Менделеев, применив бессознательно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил научный подвиг, который смело можно поставить рядом с открытием Лавуазье, вычислившего орбиту ещё неизвестной планеты — Нептуна».

Этому научному подвигу, одному из величайших во всей истории науки, и посвящён мой анализ. Величие его — в небывалой простоте, которую можно сравнить лишь с простотой идеи мирового тяготения, родившейся в уме Исаака Ньютона. Лишь в итоге огромного творческого труда ряда поколений постепенно выясняется, что оба эти закона имеют фундаментальное значение; содержание же их до конца и доныне ещё не вскрыто даже после упорных теоретических и экспериментальных исследований последних лет.

Действительно, что может быть на первый взгляд проще самого рождения периодического закона.

Молодой, полный горячности и творческой энергии, талантливый химик готовится к ответственному курсу общей химии в Петербургском университете. Он обдумывает план своего курса, ищет путь к наиболее ясному и логичному изложению свойств тех 60 с лишним

¹ Доклад, прочитанный на собрании Отделения истории и философии Академии наук СССР 29 ноября 1940 г., посвящённом 120-летию со дня рождения Ф. Энгельса.

химических элементов, которые ему известны и из которых составлена окружающая его природа. Он собирает огромный литературный материал: фолианты трудов Лавуазье и точные цифры многоатомной химии Берцелиуса служат для него путеводной звездой; он собирает материалы обо всех известных тогда простых веществах; они отличаются друг от друга характерными индивидуальными чертами: атомным весом, удельным объёмом, цветностью, растворимостью и т. д. Все они независимые, самостоятельные звенья мира, кирпичики мироздания; между ними можно видеть как ряд сходных черт, так и крупные, существенные различия. Среди этого хаоса различных свойств, среди нагромождения ошибок ещё весьма несовершенных научных методов Менделеев ищет закономерностей в сходстве и в различии элементов. Он раскладывает на столе карточки с написанными на них названиями элементов, их атомным весом и характерными свойствами и очень скоро замечает совершенно простое и очевидное явление: элементы, расположенные по восходящим атомным весам, за немногим исключением, изменяются в определённом порядке, но так, что через некоторое определённое число элементов, 7 или 17 (мы теперь говорим 8 или 18), общие черты элементов начинают повторяться, а изменчивости свойств кладётся некоторый предел их периодичностью.

«...Сомневаясь во многих неясностях, я ни на минуту не сомневался в общности сделанного вывода, так как случайности допустить было невозможно», — говорил Менделеев.

Но простота решения этой задачи в исторической перспективе является только кажущейся. Стоявшие перед Менделеевым трудности в расположении карточек были гораздо большими, чем можно думать. Прежде всего, из тех 92 элементов, о которых мы сейчас говорим, ему были известны только 64, но о 7 из них он мог говорить лишь условно, без достаточных фактических данных. Сами атомные веса, которые он положил в основу своей системы, в ряде случаев были определены неточно, а иногда даже совершенно неверно. Нужна была необычайная смелость, чтобы исправить атомные веса для 10 элементов (урана, бериллия, индия, платины, осмия, $\frac{1}{2}$ протия,

титана, тория, церия и втретия); надо было быть ещё более смелым, чтобы оставить в своём ряде свободные места и этим обеспечить стройность системы. Надо было быть уверенным в своей правоте, чтобы на основании расстройения пустых мест в периодической системе так смело и точно предсказать существование ещё не известных элементов, которые затем были открыты: скандий, галлий, германий, а позднее гений и мазурий¹. Наконец, Менделееву надо было нарушить в некоторых случаях установленный им же самим порядок увеличения атомных весов и поставить кобальт перед никелем, теллур перед подом, а позже — аргон перед калием. Словом, в ряде случаев надо было идти наперекор имевшимся фактам, не говоря о том, что надо было выступать и против старых традиций школы Лавуазье с её формально-субъективистским подходом к понятию о химическом элементе.

Так создавался периодический закон Менделеева. Но этот закон не только выявил внешний порядок в системе элементов природы, — он в сущности по-новому выразил идею о единстве вещества и, против воли самого творца закона, открыл общность и внутреннюю связь химических элементов между собой, причём это была не ствлечённая идея философской мысли тысячелетий, а реальный вывод из точных наблюдений природы: независимому, самостоятельному существованию 60 элементов был положен конец.

Но надо было, чтобы прошло почти полвека, пока периодический закон Менделеева, родившийся прежде всего как эмпирическое обобщение фактов, как неизбежное следствие из них, превратился в величайший и глубочайший закон о строении вещества.

От простого пасьянса с отдельными карточками и гениального по простоте замысла Менделеева до современных представлений о периодической системе элементов — целая пропасть. Менделеевская таблица — глубочайшее выражение самых сложных природных

¹ С открытием элемента 43, названного сначала мазурием, дело обстояло сложнее. Элемент 43 оказался не стабильным. Он был получен позднее искусственным путём с помощью ядерных реакций при бомбардировке атомов молибдена нуклонами или дейтронами, а также атомов ниобия альфа-частицами. — *Ред.*

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА (ПО ДАННЫМ 1940 г.)

18	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	1 H Водород																	He Гелий
2	3	4	5	6	7	8											9	10
He Гелий	Li Литий	Be Бериллий	B Бор	C Углерод	N Азот	O Кислород											F Фтор	Ne Неон
10	11	12	13	14	15											16	17	18
Ne Неон	Na Натрий	Mg Магний	Al Алюминий	Si Кремний	P Фосфор											S Сера	Cl Хлор	Ar Аргон
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Ar Аргон	K Калий	Ca Кальций	Sc Скандий	Ti Титан	V Ванадий	Cr Хром	Mn Марганец	Fe Железо	Co Кобальт	Ni Никель	Cu Медь	Zn Цинк	Ga Галлий	Ge Германий	As Мышьяк	Se Селен	Br Бром	Kr Криптон
36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Kr Криптон	Rb Рубидий	Sr Стронций	Y Итрий	Zr Цирконий	Nb Ниобий	Mo Молибден	Mn Марганец	Ru Рутений	Rh Родий	Pd Палладий	Ag Серебро	Cd Кадмий	In Индий	Sn Олово	Sb Сурьма	Te Теллур	I Йод	X Свинец
54	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
X Ксенон	Cs Цезий	Ba Барий	TR Ред.зем.	Hf Гафний	Ta Тантал	W Вольфрам	Re Рений	Os Осний	Ir Иридий	Pt Платина	Au Золото	Hg Ртуть	Tl Таллий	Pb Свинец	Bi Висмут	Po Полоний	№ 85 Астатин	Rd Радон
86	№ 87	88	89	90	91	92												
Rd Радон	Виргиний	Ra Радий	Ac Актиний	Th Торий	Pa Протактиний	U Уран												

TR: 57 La 58 Ce 59 Pr 60 Nd № 61 62 Sm 63 Eu 64 Gd 65 Tb 66 Dy 67 Ho 68 Er 69 Tm 70 Yb 71 Cp
Лантан Церий Празмид Неодимий Иттрий Самарий Европий Гадолиний Тербий Диспрозий Гольмий Эрбий Туламий Иттербий Кассиопей

закономерностей, а не просто список элементов, расположенных в порядке некоторых определённых физических и химических свойств. В основе этой таблицы лежат естественный закон, выражающий внутреннюю связь между элементами, между их свойствами, количеством и распределением вещества в окружающей нас природе, закон, которому подчиняются процессы миграции, строения и рассеяния химических элементов на сложных путях преобразования миров. В глубочайшем синтезе современной физической и химической мысли рождается всё более глубокое и точное понимание менделеевской таблицы, ведущее на каждом шагу к новым открытиям.

2. Исторические пути

«Земля ограничена, а знаниям грани не предвидится. Поэтому и промышленность, соединившись со знаниями и науками, обещает развиваться безгранично».

Д. И. Менделеев.

В этой статье невозможно во всём охвате исторической перспективы обрисовать отдельные этапы той многовековой научной работы, которая — начиная с индийских и греческих философов, арабских алхимиков и кончая гениальными представлениями Дальтона и концепциями шведского химика Берцелиуса — привела Д. И. Менделеева к открытию периодического закона. Исторический анализ этого процесса (прекрасно сделанный в новой работе Б. М. Кедрова¹) отвлек бы нас от основной задачи; но всё же очень важно отметить несколько главных моментов, предшествовавших тем историческим годам — 1869—1870, — когда были установлены последние факты и сделаны обобщения, приведшие к открытию нового закона природы.

¹ Речь идёт о работе Б. М. Кедрова «Пути познания химического вещества», которая была включена в I т. «Учёных записок» Института философии Академии наук СССР. (Том был набран, но не вышел в свет в связи с начавшейся войной. — *Ред.*)

Более двух тысяч лет шла борьба за представление о сущности так называемых кирпичей мироздания, за самое понятие первичной формы материи, за идею единства в многообразии и многообразия в единстве различных видов вещества. Сначала это были только четыре элемента — качества единого субстрата в ещё очень отвлечённых представлениях Аристотеля, потом таковыми стали считаться 9 уже более определённых, характерных химических элементов (преимущественно металлов) древнего мира; число их очень медленно увеличивалось в течение многих столетий вплоть до конца XVIII в., когда мы наблюдаем появление в естествознании точных фактов и новых понятий. В годы революционного перелома науки и общественной мысли, на грани XVIII и XIX вв., понятие об элементе делается предметом и многочисленных экспериментальных исследований и философской борьбы. Вскоре уже около 30 химических элементов как химически неделимых, простых веществ оказывается в руках химиков. Их число растёт по мере развития методов химического исследования и изучения минералов, особенно Скандинавии, сложных руд Саксонии и Семиградья; этот рост, вытекавший в основном из успехов горного дела, так расширял старые списки, так увеличивал число химически неразложимых веществ — этих единиц мироздания, что, казалось, грозил окончательно сломать сложившиеся натурфилософские представления о простоте окружающей природы и единстве материи.

Поэтому исторически совершенно понятно, что как протест против растущего количества неделимых химических элементов явились попытки пересмотреть самое понятие «химический элемент» и снова вернуться к идее единства вещества, критически пересмотрев формальные положения Лавуазье.

Такова была та обстановка, когда анонимно, в острожной форме, английский врач и химик У. Праут в 1815 г. высказал мысль о том, что все элементы состоят из одного первичного вещества — протипла. Эта мысль как будто подтверждалась и общим анализом атомных весов; она вытекала из общих натурфилософских представлений, стремившихся уменьшить число первичных элементов природы.

[Однако эта гипотеза шла вразрез с экспериментальной школой химии того времени, которая, следуя за Лавуазье, не могла воспринять этих идей, связанных с ломкой установившихся представлений о неразложимости самого элемента.

Начатая точная экспериментальная работа показала, что лишь в первом приближении Праут был прав и что расхождения между атомными весами и целыми числами были слишком велики, чтобы считать их ошибками опыта; его идея была официально отвергнута, но умереть она не могла: независимость отдельных элементов была поколеблена, и в разных странах и в разных научных школах начинаются поиски взаимоотношений между известными тогда элементами природы. Пусть эти взаимоотношения будут чисто формальными, но что-то общее есть, и это «что-то» надо найти. Так зародилось сначала в голове химика Деберейнера правило триад (1817—1829 гг.). Работы продолжались потом во Франции и Англии: Ж. Б. Дюма распределил элементы на группы, пытаясь выразить их отношения определёнными формулами (1857 г.); Кремерс (1852 г.), Гладстон (1853 г.), Кук (1854 г.), Гиприкс (1856 г.), М. Петтенкофер (1850 г.) и ряд других постепенно намечали отдельные зависимости; наконец, настоящие зачатки периодической системы мы встречаем у Одлинга (1857 г.), у Ленсена (в том же году), Шанкуртуа (1863 г.), Ньюлэнда (1865 г.) и Лотара Мейера (1864 г.).

Первый Международный химический съезд в Карлсруэ в 1860 г. дал новый толчок к поискам соотношений между элементами. Блестящие, строго логичные идеи молодого итальянского химика Каницаро, естественно, привлекли к себе внимание молодых слушателей, среди которых был и Менделеев. Менделеев вернулся со съезда убеждённым, что есть какие-то великие законы, об открытии которых он мечтал ещё на студенческой скамье.

Но прошло ещё почти 10 лет, пока это подсознательное убеждение не привело его в марте 1869 г. к первой формулировке периодического закона, доложенного в собрании только что организованного объединения русских химиков в Петербурге:

«... Свойства простых тел, также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости... от величины атомных весов элементов»¹.

Контуры закона установлены. Найдены связующие звенья между отдельными химическими элементами, одержана победа в борьбе за единство вещества. Казалось, что идеи Праута восторжествовали, что старые представления о превращениях элементов получили новое экспериментальное доказательство.

Но широта и смелость этих выводов казались творцу новой системы слишком преждевременными: для глубокого философского подхода, для более глубокого физического понимания закона вопрос не созрел. Менделеев, опасаясь, повидимому, того, что увлечение новыми философскими перспективами отвлечёт химиков от экспериментальной разработки периодического закона, возражал против этих выводов; вся его многолетняя борьба против углублённого понимания своего же закона вытекала из той исторической обстановки, в которой родился закон, когда не было ни тех методов, ни тех фактов, которые могли бы обосновать это новое толкование; только в историческом анализе нам делаются понятными слова Менделеева: «...Периодический закон... создан совершенно помимо какого-либо представления о природе элементов, не вытекает вовсе из понятия об единстве их материи, исторически с этим остатком классических мучений мысли вовсе не связан»².

А между тем новые толкования всё сильнее захлёстывали ограниченную трактовку периодического закона; нахлынувшие новые завоевания физики и химии заставили отказаться от прежнего толкования, и сам Менделеев, хотя медленно и постепенно, но отходил от своих первоначальных позиций, осторожно видоизменяя их содержание и подготавливая новые формулировки.

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 265 и 321. (Формулировка, данная в первой статье Менделеева, зачитанной на заседании Русского химического общества в марте 1869 г., гласила: «Элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную периодичность свойств». — *Ред.*)

² Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, М.—Л. 1934, стр. 171.

Нет никакого сомнения, что в анализе творчества Менделеева проблема этой внутренней коллизии получит своё освещение; в свете исторического развития всего мировоззрения химиков XIX в. будут разгаданы причины и история той внутренней борьбы, которая происходила в мировоззрении Менделеева. Эта борьба свидетельствовала о назревшей необходимости перехода от формальных схем старой химии к новому, диалектическому пониманию окружающего мира.

Но не эта сторона вопроса интересует нас сейчас. Нам важно углублённое понимание самого закона в свете современной науки. Нам важно понять, какими путями эволюционировал этот закон у самого Менделеева и даже против его воли. Переходим поэтому к вопросу об эволюции периодического закона за последние 50 лет.

3. Эволюция содержания

«...Нет ни одного сколько-либо общего закона природы, который бы основался сразу; всегда его утверждению предшествует много предчувствий, а признание закона наступает не тогда, когда зародилась первая о нём мысль, даже не тогда, когда он вполне сознан во всём его значении, а лишь по утверждении его следствий опытами».

Д. И. Менделеев.

Величие закона Менделеева заключается в том, что он не представляет застывшей формы, ортодоксальной схемы, а обладает внутренней способностью к эволюционному развитию. Новые факты и новые научные течения не опрокидывают его, не заменяют его новым законом, а неизменно уточняют его форму, расширяют его содержание, вкладывают в его формулировку новые толкования, дополняя и углубляя его гениальный смысл.

Именно в этом историческом процессе эволюции закона мы видим его роль как в науке наших дней, так и в науке будущего.

Сам Д. И. Менделеев подробно рассказал о том, как работала его мысль в поисках тех координат, которые могли бы дать естественную систему природы. На каких

свойствах и на каких константах обосновать эту систему? Перебрав ряд изменчивых черт отдельных атомов, Менделеев останавливается на *атомном весе*, считая, что это наиболее постоянный, неизменный признак элемента. Расположив в порядке повышения атомного веса все известные в то время элементы, он подметил, что многие химические и физические свойства элементов закономерно изменяются с возрастанием атомного веса и в то же время через определённое число элементов наблюдается повторение свойств.

Таким образом, сразу наметились два главных понятия, лежащих в основе менделеевской таблицы: определённая *последовательность* и наличие в этой последовательности отдельных отрезков, т. е. *периодичность*. Так как атомный вес, по которому расположены были элементы, не подчинялся периодичности, то логически вытекало и второе положение: что одни свойства не обнаруживают периодического хода, тогда как другие — и их было большинство — подчиняются закону периодичности. Как мы увидим в дальнейшем, эта двойственность природных свойств атома легла в основу всех наших современных представлений о строении вещества.

Далее, из того же положения вытекала возможность изобразить намеченную закономерность на некоторой плоскости в виде таблицы с двумя координатами — горизонтальными периодами и вертикальными группами. В этой системе двух координат, как в обычных наших графических построениях, каждый элемент получил своё определённое место, занял свою *клетку* таблицы. Это место определяло не только чисто пространственное положение элемента в таблице, но оно тем самым определяло и свойства элемента и его соединений и его *взаимоотношения* с другими элементами таблицы. Такое толкование роли *места элемента* в периодической системе было принято самим Менделеевым, но внутренний смысл «клетки» был открыт значительно позже: почти четверть века ушло на углублённое изучение и уточнение отдельных деталей, из которых таблица сложена.

Основные шаги в понимании *места* были сделаны физиками на грани нашего столетия, когда идеи, выдвинутые Дж. Дж. Томсоном, привели Резерфорда в Англии (1911 г.)

и Нильса Бора в Дании (1913 г.) к новой концепции строения атома; эта концепция была заимствована из аналогии с нашей солнечной системой и заключалась в том, что всякий атом состоит из некоторого положительного ядра и отрицательно заряженных электронов, вращающихся по сложным орбитам вокруг этого ядра. Чисто математически решалась задача, как должны быть расположены эти электроны: по каким орбитам, в каких ячейках, в каких плоскостях, — но так, чтобы сумма свободной энергии системы в целом была минимальной. Таким образом, поставленная задача привела к созданию новой модели атома. По существу эта модель родилась из самого периодического закона, но, будучи проверенной путём анализа оптических спектров, она в свою очередь послужила гениальным обоснованием периодического закона.

Оказалось, что эта модель позволяет с достаточной точностью говорить о *строении атома*. Довольно сложно построенная на четырёх так называемых квантовых числах, она не только разгадала в точности природу как сверкающих, так и не видимых невооружённым глазом линий спектров элементов, но и раскрыла физическое содержание периодического закона: *место* определялось *строением*. Очевидно, смысл этого положения заключался в том, что природа в каждом данном случае как бы выписывала такую систему, которая была бы более устойчивой, т. е. содержала бы меньше свободной энергии. Количественно и качественно это неизбежно приводило к закону периодичности как наилучшему выражению энергетической устойчивости атома. Решающей становилась величина заряда ядра.

Надо было сказать это последнее слово. Его в виде гипотезы высказал голландец Ван-дер-Брек, к нему подходил Нильс Бор в своих исканиях, но настоящим образом сформулировал в 1913 г. новое построение только молодой англичанин Мозели, погибший в первую мировую войну.

Блестящее решение задачи заключалось в необычайно простой мысли: порядок расположения элементов в менделеевской системе есть последовательность величин зарядов ядра атомов; следовательно, эта система должна

следовать ряду простых чисел от единицы до 92. Мозели даже вывел эти числа из очень простого уравнения. Оказалось, что не атомный вес определяет положение элемента в системе, даже не строение атома, а величина *заряда ядра*. Правильное распределение элементов в таблице Менделеева (за некоторыми исключениями), хотя и построенной на не совсем точной исходной идее, объясняется тем, что атомный вес в общем увеличивается одновременно с самим зарядом.

Оказалось, что место элемента в таблице определяется не атомным весом, не комплексом химических свойств атома, даже не строением атома, а зарядом его ядра, простым числом, названным *номером элемента*. Гениальная простота придала математическую точность всей менделеевской таблице. Это число выводилось экспериментально, являясь квадратным корнем из частоты колебаний характеристических линий рентгеновского спектра. Так поразительно просто была решена задача.

Внутреннее содержание менделеевской таблицы постепенно эволюционировало. Её фундамент начал закладываться в период господства ньютоновских идей и идей Лавуазье, в связи с механическими представлениями об инерции и массе, которые постепенно заменялись новыми представлениями о некоторой сложной электромагнитной системе, и, наконец, сейчас она вырисовывается в свете современных идей волновой механики во всех своих деталях, во всей своей стройности и вместе с тем во всей сложности ещё не решённых проблем.

Подожли ли мы к последнему этапу в понимании содержания менделеевской таблицы? Конечно, нет.

Представление об атоме как о планетарной системе, состоящей из ядра и вращающихся вокруг него электронов, есть также лишь упрощённое представление; и сами ядра, и электронные оболочки, и вся эта грандиозная «пустота», лежащая между маленьким ядром и далеко затерянными в окружающем его пространстве и всё же неизменно кружащимися вокруг него электронами, — всё это лишь первое, ещё довольно грубое приближение к действительности; таким же приближением являлись наши представления о планетах, вращающихся вокруг солнца. И солнце, и планеты, и весь звёздный мир выри-

совпадают сейчас во всей сложности их состава и свойств; точно так же уже сейчас оказываются весьма сложными и те отдельные единицы, из которых построен атом, по современным представлениям. Попытки упростить схему строения атома привели лишь к её усложнению.

Так, в ходе исторического анализа законов природы появляются всё новые и новые успехи в понимании природы. Постепенно, шаг за шагом приближается наша мысль к пониманию причин природных явлений, и нужна ещё большая и напряжённая исследовательская работа, чтобы подняться на новый, но опять-таки не последний этап в представлениях о природе вещества. Такова диалектика научной работы.

4. Эволюция формы

«Периоды элементов... это — точки, числа. это — скачки массы, а не её непрерывные эволюции».

Д. И. Менделеев.

Мы рассмотрели выше эволюцию внутреннего содержания закона. Рассмотрим теперь и внешнюю форму его выражения. Она, как и внутреннее его содержание, переживала в течение последних 70 лет свою эволюцию.

Как мы говорили, внешним выражением периодического закона Менделеева была *таблица*, т. е. распределение всех изучаемых объектов, а в данном случае химических элементов, по двум координатам на плоскости. Помимо чисто внутреннего изменения содержания самой таблицы, исправления её структуры и даже коренных дополнений, например, новой, нулевой, группы, эта таблица в течение прошедших 70 лет пережила около 80 различных попыток вариаций, стремившихся отобразить внешне в более совершенной форме выражаемые ею основные закономерности периодического закона. Среди этих многочисленных, иногда очень остроумных, попыток, сделанных в разных странах мира, были попытки перейти от двух координат к более сложным — трёхмерным системам: от плоской спирали — к винтовой нарезке на поверхности

конуса, от плоскости — к пирамиде, к цилиндру, к двум связанным между собой спиралью и т. д.

При всей изобретательности некоторых авторов этих попыток ни одна из них по существу не внесла ничего принципиально нового. В отдельных, частных, случаях они оказались более удобными для выражения тех или иных периодических свойств. Для нашего изложения общих физических и геохимических проблем мы ограничиваемся обычно лишь одним современным типом таблицы — таблицы, развёрнутой на длинные периоды. В этом развёрнутом виде таблица намечалась ещё Д. И. Менделеевым, хотя более обычной, вошедшей в обиход нашей высшей и средней школы, является таблица сдвоенная (короткая), имеющая ряд положительных сторон при преподавании химии, но, по мнению физиков, не вполне отвечающая современным представлениям об электронном строении атома¹.

Попытаемся проникнуть в структуру нашей таблицы. Как видно, она состоит из большого количества отдельных *клеток*: их около 100. Как мы говорили выше, во времена Менделеева достоверно известно было более 60 элементов, в том числе 7, положение которых было не вполне выяснено за отсутствием достаточных фактических данных². В настоящее время мы знаем, что реально в этой таблице может быть занято 92 без 14, т. е. 78 клеток. Я не буду останавливаться на объяснении этого. Из этих 78 клеток оставались до последнего времени незаполненными клетки № 85 и № 87 и одно из мест редкоземельных элементов, отвечающее № 61. В результате исследований последних лет как будто заполнены и эти клетки, особенно первые две, так как удалось искусственно получить из других элементов, в частности из висмута, не очень долговечные, но, повидимому, вполне реальные атомы с порядковыми номерами 85 и 87. Летом 1940 г. радиологу В. Миндеру в Берне, повидимому, удалось доказать наличие № 85 в продуктах распада актиния.

¹ Указанное мнение неверно (см. 5-й раздел статьи Б. М. Кедрова, «Химические понятия в свете менделеевского наследства», в этом сборнике. — *Ред.*).

² См. таблицу на стр. 33 данной книги. — *Ред.*

Разбор любой таблицы, состоящей из какого-либо ряда чисел, предполагает прежде всего рассмотрение начала и конца этого ряда. В менделеевской таблице первое место занимает водород с атомным номером 1, так как электрический заряд его ядра равен 1, следовательно, до водорода могла бы стоять лишь частица с зарядом, равным нулю. Резерфорд ещё 20 лет тому назад предсказал возможность открытия такой частицы и подчеркнул, что она должна обладать сказочными свойствами: быть настоящей материальной частицей и свободно проникать внутрь вещества. В своих предсказаниях Резерфорд был гениально прав: эта частица была открыта, получила название нейтрона; вместе с такими частицами, как квант и электрон, она не находит места в менделеевской таблице и является одной из так называемых элементарных частиц, из которых складывается вещество. Нейтрон поэтому лишь условно может считаться как бы нулевым элементом менделеевской таблицы.

Более сложен вопрос об её конце. Замечательные работы итальянского радиолога Ферми как будто открыли возможность существования трансуранов, т. е. элементов, расположенных вправо от урана (№ 92), в конце ряда элементов менделеевской таблицы. Современные данные о радиоактивных и искусственно получаемых радиоактивных веществах до последнего времени как будто ничего не говорили против того, что при известных условиях возможно возникновение таких атомов, которые будут располагаться непосредственно за ураном, может быть № 93 и 94, и которые мы, по аналогии с терминами Менделеева, могли бы назвать экаурением и экаосмием ¹. Однако новые идеи о расколе атомов урана и тория, повидимому, противостоят этому представлению, тем более что все наши

¹ Элементы № 93 и 94 нельзя считать аналогами рения и осмия, так как они являются начальными членами нового ряда («уранидов»), аналогичного ряду редких земель и начинающегося непосредственно вслед за ураном. Существование такого ряда предвидел ещё в 1921 г. Нильс Бор (см. его «Три статьи о спектрах и строении атомов», Гиз, 1923, стр. 132, рис. 5). Однако Бор полагал, что новый ряд начнётся не непосредственно после урана, а после элемента № 93. В последнее время высказано предположение, что указанный ряд, аналогичный редким землям, начинается с актиния, а потому может быть назван рядом «актининов». — *Ред.*

знания о веществе говорят о том, что, начиная примерно с № 84, устойчивость атомов является недостаточной для длительного существования их на земле. Чем больше усложняется строение самого ядра, чем больше электронных облаков окружает громоздкие ядра, тем менее вероятной является и реальность, и устойчивость, и долговечность такой системы. Это не значит, что она невозможна при каких-либо других термодинамических условиях, далёких от последующей нами части природы, но всё же пока несомненно, что менделеевская таблица в условиях окружающей нас природы заканчивается № 92¹.

Таким образом, сейчас таблица может считаться состоящей из 78 клеток, в одной из которых помещается 15 номеров, всего 92 химических элемента, с чётким началом и с менее чётким концом.

Пойдёмте дальше в анализе нашей таблицы. Что сейчас представляет собой *клетка*? Понятие о клетке было необычайно простым и ясным во времена Менделеева. В каждой клетке, за исключением только клетки редких земель, располагается один элемент с определёнными свойствами, со строго определённым атомным весом, со всей индивидуальностью, которая ему присуща. В клетке, например, обозначенной на таблице № 50, помещён один элемент — олово. Его атомный вес, по определению самыми тщательными методами лучших химиков, равен 118,7, его основные физические константы измерены с точностью до трёх и более десятичных знаков. Сама клетка характеризует собой природу элемента, его свойства, его положение в системе, его соотношения с соседями справа и слева, сверху и снизу. Вопрос казался совершенно ясным и как будто не подлежал никакому изменению. А между тем оказалось, что всё это совершенно не так.

В клетке содержится не одна, строго определённая атомная постройка, а несколько разновидностей, — общим для всех них является только заряд ядра; внутренняя же группировка сил, а также масса, или атомный вес, могут быть довольно различными. Следовательно,

¹ В течение 1940—1945 гг. были получены четыре трансураниевых элемента с порядковыми номерами 93, 94, 95 и 96, так что сейчас можно говорить уже не о 92, а о 96 химических элементах, охватываемых периодической системой Менделеева. — *Ред.*

клетки объединяют в себе группу сходных между собой построек, тождественных по своему заряду, так называемых *изотопов*. Количество этих изотопов растёт с каждым годом и в настоящее время достигает 300 для природных и гораздо большего числа (до 700) для известных искусственных атомов.

Вместо единого элемента в каждой клетке получается *плеяда разновидностей атомов*; так, в нашем примере олова в клетке № 50 содержится десять разновидностей атомов с массой: 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122 и 124, причём численные соотношения изотопов в смеси показываются в общем строго определёнными; так, на долю изотопа 120 приходится больше 28%, 118—22,5%, 116—15,5%, а на долю 115 — только 0,4% и т. д.

Таким образом, усложнилось формально и по существу понятие о клетке в таблице Менделеева; открытие изотопов показало, что одно место объединяет целую плеяду атомов с различными атомными весами, а те атомные веса, которые были положены в основу самой менделеевской таблицы, оказались лишь некоторыми средними числами из большого количества разных атомных весов.

До последнего времени считалось, что для химика в сущности это новое представление о клетке, например о многочисленных разновидностях олова, не представляет значения, ибо химические свойства определяются в первую очередь лишь самой клеткой, т. е. её номером. Однако и этот концентр представлений стал разрушаться на наших глазах: так, прежде всего постоянство соотношений изотопов в плеяде оказалось лишь первым приближением. Тончайшие анализы, проведённые в разных областях, показали, что в некоторых случаях колебания достигают 5% для обычных элементов, а в частных случаях, например свинца или стронция, могут встречаться коренные отклонения от среднего обычного состава смеси; так, могут быть почти чистые разновидности свинца одного атомного веса в одном месте и почти чистые свинцы другого атомного веса — в другом. Значит, точность понятия о постоянстве среднего атомного веса смеси изотопов поколеблена, и мы увидим дальше, какие огромные изменения это вносит в наши представления о химических процессах природы.

Одновременно изменились и наши представления о независимости химических свойств от массы изотопов. Открытие дейтерия, т. е. изотопа водорода с атомным весом 2, выявило целый новый мир химических реакций, резко отличных от реакций лёгкого водорода. Оказалось, что атомный вес изотопов в известной мере налагает свой отпечаток и на химические и физико-химические свойства вещества, — и эта идея легла в основу методов разделения изотопов, при которых то применяется длительный электролиз многих тысяч кубометров воды, то используются законы тепловых движений в трубках длиной в десяток метров. Оказалось, что изотоп как разновидность элемента наделён своими специфическими чертами. Судьбы атомов в мире различны, различны пути их миграции в природе, различна их роль в живой клетке, особенно чутко реагирующей на мельчайшие изменения того среднего состава атома, который мы считаем обычным. Но самое замечательное из того, что наметилось в последнее время, это то, что состав элемента, соответствующего каждой клетке таблицы, не только изменчив и непостоянен в разных областях космоса, но в ряде случаев этот состав зависит и от времени.

Однако об этой новой координате менделеевской таблицы речь впереди.

Так отпали старые представления о постоянстве и математической точности самого понятия элемента и отвечающего ему понятия места в таблице. И мы сейчас, в свете блестящих завоеваний современной техники, уже не можем больше говорить о постоянстве каждого элемента: для нас каждое место периодической системы есть целый сложный мир, изменчивый в пространстве и во времени, мир, разгадки которого ещё в будущем.

Касаясь самой природы таблицы, следовало бы перейти к анализу её геометрических направлений; но этот анализ завёл бы в самые глубины химии и не мог бы раскрыть вопрос без детального его освещения. Укажу лишь, что именно в анализе трёх направлений: *горизонтального*, *вертикального* и *диагонального*, которые разбивают таблицу на отдельные поля и блоки, определяя вокруг каждого элемента «звезду» его соседей, — именно при этом анализе вскрывается вся диалектическая сущ-

ность периодического закона. тесная связь непрерывности и прерывности в изменениях свойств элементов, двойственность каждого элемента, носящего в себе всегда признаки металла и неметалла, плюса и минуса. В каждом последующем элементе как бы нарастают свойства, противоречащие предшествующему. Постепенно изменение этих свойств прерывается скачком через инертные газы, и затем начинается новый ряд в том же порядке.

В этом заключается самая сущность химических свойств элементов, выражающая направление химических реакций, законы сочетания атомов в кристаллической решётке, — словом, всю современную химию.

Надо понимать, что в основе менделеевского закона лежит не только общая идея периодичности, но и закономерность в изменении свойств элементов в каждом отрезке последовательного ряда, в каждом его периоде (по горизонтали). Это замечательное свойство таблицы нередко забывается, хотя в нём заложена одна из важнейших сторон самого закона.

Сказанное не только даёт специальное химическое освещение системы Менделеева, но и открывает путь к её философскому толкованию.

5. Новые проблемы

«Периодический закон Менделеева является истинным компасом для исследователя».

Химик *В. Рамсей*.

Выше мы пытались наметить путь к новому толкованию и к новой формулировке менделеевского закона.

Мы не в состоянии детально остановиться на тех новых проблемах, которые открываются перед нами в свете новых представлений об атоме и его месте в менделеевской системе, — мы ограничимся поэтому лишь несколькими отдельными мыслями.

Современная наука изучает свыше 100 различных свойств отдельного вещества: для каждого элемента, точнее, простого вещества, она устанавливает примерно 100—120 различных констант; сопоставляя их между собой, она пытается установить их связь в свете системы

Менделеева и установить те кривые, которые характеризуют изменения свойств в зависимости от расположения элементов в менделеевской таблице. Для некоторых свойств (таких, как удельные объёмы, температуры плавления и кипения, потенциалы ионизации и многие другие) эти кривые давно получены; они точно показывают периодический ход изменения свойств.

Но задачей естественных наук является не только установление отдельных констант, не только выявление закономерных соотношений между отдельными элементами: их задача — гораздо более глубокая, имеющая и общепhilosophическое значение — установить взаимную связь между всеми элементами и их свойствами и свести их разнообразие к единой причине и, если только возможно, выразить количественную сторону этой связи в виде математической формулы или уравнения.

В исторической перспективе в данном случае повторяется с точностью то, что переживало понятие самого элемента за последние столетия: сначала было установление основных понятий как таковых, потом открытие связующих взаимоотношений между ними и, наконец, вывод обобщающих законов, которые связывают разрозненные факты в единую картину. На этот путь, проделанный менделеевской системой по отношению к *веществу* в целом, становится современная наука и в более глубоком анализе как внутреннего строения атомов, так и их *качественных показателей*. Если те 100—120 изучаемых современной наукой свойств веществ принять за некоторые константы, то встаёт задача — найти между ними ту закономерную связь, которая связывала бы их не только с менделеевской таблицей, но и между собой в виде уравнений. При этом одни из свойств (их подавляющее число) оказываются полностью во власти периодичности их изменений: они зависят от периодически меняющегося строения наружных электронных оболочек атома, и все черты этих оболочек отражаются на их свойствах. Энергетические показатели атомов и явления вырывания самих электронов (электронных облаков) составляют этот сложный мир, в котором изменениями свойств управляют ничтожные доли энергии — сё кванты, доли электрон-вольта. И тем не менее именно эти свойства лежат в основе

всей красоты и всего разнообразия окружающей нас природы и технической деятельности человека.

Наравне с этим, как резкий контраст, выдвигается совсем другой мир свойств, пока ещё загадочных в своей природе. Он связан с ядром, с его энергетикой в миллионы электрон-вольт. Таинственные пока ещё силы связи между протонами, нейтронами и другими элементарными частицами лежат в основе этого мира — мира мощных конденсаторов мировой энергии, которые мы называем ядром; к миру этих свойств относятся атомные веса, масса, всемирное тяготение, количества атомов в мире, их стойкость. Долго казалось, что нет ничего общего между этими двумя мирами: между миром электронной оболочки атомов и миром атомного ядра, радиус которого выражается величиной во многие миллионы миллионов раз меньше 1 см . Но и эта резкая грань исчезает в свете новой науки, так же как она уже исчезла из наших представлений об окружающем мире, ибо мы на каждом шагу всё резче и конкретнее ощущаем взаимную связь между нашей планетой и солнцем. Пятна на поверхности солнца и связанные с ними магнитные бури, его излучение и флуктуации, потоки различного рода лучей — всё это приносится к нам от солнца и более далёких космических систем, иногда через многие световые годы, перемещает в земле и на земле воздушные, жидкие, расплавленные массы, нарушает равновесие атмосферы, препятствует ходу радиоволн, вмешивается в развитие всей жизни земной поверхности.

Так же рождаются в новой физике и новые связи между миром ядра атома и миром его поверхности. Нет двух независимых понятий — ядра и оболочки, как нет двух независимых друг от друга единиц природы — вещества и энергии. Есть только единая система, о которой так остро писал В. Гёте:

Всю жизнь об этом мне твердят без толку,
Я ж негодую — хоть и втихомолку;
На скорлупу и на ядро беспечно
Делить природу: всё в ней неравдельно...

И наравне с этой новой проблемой будущей физики становится вторая проблема — энергетика атома, в новом

принимании постоянства сумм вещества и энергии. Мы наблюдаем здесь все переходы, начиная от тончайших изменений электрических полей, не превышающих долей электрон-вольта, и кончая изменениями порядка миллионов электрон-вольт. Рассмотрим несколько картин из этих представлений.

Вот электронное облако, окружающее атом; оно несколько переменило своё место в оболочке и в поисках нового равновесия потом снова отхлынуло назад, освободив ничтожный квант энергии; острая линия спектра сверкнула как мимолётный результат этого физического процесса. Ещё более сильное электромагнитное поле вырывает из системы атомной оболочки одно-два-три или более наружных электронных облака. Из нейтрального атома образуется то, что мы называем *ионом*, — заряженная частица. Её свободный заряд небольшой: он связан всего лишь с единицами, десятками, реже — сотнями электрон-вольт, и тем не менее именно он управляет непосредственно окружающим нас миром, создаёт всю сложность химических соединений земли и других планет. Именно он создаёт тот мир, который подчинён закону Менделеева, мир, который мы должны по праву называть *менделеевским миром*.

Но вот ещё более сильные электромагнитные поля начинают действовать на атомную постройку. Они вырывают не два-три-четыре электронных облака из оболочки атома, — они снимают все. Перед нами раздетый атом, голое ядро ничтожных размеров, в десять тысяч раз меньшее, чем обычный атом. Эти ядра лишены тех индивидуальных черт атома, которые вызываются электронной оболочкой. Они лишены разнообразия и сложности почти всех тех 100 свойств, которые, как мы видели, определяют собой всю глубину и яркость, всё разнообразие и красочность менделеевского мира природы. Создаётся свой, особый мир, как мы говорим, мир сильно ионизированных частиц, который свойствен звёздным глубинам. Если эти голые ядра, которые в тысячи раз меньше самого атома, сблизятся между собой, может родиться новая, более тяжёлая система и новое вещество, непохожее на вещество нашей земли, в десятки тысяч раз более плотное, чем самые плотные атомы платины и золота!

Наконец, в ещё более могучих электромагнитных полях распадается и самое ядро: то при медленном вековечном процессе радиоактивного распада, измеряемого миллиардами и десятками миллиардов лет, то при быстром превращении в лучах несущихся материальных частиц могучих циклотронов, то при бурном разрушении, при взрывах ядер с освобождением многих десятков миллионов вольт электрической энергии.

Так в огромном интервале электромагнитных полей изменяются атомы, и трудно сказать, где кончается власть менделеевского закона, где начинается власть законов ядра, где и как сплетаются эти взаимно различные влияния двух отдельных частей единой постройки.

Но на этих новых путях новый фактор врывается в явления природы и в менделеевскую таблицу. Я говорю о *времени*. *Время* является одной из важнейших координат природы. В последние годы в константы химических справочников впервые входят ранее совершенно непонятные и ненужные для химика показатели времени существования, вернее, времени полураспада элемента: 6 месяцев, 10 минут, миллиард лет, 44 секунды. Время существования атома в данной клетке превращается в показатель огромного значения, говорящий об устойчивости данной системы атома, о её свободной энергии, о её способности существовать и участвовать в создании новых веществ. На наших глазах идёт борьба за уточнение методов измерения сроков жизни атомов. И в то время как в природных процессах диапазон жизни отдельных атомных систем или отдельных частиц колеблется от 10^{-11} до $5 \cdot 10^{17}$ секунд, т. е. от менее чем миллиардных долей секунды до сотен миллиардов лет, наши искусственные методы разрушения атома говорят пока о доступности измерения полупериодов жизни атома при эксперименте от 10^{-5} секунды до одного года.

Таким образом, раскрывается совершенно новая сущность не только элементов, длительно живущих в условиях окружающей нас природы и благодаря некоторому энергетическому барьеру сохраняющих свою устойчивость, но и целого мира других, вечно изменяющихся, кратковременно существующих элементов, находящихся всё же своё место в тех же клетках менделеевской таблицы.

И здесь для нас делается совершенно ясным, что не мистические, скажем словами Менделеева, метакимические представления о непостижимости мира кладут предел нашему пониманию менделеевской таблицы, а самый метод исследования и точность наших измерений определяют предел современного понимания природы. Совершенно очевидно, что постоянное расширение пределов измерения свойств и сроков жизни вещества делает процесс взаимного превращения атомов не специфической чертой только небольшого круга элементов таблицы, а общим свойством материи в целом.

Таким образом, менделеевская таблица меняется во времени. Не её толкование, а сама таблица, само внутреннее содержание клетки, сами величины, лежащие в основе характеристики атомов, изменяются во времени, внося тем самым в таблицу новую координату как новую проблему в глубоком диалектическом понимании неразрывности времени и пространства, равновесия и движения.

На этом кончается глава о новых проблемах, ещё, пожалуй, только маячащих в будущих представлениях о менделеевской таблице.

Сейчас нам придётся на время уйти из области этих физических представлений и окунуться в совершенно другой мир понятий, для того чтобы проследить, как менделеевский закон идёт не только в *глубину* наиболее кардинальных вопросов природы, но как он развивается и в *ширину*, проникая во все течения научной мысли, подчас неожиданно внедряясь в самые разнообразные области науки.

6. Новые области науки

«В противоположность метафизике диалектика рассматривает природу не как состояние покоя и неподвижности, застоя и неизменяемости, а как состояние непрерывного движения и изменения, непрерывного обновления и развития, где всегда что-то возникает и развивается, что-то разрушается и отживает свой век».

И. В. Сталин.

Мы говорили о веществе, его строении и энергетике. Мы выявили в нашем рассмотрении менделеевской таблицы координату времени, но всё же мы пока не вышли

из закопленного круга статических представлений. Между тем есть целые области знания, которые связаны именно с активной деятельностью атома, как мы сейчас говорим, с его поведением. Ведь атом в сущности не только интересен сам по себе, даже не так он интересен во всей своей «семейной» обстановке, с соседями и прародителями: гораздо более интересен вопрос, как из него строится окружающий нас реально существующий мир, как сочетается атом с другими атомами, образуя химические соединения. Какими силами, по каким законам, количественным и качественным, изменяется его поведение в той или иной обстановке, одинакова ли его судьба в холодных растворах земных вод и на поверхности солнца с температурой в 6000 градусов. Нас привлекает поэтому проблема судьбы каждого элемента, его история на всём пространстве и во всём разнообразии космических миров, нас интересуют странствования, как мы говорим, миграции элемента на земле, в её глубинах и в доступной воздействию техники земной коре, его поведение в кристаллах каменной соли, его судьба в металлической оси автомобиля, в живой клетке сложного органического вещества. Каждый атом имеет своё поведение, и законы этого поведения вытекают из законов строения ядра, из закона, заключённого в менделеевской таблице, где бы ни проявлялись его роль и его силы: в грандиозной исторической перспективе, измеряемой отрезком времени примерно в десяток миллиардов лет, в пространстве ли необозримых галактик и солнечных миров, в рамках ли реальной земной действительности сегодняшнего дня, в горячей перед нами свече, в сложном мире ещё не понятых реакций зелёного растения, словом, в каждом явлении окружающего нас мира.

Немногим более ста лет тому назад, во время расцвета научной деятельности скандинавских химиков Митчерлиха и Берцеллуса и смотрителя королевских маяков великого Фарадея в Англии, в 1838 г. базельский учёный-химик Шенбейн писал: «...Мы должны иметь новую науку — геохимию!» Его близкий друг, знаменитый М. Фарадей, поддерживал его в своих письмах, подтверждая значение этого нового широкого пути мысли.

Берцеллус уже тогда в своей классической химии тесно связывал химические идеи с горным делом, а молодой

друг Шенбейна Юлиус Либих выводил из органической химии проблемы воздействия на растения, впервые научно применяя в земледелии фосфорные и азотные удобрения.

Тем не менее прошло почти 100 лет, пока геохимическая мысль получила более широкое признание. Теперь наша страна сделалась одним из виднейших очагов этого научного движения, всё ещё борющегося за глубину и широту своих идей.

Но если 100 лет тому назад впервые было произнесено самое слово «геохимия», то идеи геохимии как истории химических элементов в земной коре и их поведения при различных термодинамических и географических условиях коренятся в глубокой древности; мы видим, что они развивались на протяжении всей истории культуры.

Эти идеи появляются у арабских писателей на основании опыта эксплуатации рудников далёкого Туркестана и в испанской Кордове. Мы видим их ещё раньше у Плиния при описании руд железа, серебра и ртути, когда древний Рим в борьбе за металл посылал свои легионы на завоевание недр Галлии, Иберии, Британии и Карфагена. Мы находим эти идеи у средневековых алхимиков с их замечательными чисто геохимическими открытиями, понятными и расшифрованными лишь в самые последние годы в работах Липпмана и Руски.

Мы следим за геохимической мыслью в начале XVI в. у Георга Агриколы — врача и минералога горного саксонского центра. Замечательный труд Агриколы «*De natura fossilium*», рождённый из практики горного дела, говорил о том, как ведут себя металлы в тайниках земных недр: как одни из них любят друг друга и потому нераздельны; как другие, подобно подземным духам «никелей и кобальтов», враждебны серебру и золоту; как воюют между собой несогласные металлы: золото и цинк или олово и серебро.

Корни геохимической мысли надо искать в истоках горного дела: в глубине рудников в старой Саксонии рождалась идея о законах поведения элементов в земной коре.

С тех пор прошло много лет; идея геохимии вышла за рамки, намеченные Шенбейном, даже за рамки самого понятия химии земли. Геохимия постепенно стала пре-

вращаться в новую широкую науку о судьбах и путях распределения и сочетания химических элементов в природе. Она тесно сплетается в своей методике и идеях с химией и физикой, минералогией и кристаллохимией, астрофизикой и геофизикой. Она выделяет отдельные течения, создаёт новые научные дисциплины: радиогеологию, биогеохимию, внедряется в область чисто геологических наук, в горное дело, в изучение полезных ископаемых, вносит свои методы и выводы в технику и металлургию.

Первый вопрос, который стоял перед геохимией, заключался в следующем: сколько же в доступном нашему изучению мире содержится атомов отдельных элементов, каковы абсолютные и относительные их количества, как мы сейчас говорим, — каковы их кларки? В сущности этот вопрос необычайно прост. Он невольно возникал всегда, когда человек искал золото и металлы, когда в горном деле он встречал всюду обилие простых солей и земель, но с трудом отыскивал капли ртути или блёстки золота. Эта замечательная проблема о количестве элементов сейчас превратилась в одну из важнейших научных задач, поставленных геохимией; несмотря на долгое и упорное непонимание, игнорирование её и даже борьбу против неё, она выросла в научную и теоретическую проблему огромной важности, в проблему не только об относительном количестве элементов в мироздании, но и об устойчивости вещества, ибо количество было поставлено в зависимость от прочности данной атомной постройки.

Я не буду рассказывать, как шла эта огромная и сложная работа, как в неё включались — и особенно в нашей стране — самые светлые умы химиков и геологов. Сейчас получены достаточно точные цифры количеств отдельных элементов в земной коре, в атмосфере солнца и звёзд.

Эти цифры — кларки — являются новыми константами природы; в каждую клетку менделеевской таблицы мы можем сейчас вписать некоторое определённое число. Эти числа показывают, что более распространённых элементов содержится в окружающем нас мире примерно в 10^3 раз больше, чем более редких, даже если не говорить об атомах радиоактивных рядов.

Эти нанесённые на таблицу Менделеева кларки, являющиеся замечательным показателем относительной

прочности элементов, обнаружили ряд закономерностей. Сам Менделеев в первом своём докладе о периодическом законе указывал на основную черту этих величин: самые распространённые в природе вещества (как водород, кислород, углерод, натрий или кремний) относятся к верхней части таблицы, к самым начальным, более лёгким элементам. Скоро выяснилась и другая закономерность. Оказалось, что ход кларков обнаруживает некоторую периодичность, но она не отвечает периодичности менделеевской таблицы: прежде всего — и это является самым замечательным — чётные элементы оказались более распространёнными, чем нечётные, причём через каждые 6 и 12 элементов (в порядке их расположения в системе Менделеева) нарастают максимумы и минимумы их количественной распространённости.

Закон кларков, таким образом, оказался законом ядер, показывающим, что общее количество атомов в мироздании определяется не наружными оболочками ядер, не менделеевскими электронами, а устойчивостью самих ядер. На фоне этого положения стали обнаруживаться совершенно замечательные выводы, которые как будто шли вразрез с установленными представлениями.

Ведь мы знаем, что не ядра, а наружные электроны определяют в основном перемещение, миграцию элементов, всю их судьбу в сложных путях нашей космической системы. Именно *они* приводят к рассеянию одних элементов в одних частях мироздания, к концентрации — в других, *они* мешают равномерному распределению атомов. И углублённый анализ кривых кларков для отдельных областей мира научил нас отличать в каждой космической системе те отклонения от среднего, которые вызваны ролью химических сил согласно менделеевскому закону.

Эти отклонения от первичного кларка стали открывать нам глубочайшие и важнейшие законы перераспределения веществ в окружающей нас природе и во всём мире; нам сделались тогда понятными звёзды с оболочками из неона и аргона, мы начали понимать роль подвижных, нечётных, заряженных атомов водорода, натрия и кальция, наполняющих несветящимися частицами всё космическое пространство между звёздами и туманностями. Мы начали понимать

историю наших планет: образование на Меркуре, подобная Венере, атмосферы, богатой угольной кислотой; образование углеводородов, аммиака и воды — на больших, типа Урана. Переход материи от мира, подчинённого закону ядра, на высшую ступень — в мир, управляемый электронными оболочками, — предопределил судьбы космических тел, сделал возможным зарождение жизни в сложном эволюционном процессе охлаждающейся системы. Голые ядра атомов при переходе из звёздных глубин к холодным областям космоса стали одеваться в наряд из электронных облаков и постепенно превращались в заряженные «ионы», в странников, которые строят окружающий ближайший к нам мир. Мы говорим сейчас о кларках рассеяния, т. е. о судьбах одних элементов таблицы, нечётных, активных, пронизывающих всё вещество, постоянно странствующих между остывающими космическими системами. Мы говорим о кларках концентрации, когда устанавливаем законы накопления других атомов — чётных, прочных построек, быстро находящих своё равновесие и очень скоро умирающих в новых системах, которые рождаются в *менделеевском мире*, где из отдельных атомов с их эллиптическими орбитами движения рождаются геометрические системы кристаллов. Эти системы, эти новые формы равновесия могут родиться только в области господства менделеевских оболочек, в мире более холодных поверхностных условий со слабыми электромагнитными полями.

От глубин звёздного мира мы последовательно переходим к нашей планете, к недрам, раскрываемым геофизикой, к земной коре с её ископаемыми богатствами. Здесь, в борьбе за металлы, в практике горного дела великие идеи Менделеева нашли своё конкретное выражение и своё освещение и помогли открыть новые закономерности явлений природы.

Изучив в геохимии историю отдельных атомов, мы можем подойти к общей концепции химии мира, хотя ещё многих звеньев недостаёт в цепи явлений, вечно сплетающихся и расплетающихся и в своей бесконечной смене образующих вселенную.

В глубинах звёзд, при температурах в 40—50 миллионов градусов, при давлениях порядка 10^{23} атмосфер, мы встречаем первые химические элементы, мы почти не знаем

их природы; они лишены наружных оболочек, лишены почти всякой химической индивидуальности. Разрушение тяжёлых атомов идёт наряду с их созиданием. Лёгкие, неустойчивые элементы разлагаются мощными излучениями материальных частиц. Идёт дифференциация веществ по стойкости ядра.

Переходя к *поверхности звёзд космических систем*, мы видим дифференциацию газов в условиях температур порядка десятка тысяч градусов и пониженных давлений, достигающих до сверхрассеянного состояния. Атомы в значительной степени ещё раздеты, ещё лишены своих наружных оболочек, ещё не приобрели специфических химических черт. Законы Лапласа, а не Менделеева направляют здесь процессы миграции; давление чистой энергии перемещает их в мировых галактиках.

Следуем дальше. *На охлаждающихся космических телах* типа солнца и холодных звёзд с температурой поверхности в 5 000—8 000 градусов и красных звёзд с температурой их атмосфер, опускающейся до 1 800 градусов, ядра постепенно одеваются наружными оболочками электронных облаков. Начинается химический процесс разделения элементов по типу строения, влияние менделеевского закона всё усиливается, происходит первое разделение вещества на устойчивые чётные постройки и на дисперсное вещество межкосмических пространств.

Следующую по степени охлаждения космическую систему представляет великий *менделеевский мир*; здесь берёт начало кристаллизация, эта новая форма энергетического равновесия. Происходит накопление вещества по отдельным уровням энергии, образуется зональное строение планеты с более устойчивыми энергетическими системами глубин и с накоплением подвижных, с большой внутренней энергией атомов на поверхности земли; выявляется их роль в создании жизни, в творческой деятельности человека, в развитии техники. Закон Менделеева определяет направление этих процессов.

Так в анализе химических процессов космоса вырисовывается растущая роль закона Менделеева, в котором законы энергетике и уровни энергии управляют отдельными клетками, перемещая элементы и сочетания их во времени и пространстве.

Но в этой картине менделеевского мира есть ещё две области, без которых наш обзор значения закона Менделеева для новых областей знания будет неполон. Я говорю о живом веществе и творческой производственной деятельности человека.

Проблемы биогеохимии за последние годы дают нам огромный материал фактов о составе, распределении и роли отдельных элементов при постройке живой клетки. Блестящие обобщения и работы академика В. И. Вернадского и А. П. Виноградова доказали, что живое вещество использует для своей постройки свыше 60 химических элементов таблицы, но что главную роль при этом играют её верхние элементы, обладающие признаком нечётности: усиливается роль более подвижных систем, особенно тех шаровых ионов, которые обладают особой подвижностью. Самые прочные, самые устойчивые элементы чётных рядов и чётных групп идут на постройку плотного скелета и прочной защитной раковины; другие, наиболее подвижные, нечётные элементы, с малой устойчивостью, с лёгкой изменчивостью электронных оболочек, идут на постройку тех сложных, но необычайно гибких систем, которые мы называем содержимым живой клетки и которые составляют основу физиологических растворов организма.

Мы видим далее, что в основе процессов жизни лежит накопление энергии, что в них проявляется борьба против её рассеяния в мировом пространстве. Здесь, на другом полюсе мира, по закону борьбы противоположностей вновь возникают мощные конденсаторы мировой энергии, но они иные, чем те, которые мы видели в ядрах атомных систем: их сила не в миллионах электрон-вольт энергии ядра, а в рождении новых подвижных систем мозговых клеток человека. Здесь начинается область человеческого творчества, его завоевания природы, подчинения себе её законов, в том числе и закона, выраженного в менделеевской таблице.

Менделеевская таблица определяет новые направления технического прогресса, она открывает закон распределения металлов в земной коре, рассеяния их и концентрации. Она помогает поискам и разведкам, подсказывает свойства соединений элементов, толкает техническую мысль вперёд. Уже намечается новая технология, являющаяся

неизбежным выводом из анализа менделеевской таблицы и положения каждого элемента в её клетках. Именно она навела молодого американского техника Томаса Митглей путём вдумчивого анализа менделеевской таблицы на открытие того вещества — фтористого углерода, которое революционизирует всё холодильное дело. Открытие нашими металлургами определённой связи менделеевской системы с ролью и поведением отдельных элементов в специальных видах стали подсказывает новые пути в решении самых основных и самых важных проблем создания прочного металла. Но всё же техническая мысль ещё не обосновала теоретически ту огромную роль, которую сыграет менделеевская система на её дальнейших путях, и мы верим, что именно у нас, в нашей стране, новая технология будет построена не столько на эмпирических данных, сколько на глубокой теории, вытекающей из менделеевской системы в целом.

Новые завоевания рождаются всюду, где вдумчивая мысль учёного пытается применить законы Менделеева к анализу природных явлений.

7. Общий анализ

«Набор на службу чистой науке молодого поколения пусть не страшит тех, кто понимает настоятельную необходимость родины в практических деятелях в области сельского хозяйства и всяких промышленных дел. Лишь тогда, когда узнаются истины сами по себе, в их абсолютной чистоте, они могут самостоятельно прилагаться к жизни».

Д. И. Менделеев.

Мы переходим к общему анализу менделеевской таблицы в свете современной научной мысли. Рассмотрим периодический закон в целом в его научно-философском освещении.

Сначала несколько слов о двух основных чертах, характеризующих все крупные законы природы: первая — это способность закона к дальнейшему развитию, эволюции, и вторая — это его приближённость, обусловленная тем,

что он охватывает огромное количество самых различных фактов и явлений.

Действительно, великие законы природы — не законы чисел с их математической чёткостью, абстрактностью абсолютного числа как фетиша и догмата. Законы природы — это выражение сложнейших реально существующих соотношений в природе, сложного сплетения явлений во времени и пространстве. В них кажущиеся исключения и отклонения столь же обязательны, как обязательны те противоречия, из которых слагается мир как результат борьбы противоположностей притяжения и отталкивания, плюса и минуса, кислотности и щёлочности, единства прерывности и непрерывности материи и её изменений. Не идея натурального ряда чисел, сверкавшая в предвидении Марне в конце XVIII в.¹, не абстрактные выводы из уравнений квантовой механики, а реальная сущность окружающего мира нашла своё чёткое выражение в законах эволюции Дарвина, в законе тяготения Ньютона и в законе вещества Менделеева.

Но, с другой стороны, великие законы и идеи никогда не рождаются готовыми и законченными: они развиваются в своём внутреннем содержании и в своих формулировках, во всём охвате фактических соотношений и выводов из них, развиваются одновременно со всей историей научной мысли. Только в этом историческом понимании больших идей обнаруживаются их жизненность, их рост и развитие.

Между первой таблицей 1869 г. и современной таблицей Менделеева — не только целый мир научных работ, но и целое новое мировоззрение, чуждое и самому Менделееву и всем последователям Лавуазье, сторонникам формальной химии.

Закон Менделеева велик именно тем, что он не мёртвая догма — он живёт и развивается. Что же нового дал периодический закон на современных путях научной мысли?

¹ У Н. Марне в 1786 г. мы находим следующую замечательную фразу: «...Все простые творения в природе могут быть сравниваемы с числами... каждый элемент будет иметь своё истинное или предполагаемое место в лестнице природы». Более глубоко развил эту же мысль Шанкуртуа: он писал, что свойства тел суть свойства чисел.

1. Он показал на фактах связь отдельных атомов между собой и решительно порвал с понятием самостоятельности и независимости отдельных элементов.

2. Он связал все элементы природы в естественную систему, положив начало зависимости качественных показателей от количественной характеристики.

3. Он связал свойства атома с его строением из одинаковых единиц, открыв дорогу вопросам превращения элементов и их взаимных переходов.

4. Он доказал всю внутреннюю противоречивость свойств элемента, диалектическое сочетание в нём противоположных начал.

5. Он поставил в зависимость химические и физические свойства атома от электрической природы вещества¹, чем неразрывно связал вещество и энергию и показал невозможность их самостоятельного существования.

Устанавливая, таким образом, глубочайшие связи между химическими и физическими явлениями, Менделеев осуществил знаменитые слова Ломоносова: «Химик без знания физики подобен человеку, который всего искать должен ошупом. И сии две науки так соединены между собою, что одна без другой в совершенстве быть не могут».

Важность приведённых положений вытекает логически из самого закона, но вытекает она в известной мере вопреки желаниям Менделеева, который, пожалуй, в первые годы решительно бы восстал против большинства вышеуказанных пунктов. Блестящий анализ этих пунктов в свете современных представлений об элементе дан в специальном исследовании Б. М. Кедрова².

Но то, что мы сейчас отметили, в сущности является уже пройденным этапом. Сейчас мы должны анализиро-

¹ Речь идёт о более поздних открытиях в физике, которые способствовали дальнейшей разработке периодического закона уже после Менделеева. Сам Менделеев не был сторонником того, что химические и физические свойства атомов зависят от электрической природы вещества. — *Ред.*

² См. Б. М. Кедров, Развитие понятия «химический элемент» за последние 30 лет (неопубликованная работа). (Работа была написана для сборника «Философское обобщение современного естествознания», подготовлявшегося Отделением истории и философии Академии наук СССР в 1940—1941 гг. Часть этой работы опубликована в «Философском сборнике» № 1, 1946 г., под заглавием «Понятие «химический элемент» и его логический анализ». — *Ред.*)

вать менделеевскую таблицу и дальше и глубже. Всё то, о чём мы выше говорили, являлось лишь статической картиной мира, между тем все наши новые идеи, всё наше новое понимание менделеевской таблицы находится в резком противоречии со статическими представлениями о природе. И чтобы перейти к этому более высокому по внутреннему содержанию этапу, современная наука рассматривает не только равновесную систему неподвижного нейтрального атома, — её интересует главным образом поведение каждого данного элемента в разных условиях природы, энергетическая сторона его поведения как заряженной, действенной системы электромагнитных полей. Изучение поведения заряженных частиц во всех областях мироздания, начиная с глубин космических тел и кончая холодными биосферами нашей планеты, открывает нам грандиозные картины истории элемента в мироздании, его перемещения, миграции в космосе, земной коре, живой клетке, в живом организме. Всюду открывая новые горизонты, периодический закон вносит свою закономерность и в область человеческой деятельности, начиная с технологии металлов и кончая тончайшими реакциями фототехники, являясь всюду и всегда надёжным компасом для исканий.

Но и этот новый путь, на который стала современная наука в своём толковании периодического закона, — путь углублённого понимания элемента как динамической системы, — является только новой ступенью в развитии открытия Менделеева. Мы ещё только начинаем понимать новый этап развития системы элементов во времени, в истории космических превращений. Самое содержание клетки элемента изменяется во времени и в пространстве в разных термодинамических условиях мироздания: и состав изотопов в самой клетке, и количественное соотношение между изотопами, и судьба каждого из них в отдельности и всех изотопов данного элемента, т. е. самого элемента, и переход радиоактивных атомов из одной клетки через две клетки налево или к следующей клетке направо, наконец, в результате раскола ядра — скачки атомов далеко вверх, налево по системе, с тем чтобы найти своё новое равновесие через последовательный ряд превращений, идущих горизонтально слева направо.

Таковы те своеобразные пути, которые открыла современная наука о радиоактивности и превращениях элементов.

Целый мир, ещё только начинающий раскрываться перед нами в грандиозных интервалах времени, протекает в условиях мощных магнитных полей в десятки и сотни миллионов гаусс, в условиях тепловых колебаний в сотни миллионов градусов, где самое понятие тепла получает новое качественное толкование. Именно этот мир является предметом изучения будущей науки. Там, в этом новом мире, в котором грандиозные эксперименты пытаются соревноваться с реально наблюдаемыми в космосе явлениями и масштабами, — там родится новая периодическая система, которая логически вырастает из самого закона Менделеева и из чисел Мозели как новый, ещё более общий динамический закон мира: не абстрактные представления, в которые пытаются облечь глубокие методы и уравнения квантовой механики, а та, может быть, ещё гораздо более сложная математическая зависимость, которая не управляет миром, а является формой выражения реально существующих в природе соотношений между материей и энергией в их неразрывном единстве. Так родится в науке будущий новый закон, о котором мечтал Резерфорд, когда он ждал прихода нового Менделеева для разгадки строения ядра, — не современная упрощённая модель скорлупы атома Бора, но ещё более совершенная модель новой электромеханики атома в целом.

Я кончаю свой анализ. Я заострял отдельные моменты новых представлений о периодическом законе Менделеева, именно те, которые так тесно соприкасаются с диалектической концепцией Маркса — Энгельса — Ленина — Сталина. Я не пытался в сегодняшнем докладе шаг за шагом связать каждое отдельное положение с бессмертными идеями Энгельса. Я хотел нарисовать общую картину современных представлений, считая, что она в своём грандиозном целом есть лучшее выражение гениального провидения Энгельса.

Мы не должны забывать, что переживаем сейчас критические, революционные годы в наших представлениях. Сменяются вехи старых классических теорий, опровергнуты, казалось, незыблемые представления о неизменно-

сти и неделимости атома, отошли в прошлое законы независимо существующих друг от друга вещества и энергии. Динамически развивается новое мировоззрение, и диалектическая мысль причудливо сплетает воедино внешнее равновесие отдельных материальных систем с вечным их изменением, с постоянным и сложным движением элементарных частей материи.

В этот период совершенно исключительной ломки старых понятий изменившейся картины звёздного мира и земных глубин одна руководящая идея осталась на месте, и не только осталась как надёжный маяк человеческих исканий, но ещё ярче стала освещать запутанные пути человеческой мысли. Это — периодический закон Менделеева.

Казалось бы, что он должен был также разрушиться во время кризиса классических представлений химии и физики, казалось бы, что и он не должен был уцелеть, когда вскоре изменилась идея атома или молекулы как простого упругого шарика, когда понятие валентности превратилось в представление о числе оторванных наружных электронов, а сам элемент явился сочетанием десятка изотопов и в масштабах геолого-космического времени потерял своё постоянство. Тем не менее периодический закон не только уцелел, но и превратился в гораздо более могучий рычаг и орудие научной работы, ибо из области химии его влияние распространилось на физику, на минералогию и геохимию: законы агрономии и технологии, с одной стороны, законы астрофизики — с другой, оказались связанными с периодическим законом Менделеева.

Почему же так случилось? Почему он сыграл, играет и будет играть столь незаменимую роль в истории науки? Я думаю, что ответ может быть достаточно определённый: закон Менделеева — не вымысел, а результат глубоких теоретических обобщений естественно-научных фактов, правильно сопоставленных друг с другом в определённой пространственной, хронологической и, как стало известно теперь, энергетической и генетической связи между собой. В нём ничего не придумано: в нём — сама природа, в нём — её диалектика.

Окружающий нас мир вещества можно изобразить в виде грандиозной менделеевской таблицы, развёрнутой

по периодам, разбитой на отдельные отрезки, согласно периодическому закону.

Будут появляться и умирать новые теории, блестящие обобщения будут сменять наши устаревшие понятия, величайшие открытия будут сводить на-нет прошлые и открывать невиданные по новизне и широте горизонты — всё это будет приходить и уходить, но периодический закон Менделеева будет всегда жить, развиваться и совершенствоваться.

Но и самый атом, и менделеевскую таблицу, и весь окружающий нас мир мы понимаем в свете учения о вечно изменяющейся природе. Мы требуем не фотографии современных путей периодического закона и не спокойно-эпического анализа путей его предшествующей эволюции, а воинствующей борьбы за новые идеи, призыва к беспощадной борьбе против косности старых представлений, призыва к новым, смелым, революционным подходам.

На этом пути, который, по примеру Ломоносова, можно назвать «выявлением вечной ночью помраченных вещей и деяний на солнечную ясность», мы должны прежде всего поставить перед собой вопрос: на высоте ли мы в этой борьбе? Боремся ли мы за научное наследство Менделеева, за его новые пути с той страстностью и горячностью, с которой боролся сам Менделеев за свои выводы, боролся и огромной кропотливой будничной работой, боролся и постоянными исканиями новых выводов и новых идей?

В этой борьбе за новую науку, за новый взгляд на мир мы, химики и физики, натуралисты и техники Советского Союза, должны поднять знамя борьбы за научное наследство Менделеева как одно из величайших выявлений диалектического материализма, как могучий метод овладения природой, веществом и энергией.

Р А З Д Е Л



ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН
МЕНДЕЛЕЕВА
И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ
СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ

ХИМИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ ²³ В СВЕТЕ МЕНДЕЛЕЕВСКОГО НАСЛЕДСТВА

Б. М. Кедров

1. Постановка вопроса в связи с общими указаниями Энгельса

В области основных понятий современной химии в настоящее время существует много неясности и путаницы. Почти каждый автор пытается дать своё собственное, отличное от других, определение главного понятия химии — «химический элемент»; при этом часто даются определения весьма туманные, противоречивые и даже просто неверные¹. Большой разницей существует и в определениях понятия «атом».

Глубоко диалектическое по своему существу содержание современных химических и физических открытий часто втискивается в рамки узко эмпирических понятий, а нередко искажается и затемняется в угоду давно отжившим метафизическим воззрениям.

Бывает и так, что весь вопрос при пересмотре основного химического понятия сводится к чисто внешней, терминологической стороне; например, спорят о том, следует ли пользоваться словом «атом» (что означает по-гречески неделимый) или словом «индивид» (что означает то же самое, но только по-латыни); между тем до сих пор не установлено, о какой «делимости» или «неделимости» в строгом смысле этого слова может идти речь, т. е. не установлено ещё самое понятие о предмете спора. Что речь идёт здесь не о терминологии, а именно о *понятиях*, показывает спор между Фаянсом и Панетом об определении химического элемента, спор, который длился почти четверть века и досих пор окончательно не разрешён. Анализ этого спора показывает,

¹ О путанице, парящей в определениях понятия «химический элемент», см. в статье В. И. Спицына и Н. И. Флерова (журнал «Успехи химии», т. VI, вып. 12, 1937, стр. 1703).

что борьба шла в конечном счёте между сторонниками старого, метафизического взгляда на элементы и его противниками; однако сами противники его не всегда бывали достаточно последовательны и порой делали явные уступки узкому эмпиризму и метафизике.

Разобраться в создавшемся положении химикам могут помочь работы основоположников диалектического материализма.

Энгельс показал, что в XIX в. естествознание уже переросло рамки старого, метафизического мировоззрения и, ломая последнее, стало стихийно приближаться к диалектическому взгляду на природу. Энгельс показал также, что все трудности и противоречия, возникающие в современном теоретическом естествознании, объясняются тем, что перестройка основных естественно-научных понятий и всего метода мышления естествоиспытателей в духе материалистической диалектики происходит совершенно стихийно; происходит она в условиях, когда сами естествоиспытатели продолжают ещё пользоваться старыми, метафизическими категориями.

Отсюда для Энгельса вытекала задача — бороться за установление правильных естественно-научных понятий, за приведение их в соответствие с действительным содержанием великих открытий в естествознании XIX в. В предисловии ко второму изданию «Анти-Дюринга» Энгельс писал:

«Во всяком случае естествознание подвинулось настолько, что оно не может уже избежать диалектического обобщения. Но оно облегчит себе этот процесс, если не будет забывать, что результаты, в которых обобщаются данные опыта, суть понятия, и что искусство оперировать понятиями не есть что-либо врожденное и не дается вместе с обыденным, повседневным сознанием, а требует действительного мышления, которое тоже имеет за собой долгую эмпирическую историю, столь же длительную, как и история эмпирического естествознания»¹.

Приведённое положение Энгельса непосредственно подводит к пониманию существа создавшихся в современной теоретической химии затруднений. Сразу же становится

¹ Ф. Энгельс, Анти-Дюринг, Госполитиздат, 1945, стр. 14.

ся ясно, что споры о химическом элементе и атоме — это споры не о словах, а о тех результатах, в которых химия и физика обобщают значительную часть своего опытного материала. Важность же этих понятий ясно подчеркнута Энгельсом в определении химии как науки «о движении атомов»¹, т. е. о движении мельчайших частиц химических элементов.

Таким образом, споры об элементе и атоме — это споры об объектах химии и о самой химии как науке.

Энгельс показывает, что решаться такие споры должны только с помощью действительного, т. е. теоретически правильного, мышления. Последнее же предполагает исторический подход к современным научным представлениям. Вот почему разбор общих понятий современной химии нельзя вести абстрактно, отвлекаясь от истории мысли химиков. Если игнорировать исторический подход, то каждое крупное открытие может легко породить впечатление, будто прежние понятия должны быть целиком отброшены, тогда как они остаются до известной степени правильными и требуют лишь уточнения и развития.

При анализе современных химических понятий в качестве отправного пункта исторического рассмотрения нами взят Менделеев, ибо Менделеевым не только завершается первый период атомистической химии XIX в., но и открывается современный нам новейший период химической науки.

Менделееву принадлежит открытие периодического закона элементов. Этот закон составляет теоретический фундамент современной химии и в значительной степени физики, геохимии, астрофизики — словом, главных наук о неорганической природе. Вместе с тем, как доказывает Энгельс, именно периодический закон Менделеева вскрывает диалектику связей и отношений между химическими элементами, показывая, что закон перехода количественных изменений в качественные «имеет силу не только для сложных тел, но и для самих химических элементов». Тем самым этот закон позволяет развить диалектико-материалистическую трактовку понятий элемента и атома.

☞ ¹ Ф. Энгельс, Диалектика природы. Госполитиздат, 1946, стр. 46.

Поэтому современные химические понятия необходимо рассматривать прежде всего в свете периодического закона.

В «*Основах химии*» Менделеев писал: «...Если свойства атомов составляют функцию их веса, то множество понятий, более или менее укрепившихся в химии, должны претерпеть изменение, развиться и обработаться в смысле этого вывода»¹.

Мы затронем два круга вопросов, связанных, во-первых, с понятием «химический элемент» и, во-вторых, с понятиями «атом» и «атомный вес». По Менделееву, оба понятия являются фундаментальными для химии. «*Вся сущность теоретического учения в химии и лежит в отвлеченном понятии об элементах*», — говорит он в «*Основах химии*»². «*Всё теоретическое учение нашего времени о телах природы основано на утвердившемся понятии о строении тел из атомов*»³, — пишет он в «*Удельных объёмах*».

Наша статья посвящена химическому элементу.

2. Определения элемента, не связанные с периодическим законом

В конце XVIII в. Лавуазье назвал элементами вещества, которые ещё не были разложены на составные части. Это определение носило чисто *эмпирический* характер, являясь непосредственным выводом из данных химического анализа. Оно страдало двумя недостатками: во-первых, ничего не говорило, какими именно способами не могут быть разложены элементарные вещества; вещество, разложенное *любым* способом на более простые, переставало уже быть элементом; во-вторых, оно ставило существование химических элементов в зависимость от нашего умения разлагать вещества на более простые составные части, тем самым лишая понятие элемента объективного значения.

Уже открытия XIX в. потребовали уточнить формулировку Лавуазье; уточнил её Менделеев, который рассматривал химический элемент как вещество, которое ни-

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, 1934, стр. 330.

² Там же, стр. 258.

³ Д. И. Менделеев, Соч., т. I, Л. 1937, стр. 151.

какими химическими способами не может быть дальше разложено (само по себе, независимо от нашего умения).

Менделеев указывает, что ныне вещество мыслится состоящим из молекул, которые «сами состоят из атомов, неделимых химически, т. е. целиком, без всякого рода изменений, переходящих при всевозможных, даже химических, изменениях из одних частиц в другие»¹.

В наше время эту формулировку принял Панет и развил её дальше.

Так были устранены неопределённость и субъективизм старой формулировки. Но остался общий недостаток, свойственный всякому эмпирическому определению элемента. «Самую слабую сторону понятия о простых телах, — отмечает Менделеев, — составляет отрицательность определяющих признаков, данных Лавуазье и с тех пор господствующих в науке. Они не разлагаются, они друг в друга не переходят»².

Отрицательность, вытекающая из односторонности эмпирического определения, особенно резко обнаруживается в настоящее время, когда делается всё более расплывчатым признак «химической неразложимости». В самом деле: смесь инертных газов химическим путём практически неразложима, а между тем она является не химическим элементом, а смесью нескольких элементов, которые, однако, легко разделяются физическими способами. С другой стороны, смесь изотопов некоторых лёгких элементов может быть разделена на свои составные части химическим путём, тогда как она представляет собой *один* химический элемент. Самое понятие «химическое воздействие» не может быть точно определено на основе только одного эмпирического подхода. Например, водородные ионы (H^+), или протоны, в обычных условиях оказывают химическое воздействие, но при иных условиях (обладая большой кинетической энергией) они вызывают ядерные реакции, влекущие за собой превращение химических элементов.

С другой стороны, не всякая ядерная реакция означает превращение элементов; например, поглощение каким-либо ядром одного медленного нейтрона может

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, 1934, стр. 375.

² Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, М.—Л. 1934, стр. 362.

привести к образованию нового изотопа того же самого элемента. Нельзя поэтому определить элемент как вещество, которое сохраняется при всех реакциях, кроме ядерных. Всё это говорит о том, что нельзя строить понятие химического элемента на чисто эмпирическом разграничении между химическими и физическими методами разложения вещества. Но самое главное состоит даже не в этом, а в том, что узко эмпирическое определение элемента неизбежно приводит к порочному логическому кругу. Действительно: определять элемент как вещество, не разложимое *химическим* путём, — это значит предполагать заранее известным термин «химический». Следовательно, это значит исходить из того, что химия уже определена как наука. Определение же химии в свою очередь целиком строится на представлении об *элементах*, о их частицах (атомах), о их соединениях между собой. Любое определение химии, равно как и производного от неё признака «химический», в конечном счёте, сводится к определению её объекта, т. е. химических элементов. Таким образом, строить эмпирическое определение элемента на основе признака «химический» — значит определять элемент с помощью того же самого элемента.

Говоря словами Энгельса, «здесь эмпирические методы оказываются бессильными, здесь может оказать помощь только теоретическое мышление»¹.

Современная химия вынуждена поэтому строить своё основное понятие на более глубокой, теоретической основе.

Теоретическое определение элемента стало складываться уже в самом начале XIX в. в связи с развитием представлений о строении вещества; основой для него явилась химическая *атомистика*, открытая Дальтоном². Сопоставляя Лавуазье с Дальтоном, Энгельс рассматривал Дальтона как основоположника современной химии.

«Новая эпоха начинается в химии с атомистики, — писал Энгельс, — (следовательно, не Лавуазье, а Дальтон — отец современной химии)»³.

¹ Ф. Энгельс, Анти-Дюринг, стр. 311.

² См. Д. Дальтон, Сборник избранных работ по атомистике, Л. 1940.

³ Ф. Энгельс, Диалектика природы, стр. 238.

Это показывает, что первое теоретическое определение элемента, данное на основе химической атомистики, следует искать именно у Дальтона.

Согласно взглядам Дальтона, химический элемент есть *совокупность простых, совершенно одинаковых атомов одного и того же рода*. Всего таких родов атомов существует столько, сколько имеется химических элементов.

Дальтон подчёркивал две стороны в понятии элемента: *качественную*, выраженную его химическими свойствами, и *количественную*, выраженную его массой, или атомным весом. Единство обеих сторон стало отныне наиболее существенной характеристикой *отдельных* элементов, а тем самым и общего понятия об элементах.

Взгляды Дальтона на элементы явились теоретическим фундаментом всей химии. Известно, как Энгельс высоко оценивал открытие атомных весов и то огромное значение, которое приобрело именно в связи с этим теоретическое мышление в химии¹.

Определение Дальтона продержалось весь XIX в. и было воспринято Менделеевым. Так же, как и Дальтон, Менделеев принимает за теоретическую основу химии идею об атомах. «Элементу отвечает понятие об атоме»², — пишет он.

В статье «Вещество» он говорит: «По природе своей такие химические атомы каждого элемента неизменны, и, сколько есть химических элементов... столько и признаётся сортов или родов атомов... Всякие атомы данного элемента друг с другом совершенно одинаковы... совершенно тождественны»³.

Понятие об элементах превращается из отрицательно-го, эмпирического, в *положительное, теоретическое*. Но самые элементы берутся ещё *вне их внутренней связи*, как некоторое случайное количество различных видов материи.

¹ «До периодического закона простые тела представляли лишь отрывочные, случайные явления природы»⁴, — говорил Менделеев.

¹ См. Ф. Энгельс, Диалектика природы, стр. 25, 85, 86, 162, 164.

² Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, М. — Л. 1934, стр. 79.

³ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 376.

⁴ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 175.

Определение Дальтона поневоле оказалось ограниченным, неспособным преодолеть узкий эмпиризм в подходе к изучению свойств атомов, в частности их атомных весов. «Веса атомов элементов до периодического закона представляли числа чисто эмпирического свойства... в этой области приходилось идти ощупью, покоряться факту, а не обладать им, хотя весь строй химических знаний, со времени Дальтона, был подчинён выводам, отсюда выносимым»¹.

Химики ощущали этот недостаток и делали множество попыток найти связь между элементами. Решить эту задачу впервые удалось только Менделееву.

3. Менделеевское определение элемента в связи с периодическим законом

В своих воззрениях на элементы Менделеев исходит из представлений Дальтона: «Связав понятие о химических элементах новыми узами с дальтоновым учением о кратном или атомном составе тел, периодический закон открыл для естественной философии новую область мышления»².

Менделеев развивает взгляды Дальтона прежде всего в плоскости углубления познания связи качественной и количественной сторон химических явлений. «Связь этих двух сторон, по моему мнению, — пишет он в «Основах химии», — составит нить, долженствующую вывести химиков из лабиринта современного... запаса данных. Такая связь лежит в основе той системы элементов, которой подчинено всё моё изложение». Эта связь выражена Менделеевым в следующей формуле: «*свойства атомов и частиц зависят прежде всего от их массы*»³.

Величайшая заслуга Менделеева в том, что он сумел раскрыть конкретный вид этой связи, воплотив её в периодический закон. «*Свойства простых тел, — говорит он, — ...находятся в периодической зависимости* (или, выра-

¹ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 176.

² Там же, стр. 169.

³ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 257.

жаясь алгебраически, образуют периодическую функцию) *от величины атомных весов элементов*¹.

Понятие элемента получает теперь новое, более глубокое обоснование; преодолевается отмеченный выше недостаток дальтоновских представлений.

Периодический закон вскрыл *органическую* связь между *всеми* элементами, устранив случайность наличия такого-то их числа.

Объединив все элементы в систему, Менделеев получил как бы единую «узловую линию», где в каждом «узле» количественное изменение атомного веса влечёт за собой качественное изменение химических свойств элементов.

Отныне нельзя уже, как раньше, рассматривать элементы *изолированно, вне их взаимной связи*.

Истинное понимание свойств элемента достигается лишь при сопоставлении его с другими элементами, согласно расположению в периодической системе. «...Обычное представление о химических элементах состоит в том, — пишет Менделеев, — что атомы их так самостоятельны и самобытны, что они оказывают своё самостоятельное влияние, *природою* атомов определяемое. Вместо этого понятия о природе элементов должно теперь поставить понятие о *их массе* и, следовательно, необходимо рассматривать не влияние элемента, самого по себе взятого, а его влияние сравнивать, с одной стороны, с влиянием элементов, близких по массе, и, с другой стороны, с элементами, относящимися к той же группе, но к другому периоду»².

Рассмотрение элементов в их внутренней связи и есть то принципиально новое, что прежде всего внёс Менделеев в представления об элементах.

Главным признаком в понятии элемента становится теперь «место», занимаемое элементом в периодической системе. Это «место» определяет основные свойства элемента, а вместе с тем и самый элемент. «Каждый элемент по периодической системе, — говорит Менделеев, — имеет место, определяемое группой (означаем римскою цифрою) и рядом (цифра арабская), в которых находится. Они указывают величину атомного веса, аналогию, свойства и

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, М.—Л. 1934, стр. 80—81.

² Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 330—331.

форму... соединений, словом, главные количественные и качественные признаки элемента»¹.

«Местоположение элемента R в системе, — пишет он в другой работе, — определяется... соседними элементами того же ряда X и Y, а также двумя элементами той же группы со следующим меньшим (R') и следующим большим атомным весом (R''). Свойства R определяются из известных свойств элементов X, Y, R' и R''»².

Далее Менделеев устанавливает чрезвычайно важное обстоятельство, что место в периодической системе есть *однозначный*, а потому и определяющий признак элемента. «Судя по всему, что сейчас известно, — пишет он, — на каждое место системы приходится только один элемент»³.

Таково, по сути дела, *менделеевское определение элемента*. В нём резко подчеркнута качественная сторона понятия элемента, но ещё отсутствует представление о порядковом номере как главнейшей количественной характеристике элемента; место же элемента определяется двумя координатами: номером ряда (ордината) и номером группы (абсцисса).

Обычно принято считать, что *основным положением* Менделеева было признание решающей роли атомного веса в определении элемента, поскольку атомный вес принимался за аргумент, периодическую функцию которого составляли химические свойства (индивидуальность) элемента. В работах Менделеева можно найти много мест, как будто прямо подтверждающих это мнение. Но есть существенная разница между теми представлениями, какие складывались в *личном сознании* самого Менделеева, и теми, какими он *фактически, на деле* руководился в своих исследованиях. Те и другие иногда не только не совпадали, но и прямо противоречили друг другу. Это, впрочем, наблюдалось не у одного Менделеева, но и у многих великих естествоиспытателей прошлого и нашего века.

Такое же скрытое противоречие существовало у Менделеева в понимании химических элементов и их опреде-

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, стр. 86.

² Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 99.

³ Там же, стр. 106.

ляющих признаков — атомного веса и места элемента в периодической системе.

Действительно, атомные веса сыграли *решающую* роль при самом открытии периодического закона, ибо иначе этот закон открыть в то время было невозможно. Когда же он был открыт и на его основе была построена периодическая система, то решающая роль в работах Менделеева фактически перешла от атомного веса к связям между элементами, т. е. к *месту*, занимаемому элементом в системе. Атомный же вес, хотя и продолжал играть очень важную роль, фактически стал рассматриваться Менделеевым как величина, зависящая от места в системе.

Прежде всего следует подчеркнуть, что Менделеев выводит величину атомного веса, исходя из места элемента в системе (координаты места «указывают величину атомного веса»), т. е. он поступает так, как если бы атомный вес фактически был величиной *производной* от места в системе. Такой взгляд Менделеев проводил вплоть до изменения величины эмпирически установленных атомных весов отдельных элементов в соответствии с тем, как этого требовало определённое место в периодической системе. Ко времени открытия периодической системы значения атомного веса у ряда элементов были установлены неправильно (например, у In, U, Ce, La и др.), вследствие ошибочности формул оксидов, на основании которых вычислялись атомные веса.

В силу этого перечисленные элементы первоначально не находили своего места в системе. Менделеев же исходил из того, что место есть *главный и однозначный признак элемента*. Он прежде всего выяснял, на какое ещё *не занятое* место попадает по своему качеству — по совокупности свойств — данный элемент, несмотря даже на то, что принятый для него атомный вес может и противоречить такому положению элемента в системе. После этого он проверял и исправлял формулу оксидов элемента, а вместе с тем и его атомный вес. Так, для индия, исходя из формулы In_2O_3 , первоначально принимался атомный вес $\text{In} = 75$; Менделеев доказал, поместив индий в III группу, что состав оксида должен быть In_2O_3 , так что атомный вес нужно увеличить в полтора раза, приняв $\text{In} = 113$. Тогда индий займёт вполне определённое место в 7-м ряду, между $\text{Cd} = 112$

и $\text{Sn} = 118$. Точно так же для урана принималось $U = 120$, исходя из U_2O_3 ; Менделеев исправил последнее на UO_3 , поместив уран в группу VI, в связи с чем атомный вес возрос вдвое, до $U = 240$, и уран занял определённое место в последнем ряду системы.

Так однозначно были распределены *все* известные тогда элементы, что практически подтвердило правильность нового определения элемента. «...Применимость периодического закона к исправлениям атомных весов мало исследованных элементов не подлежит сомнению, — писал Менделеев. — ...Я вижу немаловажное подтверждение правильности этого закона в том обстоятельстве, что для *всех* пока более или менее известных элементов при помощи периодического закона можно дать совершенно определённое место в системе»¹.

Ещё более ярко существо нового понимания элемента проявилось в предсказании Менделеевым неизвестных до того элементов и их свойств.

При размещении элементов в системе обнаружилось, что число мест *больше* числа известных элементов, так что после размещения *всех* элементов оставались незаполненные места. Менделеев сделал гениальное предположение, что не только каждому элементу соответствует определённое место в системе, но и обратно: каждому месту должен соответствовать определённый химический элемент. Пробелы между заполненными местами свидетельствовали, следовательно, о том, что соответствующие элементы ещё не открыты. «...Из таблиц.., в которых выражены периодические отношения элементов, можно видеть, что до сих пор не хватает нескольких элементов, которых следует ожидать в рядах»², — пишет Менделеев в 1871 г.

Определение свойств ещё не открытых элементов явилось вместе с тем определением самих элементов. Так, были теоретически предсказаны элементы, названные Менделеевым экабором (Еb), экаалюминием (Еa) и экасилицием (Еs), которые затем воплотились в скандий, галлий и германий; их свойства определялись заранее из рассмотре-

¹ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 108—109.

² Там же, стр. 120.

ния мест в системе, которые должны будут занять ожидаемые элементы. Предсказания Менделеева блестяще оправдались; так, например, в отношении атомных весов

было предсказано: $Eb \approx 44$ $Ea \approx 68$ $Es \approx 72$;
оказалось: $Sc = 45,10$ $Ga = 69,72$ $Ge = 72,6$.

Это явилось новым блестящим подтверждением правильности менделеевского понятия об элементах, в котором решающая роль отведена не атомному весу, а *месту*, занимаемому элементом в системе.

Особенно рельефно последнее обстоятельство выступило при распределении элементов в системе.

В общем случае Менделеев располагал химические элементы в порядке возрастания атомных весов; но там, где ход возрастания атомных весов не совпадал с естественным ходом периодической зависимости, он *изменил* последовательность расположения элементов и более тяжёлые элементы поставил перед более лёгкими; такое изменение имело место в трёх случаях: у Co (58,9) и Ni (58,7), у Te (127,5) и J (126,9), а затем у Ag (39,9) и K (39,1) (в скобках указаны атомные веса). Это ещё раз доказывает, что за основной фактор, определяющий свойства элемента, Менделеев фактически принимал *не сам по себе атомный вес, а место, занимаемое элементом в периодической системе*.

Получилось так, что Менделеев уже задолго до Мозели не располагал элементы строго в порядке возрастания атомных весов, а располагал в порядке их естественного ряда, т. е. в порядке номеров их мест в периодической системе, хотя сам он не имел, конечно, никакого представления ни о заряде ядра атомов, ни о рентгеновских спектрах элементов.

Очень важно общее замечание Менделеева о возможности частичных отклонений в рядах системы. Например, отмечая известную неправильность в соотношении закисных форм у ртути и таллия, он пишет: «... в периодическом законе можно ожидать нечто вроде возмущений (пертурбаций), которые тем не менее не могут заставить усомниться в правильности закона»¹.

¹ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 104.

Иначе говоря, некоторые «пертурбации» в отдельных свойствах не меняют того основного положения, что по своей качественной определённости, по совокупности всех свойств, взятых в целом, каждый элемент занимает определённое место в периодической системе. Неправильности в нарастании атомных весов являются подобными «пертурбациями», которые «не могут заставить усомниться в правильности закона», хотя лично Менделеев склонен был думать, что в данном случае расхождения объясняются ошибками опыта при определении атомных весов¹.

Таким образом, *везде*, где значение атомного веса приходило в противоречие с местом в системе, Менделеев отдавал преимущество месту, но не атомному весу, рассматривая, таким образом, место элемента как действительный аргумент периодической зависимости, хотя и не получивший ещё точного количественного выражения.

Резюмируя, можно сказать, что, согласно определению Менделеева, *элемент есть вид атомов, свойства которых определяются местом в периодической системе.*

Это определение выражает глубоко диалектический взгляд на элементы, ибо *отдельное* (химический элемент) определяется через *общее* (через периодическую систему). Менделеевское определение замечательно ярко подтверждается словами Ленина:

«Значит, противоположности (отдельное противоположно общему) тождественны: отдельное не существует иначе как в той связи, которая ведет к общему. Общее существует лишь в отдельном, через отдельное. Всякое отдельное есть (так или иначе) общее. Всякое общее есть (частичка или сторона или сущность) отдельного. Всякое общее лишь приблизительно охватывает все отдельные предметы. Всякое отдельное неполно входит в общее и т. д. и т. д. Всякое отдельное тысячами переходов связано с другого *рода* отдельными (вещами, явлениями, процессами). И т. д.»².

Значение для периодического закона замечания Ленина, указывающего на переходы между отдельными вещами, выяснится при рассмотрении структуры, или формы, менделеевской таблицы элементов.

¹ См. Д. И. Менделеев, *Избранные сочинения*, т. II, стр. 517—518, В. И. Ленин, *Философские тетради*, 1938, стр. 327.

Диалектический характер менделеевского определения проявляется и в том, что элемент выступает теперь, во-первых, как *звено единой органической связи всех элементов*, во-вторых, как *узел в ряду качественных изменений элементов, вызываемых количественными изменениями их основных свойств*, в-третьих, как *ступень в последовательном развитии и усложнении элементов*. Периодический закон является законом развития вещества в области неорганической природы, а периодическая система представляет как бы отражение своеобразной спиралевидной «траектории» этого развития.

Все эти особенности менделеевского понятия элемента резюмированы в представлении *о месте элемента в периодической системе*, в котором воплощается взаимная связь и превращение противоположностей — общего и отдельного.

Менделеевское определение элемента носило теоретический характер. Вместе с периодической системой оно *обобщало всё предшествующее развитие химии*; им охватывались более чем полувековые работы химиков по изучению *атомных весов*, область учения *о валентности* и работы по определению состава *солеобразных соединений*; им охватывались попытки *классифицировать* химические элементы, открытия *изоморфизма* (сходство кристаллической формы веществ), изучение *атомных объёмов* и т. д. и т. д. Все эти исследования, обогащая представление об атомах, концентрировались, как в фокусе, в менделеевской системе, где они выступили теоретически обобщённо, обнаружив свою подчинённость единой закономерности. Менделеев был прав, говоря: «Таким образом периодическая законность прямо вытекла из запаса обобщений и проверенных сведений, существовавших к концу 60-х годов, она есть их свод в одно более или менее систематическое, цельное выражение»¹.

Менделеев показывает, что сделанное им теоретическое обобщение изменяет самый характер открытия новых элементов, которые ранее протекали чисто эмпирически, случайно. «Открытие новых элементов, — пишет он, —

¹ Д. П. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 165.

было только делом наблюдения и поэтому было обусловлено или случайностью или выдающимся чутьём исследователя. С таким открытием не было связано особого теоретического интереса... Новый путь открывает в этом направлении периодический закон»¹.

Значение открытия Менделеева как *теоретического* высоко оценивал Энгельс, подчёркивая, что в периодической системе конкретизируется один из основных законов диалектики. Сравнивая предвидение Менделеевым новых элементов с открытием Леверрье, Энгельс писал:

«Менделеев, применив бессознательно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил научный подвиг, который смело можно поставить рядом с открытием Леверрье, вычислившего орбиту еще неизвестной планеты — Нептуна».

Узкий эмпирик, не заглядывающий дальше непосредственных фактов, никогда не мог бы сделать такого открытия. Менделеев же как теоретик сумел подняться до стихийного применения диалектического метода и за непосредственными фактами увидеть скрытую сущность явлений.

Менделеев ясно понимал, поскольку это позволял уровень тогдашних знаний о веществе, *сущность*, или *смысл*, периодического закона. Первый раздел одной из наиболее важных своих работ он озаглавил так: «*Сущность периодического закона*»². Сущность закона он правильно видел в установлении единства между качественной и количественной сторонами элементов в форме периодической зависимости и последовательных переходов количественных изменений в качественные.

Менделеев считал, что в этом разделе «выяснена сущность периодического закона»³, что «из всего вышесказанного вытекает смысл периодического закона»⁴.

В то же время он ясно видел, что ему удалось вскрыть только *первую ступень сущности* закона и что за этой ме-

¹ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 120.

² Там же, стр. 83.

³ Там же, стр. 97.

⁴ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 180.

нее глубокой кроется более глубокая сущность, в виде причины, обуславливающей периодическую зависимость; эту причину Менделеев не в силах был ещё установить. «Я не буду ни здесь, ни далее, — пишет он, — выставлять гипотезы для объяснения сущности периодического закона». К этому тексту Менделеев делает следующее примечание: «Хотя я знаю, что для полного понимания предмета надо кроме наблюдений (а также опытов) и законностей (а также систем) ещё давать и толкование их»¹.

«Объяснения причины периодического закона мы не знаем»², — подчёркивает он в другой работе, считая, что искать причины периодичности («объяснение сущности») ещё преждевременно, что это — дело будущего.

Признание Менделеева, что ему неизвестна более глубокая физическая причина периодического закона, нельзя истолковывать как признание, будто ему вообще был неизвестен смысл этого закона. Тем более нельзя, основываясь на подобном смешении понятий, умалять теоретическое значение менделеевского открытия. Поэтому мы не можем согласиться с Резерфордом, который, отдавая должное Менделееву, вместе с тем, правда, в очень осторожной форме, писал, что в XIX в. периодический закон был «в некотором смысле эмпирическим обобщением, которому нельзя было дать никакого объяснения»³.

Менделеев прекрасно понимает, что его формулировка закона является не абсолютной, а относительной истиной. «Возможно, — говорит он, — изменение выражения

¹ Д. П. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 97—98.

² Д. П. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 423 (см. примечание).

³ Труды юбилейного Менделеевского съезда, т. II, М.—Л. 1937, стр. 343. Прямое умаление теоретического значения менделеевского открытия мы находим в работе Таннери, который пишет: «Предсказания Менделеева сравнивали с теоретическими соображениями Лаверрье, приведшими к открытию Нептуна... Разумеется, это было преувеличением. Периодическая система долгое время представляла собой простое индуктивное обобщение и неоднократно перестраивалась» (П. Таннери, Исторический очерк развития естествознания в Европе, М.—Л. 1934, стр. 214). Такой взгляд, будучи неверным, резко расходится с приведённой выше оценкой Энгельса. (См. также статью А. В. Раковского в данной книге).

закона; можно найти более точное выражение этой зависимости; по моему убеждению, несомненно сохранится основной смысл, который дан периодическим законом, потому что он противоположен классической доктрине, утверждающей, что природа элементов зависит не от их массы, но от неизвестных причин»¹.

Менделеев оказался прав. Новейшая физика уточнила понятие количественной и качественной сторон в химическом элементе и подтвердила, что *связь этих двух сторон существует*, причём существует именно в форме периодической зависимости, — так что основной смысл менделеевского закона, несомненно, не только сохранился, но ещё более укрепился.

В чём же был недостаток взглядов самого Менделеева на периодический закон и на химические элементы? Менделеев не хотел признать вывода, к которому с необходимостью приводила открытая им система, что в природе реально происходят взаимные переходы и превращения элементов. Категорически отрицая правомерность такой трактовки периодической системы², он во всех своих работах развивает мысль о принципиальной «самобытности», «самостоятельности», «индивидуальности» химических элементов, понимая под этим их неразложимость и непревращаемость. Наиболее, пожалуй, ярко несогласие Менделеева с идеей превращения элементов выявилось в тот момент, когда великие физические открытия на рубеже XIX и XX вв. начали подтверждать эту идею.

Легко показать, что этот, по существу метафизический, устаревший, взгляд находился в вопиющем противоречии со всем содержанием великого менделеевского открытия. Он явился выражением непонимания того обстоятельства, что между массой атома и электрическим зарядом существует теснейшая связь и что природа вещества проявляется не только в свойствах механической массы, но и в электромагнитных свойствах материи. Отсюда — ошибочное отрицание Менделеевым теории электролитической диссоциации, электронной теории, теории радиоактивного распада. Отсюда его неудачная

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 279.

² См., например, Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 159—160, 171.

попытка создать механико-химическую гипотезу мирового эфира.

Всё это в значительной мере было обусловлено тем, что в то время, когда складывались взгляды Менделеева на элементы, отсутствовали данные о физическом строении атома.

Несмотря на это, уже в 1889 г. Менделеев указывает на *спектры* простых тел и отмечает, что в них «можно заметить явную периодичность»¹. Сопоставляя спектры химически аналогичных элементов, Менделеев приходит к выводу, что хотя здесь ещё не видно точных закономерностей, но уже видно «отражение периодического закона». Он предвидит, что спектры поглощения дадут обширнейший материал «для суждения о строении веществ», ибо «спектры делают видимым многое не только на отдельных громадных мирах, таких как звёзды, но и в безгранично мелких мирах, таких как частицы, и разработка в этой области обещает многое выяснить в области атомов и частиц»².

Своей оценкой значения спектрального анализа Менделеев предвосхитил путь, по которому научное познание должно было углубляться дальше в сущность периодического закона, переходя от менее глубокой и уже познанной сущности ко всё более и более глубокой.

4. Подтверждение и развитие менделеевского определения элемента

Развитие физики и химии XX в. преодолело ограниченность взглядов Менделеева на элементы, полностью удержав их рациональное содержание. При этом закон Менделеева вовсе не явился только материалом для объяснения, а сам стал отправным моментом ряда важнейших физических открытий. На это правильно указывает академик С. И. Вавилов³ в отношении известного постулата Паули; этот постулат теснейшим образом связан с вопросом о числе элементов в каждом периоде менделеевской системы и с

¹ Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, стр. 179.

² Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, стр. 351, 347, 350.

³ См. Труды юбилейного Менделеевского съезда. т. II, стр. 10.

вопросом о числе электронов в каждом из слоёв электронной оболочки атома.

То же относится к теоретическим выводам из открытия Мозели.

Мозели показал экспериментально, что квадратный корень из частот характеристических линий рентгеновских спектров различных элементов есть линейная функция натурального ряда целых чисел; если перенумеровать в последовательном порядке все места элементов в системе Менделеева, то окажется, что найденная Мозели величина есть линейная функция порядкового номера элемента N .

Без открытия Менделеева нельзя было выяснить физическое значение целых чисел, эмпирически найденных Мозели, ибо, прежде чем могло родиться представление о *порядковом номере*, должно было твёрдо установиться представление о самом *порядке* элементов как объективно существующей закономерности.

Под элементом попрежнему понималось вещество, занимающее определённое *место* в периодической системе; только это самое место стало обозначаться более точным признаком — одной «координатой» N вместо прежних двух, которые стали теперь играть подчинённую роль. *Основное положение Менделеева не было отменено. Уточнилась лишь его формулировка.* После открытия Мозели все члены менделеевского ряда остались на своих местах, так что ряд Мозели совпал с рядом Менделеева. Точнее говоря, Мозели и не открывал какого-либо *нового* ряда, заменяющего собой ряд Менделеева, а лишь придал месту элемента недостающую ему количественную характеристику в виде атомного номера N .

В 1913 г. высказывается мысль, что порядковый номер элемента численно равен положительному заряду ядра атома Z и, следовательно, числу электронов в нейтральном атоме; исходя из этого, Бор создаёт свою известную модель атома, широко использовав данные спектрального анализа.

Согласно современным представлениям, в основе элемента, как качественно определённого вида атомов, лежит атомное ядро. Важнейшими свойствами ядра являются заряд, равный числу протонов, и масса, определяемая суммарным числом протонов и нейтронов и общим за-

пасом внутренней энергии ядра. Заряд ядра определяет число электронов в нейтральном атоме и общую их конфигурацию, а также физические и химические свойства, которые связаны преимущественно (но не исключительно) с этой конфигурацией; в более сложной связи с зарядом ядра находится масса атома, которая примерно равна удвоенному заряду, выраженному в атомных единицах. Небольшие расхождения в атомном весе у изотопов оказывают лишь второстепенное влияние на физические и химические свойства атома, так как не нарушают общей конфигурации электронной оболочки, тип которой определяется зарядом ядра.

Монотонное количественное изменение заряда ядра (постепенное его возрастание на единицу) при одновременном более или менее правильном количественном изменении массы вызывает каждый раз качественный скачок, означающий переход от одного элемента к другому; следствием изменения заряда является периодическое изменение конфигурации электронной оболочки и связанных с нею свойств элементов.

В пониженном атоме, по сравнению с нейтральным, меняется общее число электронов и в известных пределах нарушается их нормальная конфигурация, преимущественно в наружном слое оболочки. Конфигурация электронной оболочки меняется при образовании любого химического соединения. Например, в результате образования HCl атом водорода теряет, а атом хлора приобретает один электрон. В атоме хлора электроны группируются различным образом, когда он входит в кислоты HCl , HClO , HClO_2 , HClO_3 , HClO_4 ; молекулярный хлор (Cl_2) отличен в этом отношении от атомарного (Cl). В связи с этим химические свойства соединений, обусловленные присутствием атома хлора, резко различны. Наружная часть электронной оболочки оказывается *изменчивой* частью атома. Самый же хлор в этих превращениях остаётся одним и тем же химическим элементом. Изменение его свойств в результате *любых* химических реакций не влечёт за собой изменения его *качественной* определённости как особого вида атомов. Следовательно, у каждого элемента должен быть какой-то *постоянный, устойчивый, коренной* признак, который сохраняется при вхождении данного элемента в

любое соединение и изменение которого означает качественное превращение элемента.

Менделеев считал, что таким коренным и притом однозначным признаком элемента является его *атомный вес*; Менделеев писал:

«...При всей перемене в свойствах простых тел, в свободном их состоянии, *нечто* остаётся постоянным, и при переходе элемента в соединения это *нечто* — материальное и составляет характеристику соединений, заключающих данный элемент. В этом отношении поныне известно только одно числовое данное, это именно атомный вес, свойственный элементу. Величина атомного веса, по самому существу предмета, есть данное, относящееся не к самому состоянию отдельного простого тела, а к той материальной части, которая обща и свободному простому телу, и всем его соединениям»¹.

Развитие науки показало, что *в этой части* взгляды Менделеева на элементы оказались неточными. На основании изучения изотопов было установлено, что атомный вес не является *однозначным* признаком элемента. Те значения атомных весов, которые химики определяют практически и которыми оперировал Менделеев, в действительности не принадлежат *отдельным* атомам, а представляют собой среднеарифметические величины, которые определяются атомными весами отдельных изотопов и относительными количествами этих изотопов. Так, например, обычный хлор имеет средний атомный вес 35,457, вследствие того, что он состоит из двух изотопов — Cl^{35} и Cl^{37} , смешанных примерно в соотношении 3 : 1.

Отсюда следует, что изменение в атомном весе, например при переходе от Cl^{35} к Cl^{37} , не влечёт, или, вернее, не всегда влечёт за собой качественное изменение химического элемента со свойственной ему конфигурацией электронной оболочки и совокупностью физических и химических свойств.

Поэтому строить понятие химического элемента на признаке атомного веса сейчас уже нельзя.

В настоящее время можно считать твёрдо доказанным, что основным, определяющим признаком элемента являет-

¹Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 8.

ся *заряд* ядра. Так, например, ядро любого атома водорода имеет всегда положительный заряд, равный 17.

Современное теоретическое определение элемента, данное Панетом, поэтому гласит, что «химический элемент есть вещество, все атомы которого имеют одинаковый ядерный заряд»¹.

Но признание равенства заряда ядра равносильно признанию, что все атомы данного элемента стоят под одним и тем же порядковым номером, или, что то же самое, занимают определённое место в периодической системе. Это определение отличается от менделеевского тем, что оно указывает физическую *причину* (заряд ядра), обуславливающую понятие «место в периодической системе». Оно не противостоит менделеевскому, а в своей основе совпадает с ним.

Против теоретического определения Панета выступили некоторые химики, которым казалось, что поскольку химический элемент является веществом, доступным непосредственно нашим чувствам, то и определять его надо на основе чувственно обнаруживаемых признаков и свойств, таких, например, как его неразложимость. Заряд же ядра казался им каким-то отвлечённым числом, выражающим алгебраическую сумму зарядов, составляющих ядра атомов². «Однако, — писал Фаянс, — ввиду того, что определённый таким образом заряд ядра есть математическая абстракция, им нельзя пользоваться, — как это было предложено, — для естественно-научного определения элемента»³. Фаянс упорно защищал узко эмпирическое определение в противовес теоретическому. Но он был в корне неправ. Заряд ядра и порядковое число являются

¹ F. Paneth, Handbuch der Physik, Bd. 22, Berlin 1926, S. 561. См. также E. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, 1933, стр. 41 и 114. Это определение принято во многих современных учебниках и руководствах.

² Первоначально считали, что ядро состоит из протонов и электронов; разность между их числами даёт заряд ядра. В настоящее время принимается, что свободных электронов в ядре нет; ядро состоит из протонов и нейтронов. Заряд ядра равен числу протонов, т. е. числу конкретных материальных частиц. Таким образом, заряд ядра не есть голая абстракция, а величина реальная, вполне осязаемая.

³ К. Фаянс, Радиоактивность и современное учение о химических элементах, Гиз, 1922, стр. 91

материальными признаками элемента, а не математическими абстракциями; главное их назначение при определении элемента состоит в том, чтобы указать точную, количественную характеристику места, занимаемого элементом в менделеевской системе. Поэтому в понятии заряда и атомного номера особенно подчёркивается количественная, численная сторона.

Понятие же элемента определяется, в конечном счёте, на основе периодического закона как общего закона, сформулированного в виде научной абстракции. Но, как мы уже показали, эта абстракция не является формально-логической, отрывающей общее от единичного, а, напротив, является диалектической абстракцией, отражающей общее в его связи с отдельным как момент самой действительности.

Против Фаянса можно привести слова Энгельса, сказанные по поводу абстрактного и конкретного: «Общий закон изменения формы движения гораздо конкретнее, чем каждый отдельный «конкретный» пример этого»¹.

Перефразируя слова Энгельса, можно сказать, что определение химического элемента через общий периодический закон гораздо конкретнее, чем перечисление отдельных «конкретных» чувственно ощутимых физических или химических свойств каждого элемента.

Ту же самую мысль мы находим у Ленина, который говорил:

«Абстракция *материи, закона* природы, абстракция *стоимости* и т. д., одним словом *все* научные (правильные, серьёзные, не вздорные) абстракции отражают природу глубже, вернее, *п о л н е е*»².

Основываясь на таком понимании научной абстракции, следует признать возражение Фаянса против определения Панета несостоятельным.

Остановимся теперь подробнее на изотопах, т. е. на веществах, атомы которых имеют одинаковый заряд ядра, но разную массу, или атомный вес.

Понятие изотопии служит примером, как отживают, казалось бы твёрдо установленные классификационные признаки.

¹ Ф. Энгельс, Диалектика природы, стр. 178.

² В. И. Ленин, Философские тетради, стр. 166.

В связи с изучением радиоактивности было обнаружено, что число различных продуктов превращения радиоактивных элементов значительно превышает число мест в системе между свинцом и ураном. Но вслед за Далтоном химики считали, что, во-первых, число элементов должно быть обязательно равно числу всех различных родов атомов, независимо от того, в чём состоит их различие, и что, во-вторых, решающим признаком элемента является атомный вес. Так исторически была подготовлена почва для ошибочной мысли, будто каждый изотоп есть самостоятельный химический элемент. Одним из наиболее горячих защитников подобного взгляда был тот же Фаянс.

Однако такое понимание химического элемента пришло в резкое противоречие с основным положением Менделеева, что каждому элементу соответствует строго определённое место в периодической системе, и наоборот; выходило, что число элементов, если принять его равным числу изотопов, должно быть значительно *больше* числа мест в системе.

Таким образом, устаревшее дальтоновское понятие пришло в столкновение с современным менделеевским. Победило определение Менделеева.

Так как Менделеев считал место в системе *решающим* признаком элемента, то оказалось более естественным в соответствующем *духе* менделеевских взглядов открыто отказаться от признания *решающей* роли атомного веса в характеристике элемента и рассматривать изотопы не как разные элементы, а как один и тот же элемент. Поэтому два изотопа хлора Cl^{35} и Cl^{37} , хотя и различаются по своей массе, но представляют не различные элементы, а один и тот же химический элемент хлор, поскольку оба они стоят под одинаковым порядковым номером 17, имеют одинаковый положительный заряд ядра, одинаковую конфигурацию электронной оболочки, а потому занимают *одно и то же место* в периодической системе. Отсюда и название «изотоп» (от греческого «изос» — одинаковый, «топос» — место). В отличие от Дальтона теперь стали считать, что элементы различаются не *вообще*, а лишь по своим *химическим* свойствам и что, следовательно, число элементов не равно общему числу различных родов

атомов, а меньше его. Классификационные признаки атомов и самое понятие «род атомов» подверглись, таким образом, дифференциации. Химический элемент с точки зрения современной науки есть *вид* атомов, изотоп же есть *разновидность* элемента ¹. Видовым признаком является *заряд* ядра, признаком изотопа — *масса*, или атомный вес, точнее сказать — *массовое число*. Число элементов, следовательно, равно числу *видов* атомов.

Реальный, встречающийся в природе элемент представляет собой, как правило, *смесь* изотопов. Общепринятый в современной науке термин «смешанный элемент» («Mischelement») означает «элемент, состоящий из нескольких родов атомов» ².

Несмотря на все эти коренные изменения во взглядах на элементы, основное содержание старого представления *удержалось*: химическим элементом, например кислородом, называется теперь *тот же самый реальный качественно определенный вид атомов*, что и раньше. Отпали лишь ограниченности дальтоновских представлений, согласно которым все атомы кислорода абсолютно тождественны между собой, тогда как оказалось, что их сходство носит *относительный* характер и допускает любые различия, кроме различия в заряде ядра.

Но метафизическая идея абсолютной тождественности атомов не была ещё окончательно преодолена: её защитники приспособились к новым фактам, в чём им оказало сильную поддержку эмпирическое определение элемента, данное Панетом. По Панету, «химический элемент есть вещество, которое никаким химическим способом не может быть разложено на простые вещества» ³.

¹ «Изотопы суть разновидности элементов», — правильно определяет А. В. Раковский (Энциклопедический словарь Гранат, 1937, т. 53, стр. 426). Не совсем чётко эти понятия разграничивает Ида Ноддак (см. журнал «Успехи химии», т. IV, вып. 1, 1935, стр. 20).

² *F. Paneth*, Handbuch der Physik, Bd. 22, 1926, S. 561. См. также *Е. Рабинович* и *Э. Тило*, Периодическая система элементов, стр. 41 и Труды юбилейного Менделеевского съезда, т. II, 1937, стр. 24, а также стр. 341 и далее.

³ *F. Paneth*, Handbuch der Physik, Bd. 22, 1926, S. 532. См. также *Е. Рабинович* и *Э. Тило*, Периодическая система элементов, стр. 41.

Однако, согласно теоретическому определению того же Панета, смесь изотопов должна рассматриваться как *один* элемент; отсюда следовало, что изотопы вообще не могут быть разделены *химическим* путём.

Под влиянием таких взглядов химики полностью оторвали химические свойства атома от его массы и стали считать, что только заряд ядра и конфигурация электронной оболочки определяют собой химические свойства, но что масса атома не оказывает на них абсолютно никакого влияния. Тем самым факт *чрезвычайной химической близости* изотопов был истолкован как факт их *абсолютной химической тождественности*. «Изотопы... оказываются вполне идентичными друг с другом по всем тем свойствам, которые обусловлены наружными электронами, в первую очередь по химическим свойствам»¹, — писал ещё в 1929 г. Эфраим.

Этот ограниченный взгляд на изотопы был опровергнут новыми открытиями и в первую очередь открытием тяжёлого изотопа водорода с массой 2, названного дейтерием. Тяжёлый водород и тяжёлая вода оказались *отличными по своим физическим и химическим свойствам и даже по физиологическому действию от обычного водорода и обычной воды*. Об этом свидетельствует уже самый способ получения тяжёлой воды (предложенный Юри и Люнсом), который основан на применении электрохимического процесса: при электролизе воды скорость выделения обычного водорода (H) в сто раз больше скорости выделения дейтерия (D). Во всех химических реакциях тяжёлый водород ведёт себя *отлично* от обычного: например в обменной реакции между HF и DJ он вытесняет H из фтористоводородного соединения, причём реакция носит экзотермический характер.

Степень диссоциации молекул D₂ и H₂ на атомы также существенно различна; при 727° C она различается почти вдвое. Так же различны теплота испарения и плавления, упругости пара, температуры кипения и плавления, химические константы — словом, все физические и химические свойства.

Интересно отметить, что такое свойство, как вязкость, возрастает у тяжёлой воды на 25% по сравнению с обычной

¹ Ф. Эфраим. Неорганическая химия. ч. II, 1933, стр. 336.

(при 20°C), тогда как масса возрастает у неё на 10%. Если бы влияние массы было только гравитационным, как это преимущественно имеет место в случае удельного веса, то вязкость не должна была бы возрастать, а упала бы обратно пропорционально плотности, т. е. примерно на 10%. Факт *увеличения* вязкости тяжёлой воды свидетельствует, что масса оказывает здесь отнюдь не просто гравитационное влияние, а изменяет характер проявления электростатических сил в атоме и молекуле.

А между тем различие между Н и D только в массе, но не в заряде и не в конфигурации электронной оболочки: ядро Н состоит из одного протона, ядро D — из протона и из нейтрона. Перед нами два изотопа, *химически различные между собой*.

Укрепившийся было метафизический взгляд на изотопы потерпел крах. Как пишет Э. Х. Фрицман. «в учении об элементах существовало мнение, что изотопы только физически отличаются от своих основных элементов; это мнение оказалось ложным, так как тяжёлый водород отличается от обыкновенного и по своим химическим свойствам»¹.

Тогда была сделана последняя попытка спасти старое понятие изотопии и вместе с тем спасти эмпирическое определение элемента как вещества, не разложимого на составные части химическим путём. Было предложено (Содди) исключить из числа изотопов дейтерий и обычный водород, поскольку они имеют химические различия, и считать их самостоятельными химическими элементами; тогда все остальные изотопы у каждого элемента можно было бы попрежнему считать химически тождественными. Однако спасти ограниченно-эмпирическое определение элемента и метафизическое определение изотопа не удалось. Попытка Содди как явно несостоятельная, в корне противоречащая всем современным воззрениям на элементы, была оставлена².

¹ Э. Х. Фрицман, Природа воды, Л. 1935, стр. 213.

² Уже самые названия: протий (первый) для обычного водорода Н¹, дейтерий (второй) для Н², или D, тритий (третий) для недавно открытого сверхтяжёлого водорода Н³ или Т, — показывают, что речь идёт о последовательном перечислении разновидностей *одного и того же элемента*. Поэтому только недоразумением можно объ-

Возникновение и последующее крушение метафизического взгляда на изотопы отмечает Ида Ноддак в 1934 г. «После первого ознакомления с сущностью этих изотопов, — пишет она, — были сделаны попытки разделить их химическим путём. Эти попытки оказались безрезультатными. Физика в своём развитии показала нам, что химия обуславливается наружными орбитами электронов. Так как элементы с равным зарядом ядра обладают и одинаковым расположением электронов, то изотопы элемента должны быть химически равноценными.

Это утверждение было догмой, хотя оно и было теоретически обосновано. Оно должно поэтому разделить удел всех догм, т. е. в один прекрасный день оно должно быть опровергнуто. Первые признаки этого уже налицо. Нахождение тяжёлого изотопа водорода с атомным весом 2 и впервые удачно применённое Вошберном... электролитическое его отделение дают возможность установить, что у изотопов водорода существует некоторое различие в химических свойствах... Принципиально подобная же химическая неоднородность изотопов должна существовать и у других элементов, и можно высказать предположение, что найдутся новые пути для химического разделения изотопов»¹.

Но всё же химики ещё некоторое время продолжали держаться того мнения, что «для всех случаев изотопии характерна химическая неотделимость изотопов» и что только «изотопы водорода представляют собою исключение из этого общего правила»².

Но уже ближайшие исследования ряда лёгких элементов (Li, C, N, O) показали, что, хотя и в меньшей степени, чем у водорода, у их изотопов достаточно заметно обнаруживаются *химические* различия, используя которые можно разделять или обогащать их смеси³. Так, путём химической обменной реакции

яснить, что иногда дейтерий считают самостоятельным элементом на том основании, что он имеет особые название.

¹ Журнал «Успехи химии», т. IV, вып. 1, 1935, стр. 20.

² М. Полянчи. Тяжёлая вода и химия, М. 1936, стр. 3.

³ См. А. И. Бродский, Стабильные изотопы лёгких элементов (журнал «Успехи физических наук», т. XX, вып. 1, 1938, стр. 153).

иона Li в растворе LiCl с амальгамой Люиса и Макдональду удалось повысить концентрацию Li^6 вдвое в его смеси с Li^7 . Положительные результаты получили Юри и Тейлор, подвергавшие электролизу LiOH ; здесь разделение обуславливается различием для обоих изотопов скорости электродного процесса: перехода иона в нейтральный атом. Для углерода обогащение достигается обменной химической реакцией между CO_2 и HCO_3^+ , для азота — между NH_3 и NH_4^+ . Здесь, как и у водорода, реакции с участием лёгкого и тяжёлого изотопов имеют свои определённые константы равновесия, свидетельствующие о различии химических свойств у изотопов. С другой стороны, различие упругости пара и, следовательно, точки кипения позволяет вести разделение с помощью фракционной перегонки (например, для изотопов кислорода). Всё это доказывает, что изотопы водорода вовсе не составляют какого-то исключения, но что различие масс (атомных весов) существенным образом влияет на химические свойства, особенно у лёгких элементов, и тем больше, чем больше относительная разница в весе изотопов. Это значит, что между числом протонов и нейтронов в ядре и химическими свойствами атома существует реальная связь и что эмпирическое определение Павета попросту неверно.

В последнее время понятие «род атомов» претерпело дальнейшее изменение благодаря изучению ядерной изомерии¹.

При действии нейтронов на бром образуются два радиоактивных изотопа брома, причём один из этих радиобромов, Br^{80} , существует в двух различных изомерных формах; оба изомера содержат по 35 протонов и 45 нейтронов, но один изомер Br^{80} распадается, испуская электроны, значительно быстрее, чем второй (периоды их полураспада равны 18 мин. и 250 мин.). Разницу в скорости распада, а следовательно, и в свойствах атомных ядер можно объяснить тем, что связи между нейтронами и протонами в ядре распределяются различными способами и соответственно этому имеется различие в

¹ См. Н. Дмитриев, Ядерная изомерия (журнал «Успехи физических наук», т. XIX, вып. 4, 1938, стр. 535).

запасе внутренней энергии ядер. Если изотоп есть разновидность элемента, то ядерный изомер есть разновидность изотопа. В результате образуется своего рода лестница признаков, каждая ступень которой охватывает свой качественно определённый круг явлений.

Рассмотрим эту лестницу в отношении того же брома.

Верхнюю её ступень занимает бром как химический элемент, обозначаемый символом Br. Его отличие от других элементов, например от хлора, является коренным: у Cl ядро атома содержит 17 протонов, у Br — 35.

Затем следует менее коренное различие между радиоактивными и нерадиоактивными изотопами брома; оно обусловлено тем, превышает ли число нейтронов (приходящих на 35 протонов) или нет границу устойчивости данного ядра, с чем связано появление или отсутствие радиоактивных *свойств*.

Далее следуют различия ещё менее коренные, чем предыдущие, между отдельными изотопами брома; они обусловлены числом нейтронов, т. е. *составом* ядра. У Br^{78} это число равно, очевидно, 43, у Br^{81} — 46.

Наконец, идут различия между ядерными изомерами брома, вызванные различным распределением связей при одинаковом числе нейтронов, т. е. *строением* ядра.

Можно предполагать, что существуют и другие, не известные нам пока различия атомов и их ядер, ещё менее заметные, чем различия между ядерными изомерами.

Надо подчеркнуть, что отличие изомера Br^{80} от другого *изомера* есть отличие *иного порядка* (менее глубокое), чем отличие Br^{81} от другого изотопа, скажем, от Br^{82} ; в свою очередь отличие Br^{80} от Br^{82} иного порядка, чем отличие Br^{80} от другого *химического элемента*, скажем, от хлора или иода. Ставить все эти различия на одну доску — значит зачёркивать качественные различия между ступенями в строении вещества. Так получается, например, когда, следуя за Фаянсом, химики связывают понятие элемента не с *зарядом* ядра, а с *составом* ядра, вследствие чего каждый изотоп рассматривается как отдельный химический элемент.

Надо помнить, что говорил Энгельс по поводу строения материи: «Новая атомистика отличается от всех прежних тем, что она... не утверждает, будто материя *только*

дискретна, а признает, что дискретные части различных ступеней... являются различными *узловыми точками*, которые обуславливают различные *качественные* формы существования всеобщей материи вплоть до такой формы, где отсутствует тяжесть и где имеется только «отталкивание»¹.

Вместе с тем всё ярче обнаруживается, что нельзя возводить в абсолют установившиеся на данный момент классификационные понятия, так как они носят относительный характер и требуют постоянного уточнения в соответствии с развитием науки. Определение элемента, данное Дальтоном, устарело: однако его нельзя полностью отбросить; его надо *изменить*, а для этого нужно знать, *какая* его сторона действительно устарела, а *какая* сохранила своё значение. Дальтон считал, что число элементов обязательно равно числу *всех* возможных родов атомов. Этот взгляд полностью устарел, да и прежде он не был правилен. Но вместе с тем Дальтон называл элементом *реальный элемент* — и в этом была здоровая основа дальтоновского понятия. *Реальные элементы* продолжают, разумеется, и сейчас существовать объективно, как качественно определённые *виды* атомов, независимо от того, научились ли мы подразделять их на разновидности — на изотопы и изомеры, — равно как независимо от того, научились ли мы разлагать мельчайшие их частички — атомы — на электроны, протоны, нейтроны и т. д. или нет. Раз так, то наука попрежнему должна выражать эти реальные элементы определённым понятием. Дальтоновское понятие и было уточнено в теоретическом определении Панета как раз настолько, чтобы на *новом* уровне развития науки достигать этой цели.

Современные химики продолжают вслед за Дальтоном и Менделеевым называть *химическими элементами* именно реальные, качественно различные между собой элементы, а не что-либо другое. Бромом называются и два устойчивых изотопа Br^{78} и Br^{81} и их реальная смесь, и два искусственных радиоброма Br^{80} и Br^{82} , и оба ядерных изомера Br^{80} , и все вообще атомы, свободные или

¹ Ф. Энгельс, Диалектика природы, стр. 238. (Под отталкиванием Энгельс понимал то, что в физике навывается энергией.)

связанные в любые молекулы, нейтральные или ионизированные, имеющие заряд ядра, равный 35, независимо от того, что их физические и химические свойства различны, ибо все разновидности брома принадлежат веществу, занимающему определённое место в периодической системе, порядковый номер которого равен 35.

Такова историческая заслуга Менделеева, заложившего фундамент современного теоретического определения элемента, — этого наиболее важного для химии научного понятия.

5. Форма менделеевской таблицы и понятие элемента

Огромную организующую роль в научном развитии периодического закона и современного понятия элемента сыграла та *форма* таблицы элементов, в которую Менделеев воплотил свою систему. В ней наглядно конкретизировался основной признак элемента — его *место* в системе. Поэтому нельзя говорить о понятии элемента, не рассмотрев особенностей менделеевской таблицы и путей её развития в наше время.

Первой по времени у Менделеева явилась «лестничная» таблица, в которой периоды не разбивались на ряды, а ставились как целые вертикально, один рядом с другим (см. «Опыт системы элементов», 1869). Эта таблица подчёркивала главным образом только одну, правда, наиболее существенную сторону периодической системы, а именно — сближение *несходных* элементов; соседями в ней оказываются химически различные элементы, но близкие по величине атомного веса. Именно такое сближение несходных элементов и ставил себе целью в первую очередь Менделеев, в противовес прежним попыткам сближать только сходные элементы (как это было, например, в триадах Деберейнера). В своей работе «Соотношение свойств с атомным весом элементов» (1869 г.) он писал: «Цель моей статьи была бы совершенно достигнута, если бы мне удалось обратить внимание исследователей на те отношения в величине атомного веса *несходных* элементов, на которые,

сколько то мне известно, до сих пор не обращалось почти никакого внимания»¹.

Вполне поэтому естественно, что как *первый* вариант у Менделеева должна была возникнуть именно *лестничная* таблица². Насколько полно уже тогда разработал Менделеев эту форму таблицы, видно хотя бы из того, что позднее она почти целиком была воспринята Ю. Томсоном, а затем использована Н. Бором³.

Особенность лестничной системы состояла в том, что она ничем не ограничивала *места элемента в таблице*. Поэтому все места в ней оказались совершенно *равноценными*. Каждый элемент был поставлен в *одинаковые* условия, наравне со всеми остальными элементами.

Однако уже в самом процессе открытия периодического закона Менделееву стало ясно, что понятие «место элемента в системе» означает прежде всего *наличие определённых соотношений между элементами*. Соотношения же между элементами чрезвычайно разнообразны и отнюдь не однотипны и не равноценны.

Степень сходства между элементами имеет несколько градаций, которыми обусловлена специфичность каждого места в системе. Задача состоит в том, чтобы графически изобразить по возможности главные черты и оттенки в соотношении и переходах между элементами. С этой точки зрения первоначальная таблица оказалась слишком неопределённой и вместе с тем негибкой, одеревенелой, а потому огрубляющей реальные связи между элементами. Расположение элементов каждого периода в один ряд не соответствовало реальному содержанию понятия «место элемента в системе». В целом лестничная форма таблицы недостаточно полно и наглядно выражала многие существенные стороны периодической системы. Поэтому Менделеев, хотя и удерживал её, но придавал ей явно второстепенное значение. Главное же внимание уже с первого издания «Основ химии» он перенёс на *короткую таблицу*. Её можно назвать также *восьмиклеточной*, так как каждый ряд в ней разбит на 8 клеток.

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 16.

² См. таблицу I на стр. 39 данной книги.

³ См. таблицу II на стр. 186 данной книги.

На первый взгляд может показаться, что выбор формы таблицы происходил у Менделеева случайно, произвольно, чисто эмпирически. Однако в действительности дело обстояло иначе. Прежде чем остановиться окончательно на той или другой таблице, как лучшей из всех теоретически возможных, Менделеев проанализировал и рассмотрел со всех сторон самые различные типы таблиц; у каждой он взвесил не только её недостатки по сравнению с восьмиклеточной, но и все преимущества, если таковые имелись. В четвёртом издании «Основ химии» (1881 г.) он сопоставляет свою «короткую» таблицу, основанную на расположении элементов по группам и рядам, со своей «длинной» таблицей, где элементы расположены по периодам и которая явилась развитием первоначального варианта лестничной таблицы.

Менделеев разобрал множество таблиц, выдвинутых позднее также и другими авторами¹. Ни один более или менее интересный вариант не ускользнул от его внимания. Из множества различных вариантов он смело выбирает *одну форму таблицы, как наиболее соответствующую смыслу периодического закона* и представлению о месте элемента в системе. Анализируя эту форму таблицы с точки зрения современного состояния науки, мы убеждаемся, насколько глубоко она продумана.

Почему же Менделеев выбрал, вернее, создал именно такую таблицу? Почему в отличие от других таблиц она так прочно удерживается современной наукой, несмотря на то, что краеугольный камень — неразложимый атом с неизменным атомным весом, — на котором, казалось бы, строил её Менделеев, рухнул? В чём её сила и жизненность?

В том, что она лучше других отражает реальные связи и соотношения, сходства и различия между элементами, позволяя наиболее всесторонне вскрыть и показать содержание периодического закона, а тем самым графически наиболее полно и удачно выразить понятие «место элемента в системе». Ни одна из позднее или ранее предложенных таблиц не была в *целом* (если она даже имела частичные преимущества) настолько совершенной, чтобы

¹ См. Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, 1934, стр. 353, 505—508 и др.

стать выше 8-клеточной таблицы. Рассмотрим эту последнюю в её современном виде (см. табл. I).

Будем сравнивать её с современной лестничной системой (см. таблицу II), а также с современной длинной системой в том виде, как её разработали Вернер и Пфедфер (см. табл. III).

При оценке всех этих таблиц будем исходить из того, насколько они: 1) *правильно*, 2) *полно и всесторонне*, 3) *просто и ясно* выражают объективные зависимости и соотношения между элементами.

Наиболее совершенной будем считать ту таблицу, которая максимально удовлетворяет этим трём требованиям, причём удовлетворяет без каких-либо дополнительных построений, в силу одной лишь своей формы, т. е. в силу одного лишь расположения мест элементов.

Напротив, введение каких-либо особых конструктивных приёмов (стрелок, рамок и пр.) будем считать признаком несовершенства данной формы таблицы. С первого взгляда может показаться страшным и даже искусственным, что короткая система Менделеева (см. табл. I) объединяет в одной вертикальной группе довольно различные между собой элементы; например в I группе очень сильные щелочные металлы соединены вместе с такими химически слабыми металлами, как Cu, Ag, Au, причём Cu попадает в одну клетку с K, Ag с Rb, Au с Cs.

Однако оказывается, что такое соединение имеет глубокий смысл, ибо, несмотря на *различие*, обе подгруппы (лития и меди) *сходны* в ряде весьма важных свойств. У тех и у других элементов внешний слой электронной оболочки атомов содержит один электрон; следующий за ним слой содержит либо 8 электронов¹, представляя аналог ближайшего инертного газа (у щелочных металлов), либо 18 электронов, представляющих также относительно устойчивую конфигурацию (у Cu, Ag, Au). Такое строение электронной оболочки обуславливает одновременно *и сходство и различие* между элементами обеих подгрупп, в частности по линии валентности и спектров. Соединяя их в *одну группу*, менделеевская

¹ У лития предпоследний слой содержит 2 электрона, представляя собою конфигурацию оболочки галлия.

таблица подчёркивает их аналогию и объективные связи друг с другом. Разделяя же их внутри группы на две подгруппы: главную (левую) и побочную (правую), она показывает, что сходство между ними не носит коренного характера, что оно допускает существенные различия: например, существует двухвалентная медь, трёхвалентное золото.

Таким образом, соединяя безусловные аналоги в один столбец, а относительные аналоги помещая сбоку от него, менделеевская короткая таблица позволяет одновременно выражать в единстве два противоположных момента: сходство и различие элементов.

То же самое наблюдается у остальных элементов. Например, Mg по своим свойствам одновременно связан с элементами подгруппы щелочных земель и подгруппы цинка и т. д.

Двойные отношения между элементами есть факт. Таблица элементов должна поэтому графически отобразить его.

Необходимость учёта этих двойных отношений элементов подчёркивают особенно Рабинович и Тило; в своей монографии они отмечают, что главные сходства элементов ни в коем случае не должны заслонять собой сходства более слабые. «...Химическая инертность... — пишут они, — является настолько ярким признаком, что о спектральных связях между гелием и щелочными землями обычно забывают»¹.

Эти двойные отношения свидетельствуют о том, что никаких резких, абсолютных границ между элементами не существует, что имеются переходы между химически

¹ Е. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, 1933, стр. 57. Примером подобной «забывчивости» может служить таблица элементов (редактор и составитель профессор Я. И. Михайленко, 1938), из которой выпали многие раздвоенные линии, в частности выражающие реальные связи между H и щелочными металлами, между этими последними и элементами группы меди, между He и Be и т. д. С другой стороны, в ней нанесена грань, резко разделяющая элементы по чисто формальному признаку на два противоположных класса: металлы и неметаллы. Тем самым реальные переходы между обоими классами оказались зачёркнутыми, а такие металлы, как свинец и олово, попали в число неметаллов только потому, что число электронов в наружном слое у них такое же, как и у неметалла углерода.

инертными и активными элементами, равно как между металлами и неметаллами. Отсюда следует, что нельзя резко отделять и противопоставлять друг другу металлы и неметаллы.

Против подобного, по существу метафизического, деления элементов правильно возражал ещё Менделеев¹; он считал, что система, построенная на такой основе, является *искусственной*²; он указывал, что кроме элементов с резко выраженными металлическими и неметаллическими свойствами «существуют переходные элементы»³.

Переходность элементов выражается отмеченными двойными соотношениями, которые, в частности, связывают между собой элементы обоих противоположных классов. Особенно наглядно это видно на примере водорода, который связан одновременно и с типичным металлом — литием — и с типичным неметаллом — фтором.

«...Водород, — пишут Рабинович и Тило, — может с одинаковым правом рассматриваться в качестве первого элемента в ряду щелочных металлов или в ряду галоидов. С точки зрения спектроскопии и электрохимии существует большая аналогия между водородом и щелочными металлами; по остальным физическим свойствам, водород, напротив, должен рассматриваться как самый лёгкий галоид; многие его химические соединения также совершенно аналогичны химическим соединениям галоидов»⁴.

Это переходное положение водорода и, следовательно, специфические особенности его «места» в системе очень важно отметить как конкретный пример диалектики периодической системы. В своё время Энгельс указывал, что непримиримые противоположности и насильственно закреплённые границы классификации придали естествознанию ограниченно-метафизический характер.

«Центральным пунктом диалектического понимания природы является признание той истины, что эти проти-

¹ См. Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 3.

² Там же, стр. 181.

³ Там же, стр. 57.

⁴ Е. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, 1933, стр. 57.

воплощенности и различия, хотя и существуют в природе, но имеют только относительное значение»¹.

Путём включения в одну клетку *различных*, но вместе с тем *сходных* элементов короткая система Менделеева показывает связи и переходы между элементами, отсутствие между ними резких границ, показывает, что тождество и различие элементов должны рассматриваться не в разрыве, а в единстве, говоря словами Энгельса, «во включении различия в тождество»².

Достигает этого короткая таблица исключительно благодаря особенностям своей формы, не требуя никаких дополнительных графических построений; двойные отношения выражены в ней непосредственно как прямой результат расположения элементов.

«Этого не достигают другие таблицы. Правда, длинная таблица (см. табл. III) имеет, казалось бы, тот плюс, что каждому элементу она отводит *отдельную* клетку, позволяя, таким образом, рассматривать в первую очередь связи элементов в горизонтальном направлении (вдоль по периоду). «...Длинная система, — пишут Рабинович и Тило, — тем и отличается от короткой, что подчёркивает преобладание внутри больших периодов «горизонтальных связей» над «вертикальными»³. «Все элементы в ней даётся одинаковое право на определённое место»⁴ (т. е. на отдельную клетку).

То же можно сказать и о лестничной таблице в её современном виде (см. табл. II).

Однако место, отгороженное от других рамками отдельной клетки, оказывается слишком изолированным; тем самым многосторонность соотношений оказывается стёртой, а сами соотношения — разорванными.

Этот коренной недостаток нельзя устранить простым расположением мест элементов ни в длинной, ни в лестничной таблицах, ибо его не в силах преодолеть *форма* этих таблиц, которой он органически присущ.

¹ Ф. Энгельс, Анти-Дюринг, стр. 14.

² Ф. Энгельс, Диалектика природы, стр. 172.

³ Е. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, стр. 71.

⁴ Там же, стр. 70.

Действительно, если воспользоваться лестничной таблицей (см. табл. II), то без дополнительных конструктивных приёмов, сама по себе, она не в состоянии выразить двойственность соотношений элементов. В связи с этим приходится выражать двойные отношения элементов с помощью раздвоенных линий, причём главные связи указывать сплошными линиями, побочные — пунктирными, пересекающимися с первыми.

Длинная же таблица (см. табл. III) вообще не в состоянии решить задачу в части выражения двойных соотношений элементов, так как никаких дополнительных линий ввести в неё совершенно нельзя. Поэтому в ней, как указывают Рабинович и Тило, «в группы соединяются лишь элементы, безусловно сходные друг с другом».

Напротив, короткая таблица блестящим образом решает эту задачу, причём без всяких стрелок, штрихов и пунктиров. «В короткой системе, — пишут те же авторы, — трудности с двойными соотношениями... исчезают сами собой». И, что особенно важно, в этой таблице «просто можно изобразить не только наличие двойных соотношений, но и их относительное значение»¹.

Способностью выражать двойные соотношения не исчерпываются достоинства короткой таблицы: она обладает чрезвычайно богатыми возможностями для того, чтобы конкретизировать понятие «место элемента в системе», ибо позволяет самым дифференцированным образом отражать связи элементов. Менделеев создал эту таблицу настолько гибкой, что она позволяет точно подмечать и проводить самые тонкие качественные различия в степени сходства элементов, позволяет проводить границы между одними элементами более резко и выпукло, между другими — более мягко и сглаженно, между третьими — почти ступёвывать, причём делается это не искусственно, а в соответствии с тем (за очень редким исключением), как обнаруживают себя объективно сами отражаемые связи. В этом и состоит значение короткой менделеевской таблицы.

Так, например, она соединяет всё семейство редкоземельных элементов, или лантанидов, в *одну клетку*. Тем

¹ Е. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, стр. 69.

самым она поддѣрживает, что степень химического различия между членами данного семейства носит качественно другой характер, нежели степень различия между любыми другими элементами. Действительно, у лантанидов происходит достройка более глубокого слоя электронной оболочки — третьего, если считать снаружи (так называемая подгруппа f-электронов), а число электронов в двух наружных слоях остаѣтся неизменным, равным 11. Поэтому изменение химических свойств при переходе от элемента к элементу внутри их семейства происходит почти незаметно сравнительно с переходом между другими элементами. Рабинович и Тило прямо признают, что соединение редкоземельных элементов в одной клетке «оправдывается их исключительно тесным химическим сходством»¹.

Далее оказывается, что сами элементы редких земель внутри себя подразделяются на два маленьких периода по 7 элементов, причѣм элемент гадолиний (Gd) становится водоразделом всего семейства; кроме него, наиболее устойчивыми конфигурациями электронных оболочек обладают два крайних элемента; таким путѣм образуется маленькая группа из трёх элементов: La (достройка f-подгруппы не начата), Gd (достройка доведена до половины) и Lu (достройка закончена). Ионы этих трёх металлов бесцветны, тогда как у остальных они обычно окрашены. Как в «большой» системе элементов соседние с инертными газами металлы и неметаллы стремятся образовывать ионы, подобные инертным газам по конфигурации своей электронной оболочки, так нечто похожее имеется и у редких земель по отношению к ионам La^{+++} , Gd^{+++} и Lu^{+++} ; отсюда известная периодичность в изменении их валентности. Таким образом, получается нечто вроде маленькой периодической системы (из двух строчек, не считая La) внутри единой системы элементов².

Короткая таблица Менделеева позволяет не только соединить элементы редких земель, но и расположить их сообразно их естественным соотношениям.

¹ Е. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, стр. 65.

² См. С. А. Шукарев, Современное состояние периодического закона Д. И. Менделеева (Труды Юбилейного Менделеевского съезда, т. II, 1937, стр. 23).

Но то, что для короткой менделеевской таблицы достигается просто и естественно, то для любой другой системы требует либо введения ещё новых, дополнительных конструктивных приёмов, либо вообще невозможно. Современная лестничная таблица не в состоянии выразить близость между лантанидами; линий, даже ирирных, для этого уже недостаточно. Тем менее она может выразить периодичность изменения свойств лантанидов, которую она вообще игнорирует. Приходится поэтому прибегать к дополнительным «рамкам», охватывающим элементы с достраиваемой внутренней оболочкой, причём одну рамку вставлять в другую. Получается излишнее нагромождение линий, штрихов и стрелок, вследствие чего теряется ясность и чёткость графического изображения (см. табл. II). Рабинович и Тило отмечают, что хотя «эта форма натуральной системы, пожалуй, может оспариваться меньше всех других, но её недостаток заключается в меньшей наглядности; поэтому, например, для преподавания она едва ли в состоянии заменить наглядную табл. 9»¹.

Отсутствие наглядности у таблицы есть признак её неспособности просто и ясно выражать объективные соотношения между элементами.

Длинная же система (см. табл. III), которую предпочитают Рабинович и Тило, вообще лишена возможности выразить близость лантанидов, если только она не прибегнет к укорачиванию своего VI периода, т. е. если она не воспользуется приёмом *короткой* таблицы: все лантаниды помещаются в одну клетку с La (порядковый номер 57), так что вертикальные группы от 3 до 16 включительно сокращаются².

Суммируя сказанное выше, следует подчеркнуть, что существуют по крайней мере *четыре* степени сходства между элементами, каждую из которых короткая таблица Менделеева может выразить особым приёмом. Она различным образом сближает места элементов, смотря по тому, состоит ли сходство элементов в близости атомных весов, или в близости химических свойств, или в том и другом одновременно.

¹ Е. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, стр. 65 (табл. 9 соответствует приведённой здесь табл. III).

² Там же, стр. 58 (табл. 8).

1. Химически несходные элементы, но близкие по порядковым номерам или атомным весам, она сближает в *горизонтальном* направлении, помещая их в одном ряду и в разных клетках; ср. S и Cl.

2. Химически сходные элементы (аналоги), но далёкие по атомным весам, она сближает в *вертикальном* направлении. Если при этом сходство отдалённое, а элементы принадлежат одному периоду, она помещает их в *одну* клетку *наискось* от другого (по диагонали) и, следовательно, в разных рядах; ср. Ca и Zn.

3. Если же сходство очень близкое, а элементы принадлежат разным периодам, она помещает их один под другим в *разных* рядах и клетках; ср. As и Sb.

4. Наконец, химически сходные элементы и близкие по атомным весам она сближает в *горизонтальном* направлении и помещает в одном ряду и в одну клетку. Таковы члены триад (ср. Co и Ni) и лантаниды (ср. Ce и Pr)¹.

Итак, достоинством короткой системы является присутствующая её форме способность просто и ясно отражать объективно существующие химические сходства элементов; достигается это в основном двумя очень простыми приёмами: во-первых, каждый длинный период подразделяется на два ряда, причём близкие и далёкие аналоги размещаются в двух подгруппах; во-вторых, редкие земли объединяются в одной клетке и располагаются согласно их внутренней закономерности. Поэтому главная особенность 8-клеточной таблицы состоит в том, что она *отказывается изображать место элемента в системе в виде отдельной клетки*; с помощью клеток она выражает не отдельные места элементов, а наличие химической близости между элементами; с этой целью она помещает два или более элементов в *одну общую клетку*. Благодаря этому границы места элемента в системе делаются весьма гибкими и подвижными; они утрачивают ту односторонность и ту одеревенелость, которые органически свойственны современным лестничной и длинной таблицам с их изображением каждого места элемента в виде особой клетки. Разбирая короткую систему формально, с точки зрения внешней симметричности

¹ Таковы и «ураниды» (по мнению одних авторов) и «актиниды» (по мнению других).

расположения элементов, можно сделать вывод, что подразделение периодов или включение нескольких элементов в одну клетку нарушают общую стройность и гармоничность системы, а потому являются её недостатками. Однако единственно правильной постановкой вопроса будет такая: *отражают* эти подразделения и включения объективно существующие связи или нет? Если отражают, то они *необходимы*, и попытка исправить их приведёт только к тому, что внешне гармоничная и стройная система окажется внутренне фальшивой. При такой постановке вопроса сразу становится ясным, что подразделение и сдваивание длинных периодов, включение в одну клетку более одного элемента — всё это не минусы, а как раз *плюсы* менделеевской таблицы, ибо она располагает элементы в таком порядке не произвольно, а в строгом соответствии с объективными соотношениями. Именно благодаря своей весьма совершенной форме она позволяет просто и естественно, путём одного только расположения элементов сближать сходные из них, но ровно настолько, чтобы не стереть их различия.

Действительные недостатки короткой таблицы лежат в совершенно иной плоскости; они состоят в том, что наряду с правильно подчеркнутыми соотношениями короткая система содержит в себе некоторые неточности. «Короткая система даёт, правда, больше длинной, но зато наравне с правильными соотношениями содержит и неверные»¹, — пишут Рабинович и Тило. Так, например, не вполне оправдано объединение элементов 8-й группы (железа и др.) в отдельные триады, несколько оторванные от смежных с ними, более лёгких металлов. Далее, чтобы установить двойственность связей у N и Ne, надо помещать оба элемента вторично в скобках над соответствующими группами. Значение валентности по кислороду, равное 8, не всегда оправдывается для элементов 8-й группы, например, у Fe, Co и Ni. Однако подобные погрешности перекрываются тем положительным, что даёт короткая таблица, если взять её в целом. Вот почему, критически разобрав с точки зрения современной науки ряд вариантов периодиче-

¹ Е. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, стр. 70.

ской системы, Рабинович и Тило делают следующий вывод: «Из всего только что сказанного можно заключить, что идеальной формы периодической системы, удовлетворяющей всем требованиям, не существует. Много раз пытались помочь делу сложными кривыми или изображениями в пространстве, но все эти способы изображения не могли укорениться. Новых теоретических точек зрения эти работы не дали. Неизменно оправдали себя только простые формы таблиц Менделеева... поэтому мы в дальнейшем будем пользоваться исключительно ими»¹.

* * *

С полной уверенностью можно сказать, что менделеевская короткая таблица оказалась наиболее приспособленной к современному уровню развития физики и химии. За истекшее после смерти Менделеева время она претерпела существенные изменения, так что пользоваться ею не значит тянуть химию на треть века назад, как думают некоторые недалековидные химики. Сравнивая таблицу 1906 г. (8-е издание «Основ химии») с современной таблицей (см. табл. I), мы констатируем:

1. Открыты и размещены новые элементы, в частности радиоактивные; заполнилось 17 мест, пустовавших во время Менделеева, т. е. почти одна пятая всех мест

¹ *Е. Рабинович и Э. Тило*, Периодическая система элементов, стр. 69—70. Подобно Рабиновичу и Тило короткой таблицей пользуются авторы лучших современных учебников по химии (см. учебники Б. Н. Меншуткина, А. А. Яковкина, А. В. Раковского, Л. В. Писаржевского, Г. Реми и многие другие). Характерно, что попытка Б. В. Некрасова создать особую таблицу элементов типа лестничной таблицы Менделеева кончилась тем, что фактическое изложение своего курса автор ведёт в полном соответствии именно с короткой таблицей Менделеева, и каждая глава специальной части его учебника посвящена точно определённой вертикальной группе с двумя подгруппами. Этот пример доказывает, что чем лучше написан учебник, тем труднее избежать необходимости прибегнуть к наилучшей форме системы элементов и тем ревче обнаруживается, что фактическим стержнем учебника неизменно оказывается не какая-либо особая форма таблицы, а короткая система Менделеева, которая, естественно, как наиболее правильная, является самой лучшей и для целей преподавания.

СОВРЕМЕННАЯ КОРОТКАЯ СИСТЕ

Периоды	Число элементов в периоде	Ряды.	Г P :				
			I	II	III	IV	V
I	2 1 ²	1	(H)	(He)			
II	2 · 2 ²	2	Li ³ _{6,940}	Be ⁴ _{9,02}	B ⁵ _{10,82}	C ⁶ _{12,010}	N ⁷ ₁₄
III	2 · 2 ²	3	Na ¹¹ _{22,997}	Mg ¹² _{24,32}	Al ¹³ _{26,97}	Si ¹⁴ _{28,08}	P ¹⁵ ₃₀
IV	2 · 3 ²	4	K ¹⁹ _{39,098}	Ca ²⁰ _{40,08}	21 Sc _{45,10}	22 Ti _{47,90}	23 V _{50,96}
		5	29 Cu _{63,57}	30 Zn _{65,38}	31 Ga _{69,72}	32 Ge _{72,60}	33 As _{74,92}
V	2 · 3 ²	6	Rb ³⁷ _{85,48}	Sr ³⁸ _{87,63}	39 2 Y _{88,9}	40 Zr _{91,22}	41 Nb _{92,91}
		7	47 Ag _{107,880}	48 Cd _{112,41}	49 In _{114,76}	50 Sn _{118,70}	51 Sb _{121,75}
VI	2 · 4 ²	8	Cs ⁵⁵ _{132,91}	Ba ⁵⁶ _{137,36}	57-71 лантаниды * _{138,9}	72 Hf _{178,6}	73 Ta _{180,98}
		9	79 Au _{197,2}	80 Hg _{200,41}	81 Pt _{204,39}	82 Pb _{207,21}	83 Bi _{208,98}
VII	период не закончен	10	87 —	Ra ⁸⁸ _{226,05}	89 — Ac	90 Th _{232,12}	91 Fr ₂₃₁
Высшие солеобразные окислы			R ₂ O	R ₂ O ₂	R ₂ O ₃	R ₂ O ₄	R ₂ O ₆
Высшие газообразные водородные соединения			—	—	—	RH ₄	RH ₃

* 57-71
Лантаниды

Ce ⁵⁸ _{140,13}	Pr ⁵⁹ _{140,92}	Nd ⁶⁰ _{144,27}	— ⁶¹	Sm ⁶² _{150,43}	Eu ⁶³ _{152,0}	Gd ⁶⁴ _{157,25}
Tb ⁶⁵ _{158,93}	Dy ⁶⁶ _{162,5}	Ho ⁶⁷ _{164,93}	Er ⁶⁸ _{167,26}	Tm ⁶⁹ _{168,93}	Yb ⁷⁰ _{173,04}	Ce ⁷¹ _{175,0}

La ⁵⁷_{138,9}

	VII	VIII	O
	H ¹ _{1,0078}		He ² _{4,003}
000	F ⁹ _{19,00}		Ne ¹⁰ _{20,183}
06	Cl ¹⁷ _{35,457}		Ar ¹⁸ _{39,944}
2r 36	²⁵ _{54,93} Mn ³⁵ _{79,916} Br	²⁶ _{55,84} Fe ²⁷ _{58,94} Co ²⁸ _{58,69} Ni	Kr ³⁶ _{83,7}
10 2 7,61	⁴³ ? Ma ⁵³ _{126,92} J	⁴⁴ _{101,7} Ru ⁴⁵ _{102,91} Rh ⁴⁶ _{106,7} Pd	Xe ⁵⁴ _{131,3}
√ 4 -	⁷⁵ _{186,31} Re 85 -	⁷⁶ _{190,2} Os ⁷⁷ _{193,1} Ir ⁷⁸ _{195,23} Pt	Rd ⁸⁶ ₂₂₂
J			
	R ₂ O ₇ RH	R ₂ O ₈ -	R

СОВРЕМЕННАЯ ЛЕСТНИЧНАЯ СИСТЕМА
ЭЛЕМЕНТОВ

Таблица II

1	2																														
H	He																														
3	4	5	6	7	8	9	10																								
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne																								
11	12	13	14	15	16	17	18																								
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar																								
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36														
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr														
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54														
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ma	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe														
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	-	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Cp	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	-	Rd
87	88	89	90	91	92																										
-	Ra	Ac	Th	Ra	U																										

У Менделеева, а так же у Бора и Томсона этой системе придана вертикальная форма; для удобства мы воспользовались горизонтальной формой, следуя в этом отношении за Рабиновичем и Туло.

Таблица III

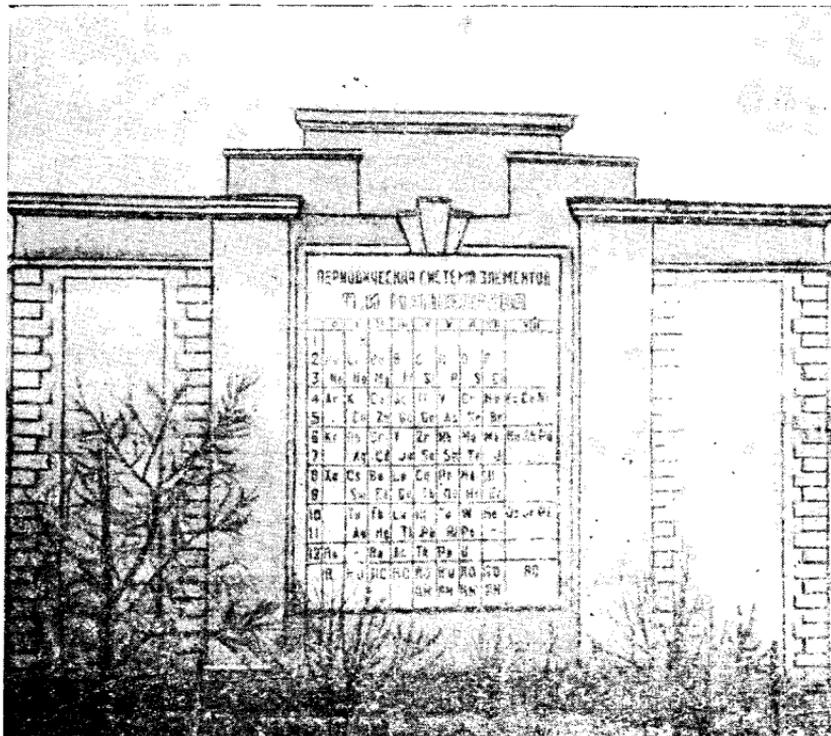
ДЛИННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ*

Группы Периоды	Группы																																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
I	(1) H	(2) He																														1 H	2 He		
II	3 Li	4 Be																										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
III	11 Na	12 Mg																										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
IV	19 K	20 Ca																		21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
V	37 Rb	38 Sr																		39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Ma	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 J	54 Xe
VI	55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 —	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 —	86 Rn			
VII	87 —	88 Ra																		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U												

* Атомные веса помещаются так же, как и в таблице I, под символом элемента. Во избежание повторов здесь они нами опущены.

системы. Теперь пустых мест 4, если считать пустующими места, соответствующие нестойким элементам 43, 61, 85 и 87; эти элементы получены теперь синтетически.

2. Редкие земли соединены в одну клетку под № 57—71, причём установлено общее число членов этого семейства;



Памятник, всдвинутый Д. И. Менделееву в Ленинграде, на Международном проспекте (д. № 12).

Менделеев же выделял для них особый период и не мог определить их общего числа.

3. Введено обозначение порядкового номера как количественной однозначной характеристики «места элемента в системе». Тем самым включены в таблицу данные о положительном заряде ядра, соответственно данные об общем

числе электронов у атомов и теоретически оправданы пертурбации атомных весов.

4. Выделен в качестве особого 4-й двухчленный период (H — He), для чего переставлена нулевая группа на правую сторону таблицы. У Менделеева она стояла слева, а потому He был отнесен к началу 2-го ряда. (Кстати, в лестничной таблице у Менделеева 1-й период выделен ясно.)

5. Уточнено распределение элементов между главными и побочными подгруппами; у Менделеева оно было проведено не совсем четко, причём элементы обоих коротких периодов (II и III) были превращены им в «типические» и этим обособлены от элементов других периодов. Установлено, что главные подгруппы содержат атомы, у которых идёт постройка наружного слоя электронной оболочки, побочные группы (кроме относящихся к I и II группам) содержат атомы с достраивающимся внутренним слоем.

6. Если ко времени опубликования Менделеевым последней таблицы элементов (1906 г.) большинство средних атомных весов было определено с точностью до одной десятой, а нередко только до единицы, то теперь точность определений повысилась в 10—100 и даже, в отдельных случаях, в 1 000 раз.

7. Номера периодов и групп получили физическое обоснование с точки зрения электронной теории. Номер периода равен числу электронных слоёв у атомов данного периода (слои K, L, M, N, O...). Номер группы определяет число валентных электронов у элементов данной группы, причём для элементов всех главных подгрупп и обеих первых групп (I и II) он определяет число электронов во внешнем слое.

8. Согласно принципу Паули, определено число элементов в каждом периоде, равное $2n^2$, где n — главное квантовое число, равное 1, 2, 3... Менделеев же мог устанавливать отсутствие элементов лишь в середине периода, а, например, предвидеть отсутствие целой группы инертных газов он уже не мог.

При желании можно около каждого элемента поместить ещё полную характеристику его электронной оболочки, как это иногда делается. Однако это не всегда требуется,

так как сама форма короткой таблицы с помощью разбивки элементов на периоды, ряды, семейства, группы и подгруппы позволяет определять важнейшие моменты электронного строения атома любого элемента.

Таким образом, новейшие научные открытия, уточнив детали менделеевской таблицы, блестяще *подтвердили* рациональность её формы.

Совершенно прав был поэтому Резерфорд, когда в речи, посвящённой столетию со дня рождения Менделеева, он сказал, что работа Менделеева, опубликованная в 1871 г., «содержала классификацию элементов по группам и периодам, по существу не отличающуюся от современных нам»¹.

Сопоставляя ещё раз основные формы менделеевских таблиц, мы констатируем, что их *физическое содержание* одинаково. Ничего больше того, что выражает современная короткая система, современная лестничная система не выражает и выразить не может. Взгляд, будто последняя отвечает больше *духу новой, электронной теории*, а короткая — *духу старой, атомистической теории*, не имеет под собой никакого серьёзного основания. Электронная теория в равной степени составляет основу и главное содержание обеих систем, взятых в их *современном виде*. Весь вопрос только в том, какая из них *естественнее*, т. е. полнее и правильнее, проще и яснее отражает объективные соотношения между элементами и, следовательно, характеризует их места в системе. Самая характерная черта короткой таблицы — её способность *качественно* дифференцировать различные степени сходства между элементами — выступила в полном соответствии с электронной теорией.

С помощью электронных представлений короткая таблица позволяет теперь дифференцировать признаки сходства элементов строго *количественно*: по числу электронов во внешней оболочке, по числу валентных электронов, по числу электронов, участвующих в достройке более глубоких электронных слоёв — 2-го и 3-го.

Короткая таблица прекрасно отражает тот решающий факт, что построение электронной оболочки идёт не ровно,

¹ Труды юбилейного Менделеевского съезда, т. II, стр. 342.

не постепенно и однотипно, а зигзагообразно, с возвратом назад, к недостроенным слоям. Именно поэтому-то, ставясь на точку зрения электронной теории, и нельзя ставить все элементы данного периода в один ряд, нельзя рассматривать их как одну ровную, сплошную ступень, что делает лестничная таблица, ибо внутри периода есть ещё другие ступени, которые не просто следуют одна за другой, но явно находят одна на другую, заходят друг на друга и даже образуют внутри большой ступени самостоятельную лесенку более мелких ступеней.

Все эти особенности образования электронной оболочки у атомов нашли своё наиболее удачное выражение как раз в короткой системе.

Тот факт, что результаты электронной теории так легко и естественно уложились в как бы специально предназначенные для них Менделеевым подвижные табличные формы, ещё раз доказывает, что именно короткая таблица и именно с точки зрения электронного строения атома является наиболее совершенной для выражения периодической системы как *естественной* системы элементов.

Следует отметить мнение Рабиновича и Тило, которые считают, что с точки зрения строения атомов более обоснованной является не короткая, а длинная система Менделеева. Но и они вынуждены, однако, признать, что «сходство между известными элементами побочных и главных групп, которое в своё время привело к установлению «короткой формы» периодической системы, основано на сходстве их электронных распределений, особенно ярко выражающемся в числе валентных электронов»¹.

* * *

Подведём итог сравнительной оценки всех трёх основных форм менделеевской системы.

Прежде всего устанавливаем, что лестничная система (см. табл. II) уступает и длинной и короткой в смысле

¹ Е. Рабинович и Э. Тило, Периодическая система элементов, стр. 334.

простоты и ясности изображения связей элементов, не удовлетворяя третьему требованию, предъявляемому к таблицам. Кроме того, она совсем отбрасывает характеристику элементов по атомным весам, рассматривая атомы исключительно с точки зрения строения электронной оболочки.

§ Длинная система (см. табл. III) не даёт *полного* изображения связей элементов, не удовлетворяя второму требованию и отчасти первому, поскольку она, хотя и не содержит в себе неправильных соотношений, но зато отбрасывает множество реальных связей между элементами, не давая тем самым достаточно правильной общей картины переходов.

Короткая система (см. табл. I), давая в *целом* достаточно правильную *общую* картину взаимоотношений элементов, в деталях содержит некоторые погрешности, так как не все изображаемые ею связи в точности отвечают действительности.

Рассмотренная в *целом* короткая таблица по сравнению с остальными попрежнему остаётся наиболее *правильной, полной и ясной*.

В своё время Менделеев, предвидя развитие периодического закона, подчёркивал, что основной смысл его сохранится. Мы видим, что сохранился не только самый смысл закона, но и соответствующая ему основная форма системы.

Короткая менделеевская таблица наиболее *правильна*. Поэтому химики попрежнему кладут её в основу современных учебников, не боясь прослыть консерваторами. Пользоваться ею — значит придерживаться здоровой научной традиции, помогающей сохранять и развивать то ценное, что создала мысль химиков за последние три четверти века с лишним. Отбрасывать же её, при отсутствии более совершенной таблицы, — значит портить дело науки и преподавания.

§ Таковы современные представления о химическом элементе, о его месте в периодической системе, как его основном признаке, и о таблице, выражающей это «место» графически.

Таково значение менделеевского научного наследства для современной химии.

* * *

Вместо общих выводов хочется сделать конкретное предложение.

Как известно, в 1860 г. в Карлсруэ состоялся первый международный химический съезд. Съезд собрался для того, чтобы выяснить ряд вопросов общетеоретического характера, касающихся основных понятий химии. В обращении по поводу его созыва, которое подписали виднейшие химики того времени, говорилось о необходимости «устранить некоторые недоразумения» и в первую очередь дать «более точное определение понятий, обозначающих: атом, молекула, эквивалентность».

Необходимость в таком уточнении была огромная, ибо за полвека (1811—1860 гг.), протекшие с момента создания молекулярного учения Авогадро, было немало блужданий научной мысли в связи с разграничением таких понятий, как атом и молекула.

Сейчас создано аналогичное положение в связи с определением понятия «химический элемент». Поэтому было бы чрезвычайно важно *поставить на очередном, седьм м, Менделеевском съезде советских химиков вопрос об определении этого основного понятия современной химии.*

Всё развитие новейшей физики и химии доказало, что такое определение может быть дано только на основе периодической системы.

Признав, что основой современного определения элемента является то определение, которое фактически было дано Менделеевым в связи с периодическим законом, и установив историческую преемственность между обоими определениями, химики докажут, что учение Менделеева об элементах не утратило в настоящее время принципиального значения, несмотря на все свои недостатки.

Такое признание явится лучшим, чем может отметить память великого русского учёного съезд, носящий его имя.

ПОНЯТИЕ «ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ» С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА МЕНДЕЛЕЕВА

В. М. Кедров

1. Определение понятия «химический элемент»

Понятие химического элемента является основным понятием химии.

Однако оно не имеет общепризнанного определения. Начавшаяся по этому поводу более 30 лет тому назад дискуссия между Панетом¹ и Фаянсом² осталась незаконченной, так что до сих пор твёрдо не установлено, что считать элементами: пленды изотопов (т. е. элементы в старом их понимании), или отдельные изотопы, или же, например, электроны и протоны.

Существующая в этом вопросе неясность является результатом того, что дискуссия об элементе велась в неправильной плоскости: химики спорили о том, какие признаки у *отдельно* взятого вещества, изолированного от других веществ, должны служить доказательством его химической элементарности. За таковые прежде всего были выбраны чисто эмпирические признаки: полная неразложимость вещества (Фаянс)³, с одной стороны, и его химическая неразложимость (Панет)⁴, — с другой. Открытия искусственного разложения элементов и химических способов разделения изотопов доказали несостоятельность обоих эмпирических определений.

Одновременно Панет выдвинул другое, более теоретическое определение: «Химический элемент есть вещество,

¹ F. Paneth, Z. phys. Chem., Bd. 91, 1916, S. 171.

² K. Fajans, J. d. Radioakt. u. Elektr., Bd. 14, 1917, S. 314.

³ См. К. Фаянс, Радиоактивность и современное учение о химических элементах, Гиз, 1922; J. d. Radioakt. u. Elektr., Bd. 15, 1918, S. 101.

⁴ См. F. Paneth, Handbuch der Physik, Bd. 22, 1926, S. 520.

все атомы которого имеют одинаковый ядерный заряд¹. Это определение нужно признать формально правильным. Но обосновано оно Панетом слишком односторонне, а потому недостаточно (если иметь в виду существо понятия, а не его формальную сторону). Поэтому оно всё ещё остаётся неубедительным для многих химиков. В заряде ядра Панет видит признак, характеризующий *отдельный* атом или совокупность атомов одного и того же элемента, но взятого также *отдельно*.

Обоснование же научного понятия не может ограничиться рассмотрением объекта в его изолированном состоянии. Главное внимание необходимо перенести как раз на связи и взаимоотношения между элементами; тогда определение элемента сведётся к определению его места в общей совокупности всех элементов. Это значит, что определение элемента как *отдельного* нужно строить на основе того *общего*, что объединяет все элементы. Ибо «отдельное не существует иначе как в той связи, которая ведет к общему» (Ленин)².

Общим, связывающим все элементы в одно целое на основе их внутренней закономерности, является периодическая система Менделеева.

Уже один тот факт, что Менделеев установил свою систему в качестве *естественной классификации* элементов³, показывает, что и само понятие «химический элемент» может быть рационально построено только на основе этой системы.

Фактически с момента своего открытия Менделеев считал важнейшим однозначным, а потому и определяющим признаком элемента его место в периодической системе.

Так как, по Менделееву, место в системе однозначно указывает главные признаки элемента, то отсюда логически вытекало определение элемента, которое мы назовём менделеевским: элемент есть вид атомов, основные свойства которого определяются его местом в системе, или, короче, *элемент есть вид атомов, занимающий определённое место в периодической системе*.

¹ F. Paneth, Z. phys. Chem., Bd. 93, 1918, S. 86.

² В. И. Ленин, Философские тетради, стр. 327.

³ См. Д. П. Менделеев, Периодический закон химических элементов, М. — Л. 1934, стр. 3, 79—142.

Правда, у самого Менделеева такой формулировки мы не встречаем; однако во всех своих работах Менделеев фактически придерживался именно такого понимания элементов; так было при исправлении эмпирически найденных атомных весов, при предсказании неизвестных элементов и описании наперёд их свойств, при расположении элементов в последовательный ряд согласно их периодической зависимости.

Однако в XIX в. представление о «месте» элемента в системе не могло ещё быть охарактеризовано количественно так, чтобы его численное обозначение выражало определённое измеримое свойство самих элементов. Атомный вес для этой цели не годился, хотя бы вследствие отдельных нарушений правильности его нарастания при переходе от одного места в системе к другому. Вследствие этого в менделеевском определении по необходимости отсутствовала однозначная количественная характеристика признака места элемента в системе. Место элемента определялось двумя координатами: номером группы (абсцисса) и номером ряда (ордината), причём вторая координата не имела значения измеримого физического свойства, выражая собой в отвлечённой геометрической форме лишь взаимоотношения между элементами.

Открытия физики XX в. явились подтверждением и развитием менделеевского определения.

Представление о месте элемента в системе легло в основу объяснения открытий: 1) закономерности рентгеновских спектров, 2) радиоактивных превращений, 3) явления изотопии, 4) электронно-ядерного строения атома¹.

Эти открытия неизменно доказывали, что определяющим признаком элемента является его место в системе. Развитием представлений об этом месте явились новые понятия — «порядковый номер», «изотопы», «сдвиг».

Установление в 1913 г. порядкового или атомного числа N означало, что отсутствовавшая в XIX в. однозначная количественная характеристика места была найдена. Правда, число N выступило вначале несколько абстрактно, так как ещё не было экспериментально дока-

¹ См. К. Fajans, Phys. Z., Bd. 62, 1915, S. 456.

зано, что оно представляет собой определённое физическое свойство атома; тем не менее оно получалось не только из рассмотрения периодической системы, но и из непосредственных опытных данных.

Учитывая это, Международная комиссия по атомным весам в 1923 г. сформулировала определение: «Химический элемент определяется атомным порядковым числом»¹.

Здесь целиком сохранён прежний определяющий признак элемента — его место в системе; только теперь этот признак выражен более конкретно и точно. Основа же определения осталась менделеевской, как это показал ещё Бор, назвав атомный номер числом, указывающим «место соответствующего элемента в системе»². Поэтому правильнее было сказать, что *элемент определяется местом в периодической системе, которое характеризуется атомным порядковым числом*.

Уже в 1913 г. число N было ассоциировано с положительным зарядом ядра Z как важнейшим свойством атома. На основе этой ассоциации, а также на основе планетарной модели атома Резерфорда, в том же 1913 г. Нильсом Бором была разработана теория атома. В 1920 г. Чадвик³ доказал экспериментально равенство заряда ядра Z порядковому числу N . Но так как исходное понятие о числе N целиком вытекало из менделеевского представления о месте элемента, то и теоретическую основу учения Бора о строении атома составило в конечном счёте именно место элемента в системе. Теперь это последнее выразилось ещё более конкретно, будучи связано непосредственно с определённым физическим свойством, с зарядом ядра Z , численное значение которого одновременно служило количественной характеристикой места элемента. Поэтому, чтобы указать место в системе, а тем самым определить элемент, достаточно было указать только одно — величину заряда ядра Z .

¹ См. Ж. Урбан, Химический элемент и атом, 1929, стр. 49.

² Журнал «Успехи физических наук», т. 3, 1923, стр. 417.

³ См. Chadwick, Phil. Mag., v. 40, 1920, p. 734; (перев. в сборнике «Современные проблемы естествознания» № 3 Гиз, М. — П. 1923, стр. 114).

Так возникло определение Панета, которое полностью вытекало из электронно-ядерной теории. «С точки зрения атомной модели Резерфорда — Бора, — писал Панет, — такое теоретическое определение будет гласить следующее: элемент есть вещество, все атомы которого имеют одинаковый ядерный заряд»¹.

Легко показать, что это определение, так же как и сама теория Бора — Резерфорда, целиком основывалось на менделеевском определении и являлось его дальнейшим развитием, уточнением и конкретизацией. Но хотя основой определения Панета в конечном счёте было именно прежнес менделеевское представление о месте элемента в системе, однако в самой формулировке Панета отсутствовало указание на связь между признаком *отдельного* элемента — зарядом ядра Z — и *общей* системой элементов. На первый план у Панета выступило, таким образом, отдельное, заслонив собой общее, несмотря на то, что самое представление об этом отдельном родилось исключительно благодаря познанию общего.

Вот почему, чтобы оправдать своё теоретическое определение с точки зрения химии, Панет опирается не на *общий* химический закон Менделеева, а на химические свойства *отдельных* элементов, поскольку они поддаются непосредственному эмпирическому измерению.

«На основе теоретико-физического рассмотрения, — пишет Панет, — можно затем показать, что из одинакового ядерного заряда следует тождество химических свойств и, следовательно, химическая неразложимость». Отсюда у Панета вытекает основное определение элемента, пригодное, по его мнению, для *химии*: «Вещества, которые никаким *химическим* способом не могут быть опять разделены, считаются тем самым элементом».

В заключение Панет уже прямо выводит своё теоретическое определение из эмпирического. Приведя определение элемента как химически неразложимого вещества и аналогичное определение атома², Панет заключает: «Из обоих определённых таким образом понятий по со-

¹ F. Paneth, Z. phys. Chem., Bd. 91, 1916, S. 171.

² «Атомы суть такие кирпичики материи, до которых может достигнуть химическое разделение, но которые сами при всех химических реакциях остаются целыми» (Панет).

временным воззрениям выводятся следующие положения», в частности, что «для каждого элемента характерны его... рентгеновский спектр и величина его ядерного заряда»¹.

Здесь уже ясно видно, что основные признаки атомов (порядковое число и заряд ядра), познание которых было неразрывно связано с периодическим законом, рассматриваются Панетом не в связи с периодическим законом, а как следствие эмпирически установленного факта химической неразложимости смеси изотопов на её составные части. Тем самым определение элемента было поставлено Панетом в зависимость от временных, преходящих обстоятельств сугубо эмпирического характера. Это неизбежно должно было рано или поздно привести к противоречию.

Открытие химических способов разделения (H^1 и H^2) или обогащения изотопов у ряда элементов (Li , C , N) доказало, что никакого единства между эмпирическим и теоретическим определениями Панета в действительности не существует. Наоборот, имеется полный разрыв между химико-аналитическим и теоретико-физическим подходом к элементу. Что же нужно, по Панету, считать теперь за химический элемент? Если считать попрежнему химически неразложимое вещество, то равенство заряда ядра перестанет быть определяющим свойством элемента: атомы H^1 и H^2 имеют одинаковый заряд ядра ($Z=1$), но должны рассматриваться как разные элементы (Полянью, Содди)². Наоборот, если считать определяющим признаком заряд ядра атомов, то химически разделяемые вещества окажутся одним и тем же элементом, что явно противоречит исходному эмпирически установленному положению Панета.

Сам Панет не разрешил этого затруднения. Он продолжал удерживать оба свои определения, несмотря на их явную несовместимость³.

Чтобы найти выход из создавшегося положения, надо прежде всего вскрыть основную причину самого противоречия.

¹ *F. Paneth, Z. phys. Chem., Bd. 91, 1916, S. 771.*

² См. *М. Полянью, Тяжёлая вода и химия, М. 1936.*

³ См. Труды юбилейного Менделеевского съезда, т. 1, М. — Л. 1936, стр. 131, *Handb. d. Physik, Bd. 22, 1933, S. 440.*

Причина возникшего противоречия между двумя определениями элемента лежала в том, что Панет упустил из виду внутреннюю связь между понятием элемента и периодической системой. Упускать же этого нельзя было ни на минуту, так как «общее существует лишь в отдельном, через отдельное. Всякое отдельное есть (так или иначе) общее»¹.

Действительный ход истории физики и химии был таков, что самое представление о ядерном заряде возникло вовсе не из ошибочного признания абсолютной химической тождественности изотопов, а в конечном счёте из развития периодической системы.

Поэтому следует категорически отказаться от эмпирического определения Панета как неверного и в дальнейшем основывать понятие элемента непосредственно на периодическом законе, следуя в этом отношении за Менделеевым. Только таким путём можно найти правильное, принципиально последовательное решение возникшего у Панета противоречия. Всякий иной путь, вроде признания, что элемент есть вещество, до сих пор не разделённое химически, является половинчатым, непоследовательным и просто субъективистским. Короче говоря, следует принять следующее определение: *элемент есть вид атомов, которые имеют одинаковый заряд ядра, а потому занимают одно и то же место в периодической системе.*

2. Понятия низшего и высшего порядка, связанные с менделеевской системой

Как известно, при равенстве заряда ядра между атомами могут существовать различия в атомных весах, характерное для изотопов, и многие другие различия. Представляется целесообразным установить для каждого типа различий атомов определённое понятие. Ещё Панет² совершенно правильно провёл аналогию между понятием элемента в химии и понятием вида в биологии. Следуя за Панетом, нужно признать, что *химический элемент есть*

¹ В. И. Ленин, *Философские тетради*, 1938, стр. 327.

² См. F. Paneth, *Z. phys. Chem.*, Bd. 91, 1916. S. 171.

вид атомов. Чем же являются изотопы? Спор между Фаянсом и Панетом в значительной степени сводился к тому, считать ли изотопы разными элементами (Фаянс) или одним и тем же элементом (Панет).

Сточки зрения менделеевского определения несомненно более правильной была точка зрения Панета, так как изотопы занимают не разные, а одно место в периодической системе. Поэтому часто изотопы называются — и совершенно правильно — «разновидностями элементов»¹. Следуя этому уже установившемуся способу выражения, нужно признать, что *изотоп есть разновидность атомов* (элемента).

Очевидно, различие изотопов одного элемента состоит в различии состава ядра. При одинаковом числе протонов ядра изотопных атомов содержат в своём составе разные количества нейтронов².

Кроме сравнительно второстепенных различий в физических и химических свойствах, зависящих от массы ядра, у изотопов существуют различия в радиоактивных свойствах, так как масса определяет устойчивость ядра при данном заряде.

Ввиду особой важности радиоактивных свойств при классификации элементов нужно признать, что *радиоактивные и нерадиоактивные изотопы суть подвиды атомов* (элемента). К подвиду радионуклидов или, как иногда говорят, «радиоэлементов» относятся также изотопы, обладающие искусственной радиоактивностью.

Наконец, известны ядерные радионуклиды, которые при одинаковом составе ядра имеют различные радиоактивные свойства. Последнее может быть объяснено различным строением ядра или, в более общем случае, различием в энергетическом состоянии.

Придерживаясь уже принятого порядка в терминологии, следует считать, что *ядерный изомер есть разновидность изотопа и, следовательно, изомер есть разновидность, или модификация, атомов* (элемента).

¹ А. В. Раковский, Курс физической химии, М. 1939, стр. 129.

² Определение Панета — «изотопы суть атомы, имеющие одинаковый заряд ядра и различное строение ядра» (Handbuch d. Physik, Bd. 22, § 45, 1933, S. 424) — ветошно.

Таким образом, образуется своего рода лестница понятий низшего порядка, связанных с менделеевской таблицей (см. табл. 1).

Возможно, что нижний предел этой лестницы не ограничен ядерной изомерией. Неисчерпаемость форм материи, «бесконечность материи вглубь» (Ленин) даёт основание предполагать, что существуют другие, ещё неизвестные различия атомных ядер, которые смогут обуславливать более мелкие классификационные подразделения у каждого элемента.

Из табл. 1 видно, что все определяющие признаки, относящиеся к понятиям низшего порядка, связаны исключительно с ядром атома; электронная оболочка не является, таким образом, основой для классификации атомов, ядра которых обладают одинаковым зарядом.

Таблица 1

Общее понятие	Химическое понятие		Определяющий признак
Вид атомов	Химический элемент		Заряд ядра Z или порядковый номер N (число протонов)
Подвид атомов	Радиоактивные изотопы, «радиоэлементы»	Нердиоактивные изотопы	Устойчивость ядра (свойство ядра)
Разновидность атомов	Отдельный изотоп	Отдельный изотоп	Массовое число или сумма протонов и нейтронов (состав ядра)
Модификация или под-разновидность атомов	Ядерный изомер, радиоизомер	?	Распределение связей протонов и нейтронов в ядре (строение ядра) или общий запас энергии (точная масса ядра)

Исключение составляет одно понятие «химический элемент», которое может быть определено не только на ос-

нове признаков ядра, но и на основе признаков электронной оболочки (числа электронов в нейтральном атоме).

Таково сопоставление понятия «химический элемент» с химическими понятиями низшего порядка.

Сопоставим теперь понятие «химический элемент» с химическими понятиями высшего порядка.

Представление о месте элемента в периодической системе получило графическое выражение в так называемой короткой, или восьмиклеточной, таблице элементов Менделеева.

Таблица Менделеева исходит из того, что связи и соотношения между элементами чрезвычайно разнообразны и отнюдь не однотипны; поэтому она не заключает каждый элемент в отдельную клетку, что привело бы к признанию равноценности всех мест элементов, а тем самым к признанию однотипности всех отношений между ними. Наоборот, в зависимости от степени химического сходства элементов и близости их атомных чисел (или атомных весов) менделеевская таблица помещает в одну клетку по одному, по два, по три и даже более элементов. Это её первая особенность. Далее, она учитывает, что внутри больших периодов существует дополнительная, менее резко выраженная периодичность у атомов. Эту добавочную периодичность менделеевская таблица выражает тем, что подразделяет длинный период на два ряда, сдваивая затем эти последние. Такова её вторая особенность. Наконец, установлено, что группа лантанидов, редкоземельных элементов, также обнаруживает известную периодичность, ещё менее резко выраженную¹. В соответствии с этим менделеевская таблица помещает лантаниды в одну клетку и располагает их там согласно их собственной периодичности в два ряда. Такова её третья особенность.

Этими приёмами менделеевская таблица не только позволяет просто и непосредственно выражать различные типы периодической зависимости элементов, но и проводить градацию в сходстве и различии элементов между собой. Тем самым графическое изображение места

¹ См. *W. Klemm, Z. angew. Chem., Bd. 184, S. 345; B. 187, 1930, S. 29.*

элемента в системе достигает чрезвычайной конкретности, выражая собой самое существо этого признака — наличие связей и переходов между элементами.

Менделеевская таблица свидетельствует, таким образом, об отсутствии резких граней (например, между металлами и неметаллами) и обособленных групп, подтверждая, что «всякое отдельное тысячами переходов связано с другого рода отдельными (вещами, явлениями, процессами)»¹.

Из рассмотрения менделеевской таблицы с точки зрения сходства элементов и соотношений между ними вытекает ряд химических понятий высшего порядка (см. табл. 2).

Если химические понятия низшего порядка, соответствующие подвиду, разновидности и модификации атомов, определялись свойствами, составом и строением атомного ядра, то химические понятия высшего порядка, соответствующие группе, подгруппе и семейству элементов, определяются электронной оболочкой атома — числом входящих в неё электронов и её конфигурацией.

Сравнивая табл. 1 и 2, видим, что на границе между классификацией атомов по ядру и классификацией их по оболочке стоит понятие «вид атомов», или «химический элемент». Как уже отмечалось, его определяющим признаком может служить как заряд ядра, так и численно равное ему количество электронов в оболочке нейтрального неионизированного атома.

Понятие «химический элемент» выступает как центральное понятие, играющее роль связующего звена в общем ряду рассмотренных химических понятий.

Рассмотренные понятия, их взаимная связь и ступенчатость целиком определяются периодическим законом, лежащим в основе системы Менделеева. Связь между этим законом и понятием «вид атомов» подтверждает ленинское замечание: «род = закон!»² Это, как отмечает Ленин, означает: «разложить» «данное конкретное» явление (например, в целях классификации. — Б. К.) — «придать форму абстракции» отдельным сторонам его

¹ В. И. Ленин, *Философские тетради*, стр. 327.

² Там же, стр. 225.

Таблица 2

Общее понятие	Химическое понятие	Определяющий признак	Графическое выражение
Группа	Группа элементов	Равенство числа электронов в наружной оболочке (для I и II групп) или максимального числа валентных электронов (для остальных групп)	Вертикальный столбец в короткой таблице Менделеева
Подгруппа	Подгруппа гомологов (аналогов); главная или побочная группа	Подобие структуры оболочки при различии числа электронов на $2n^2$, где $n=1, 2, 3, 4^*$	Левая или правая половина вертикального столбца
Семейство	Семейство элементов а. Триада б. Лантаниды	Равенство числа валентных электронов или сходство оболочек при различии общего числа электронов у соседних элементов на единицу Число валентных электронов равно восьми** Число электронов в двух наружных оболочках одинаково, равно 11	Часть горизонтального ряда (в пределах одной клетки)
Вид	Химический элемент	Равенство общего числа электронов в нейтральных атомах	Место элемента, т. е. клетка в малом периоде, часть клетки — в большом периоде

* Данный признак не касается элементов, входящих в отдельные семейства.

** Этот признак условен.

и «выделить» — «род или силу и закон»¹. Поэтому-то классификация атомов и обоснование соответствующих понятий могут быть рационально осуществлены лишь на основе менделеевской системы как естественной классификации элементов.

¹ В. И. Ленин, *Философские тетради*, стр. 225. (В кавычки Ленин ставит выражения Гегеля. — Б. К.)

Р А З Д Е Л



ОБЩИЕ ВОПРОСЫ
МИРОВОЗЗРЕНИЯ МЕНДЕЛЕЕВА
В СВЯЗИ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ
ЗАКОНОМ

НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ МИРОВОЗЗРЕНИЯ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Профессор Г. С. Васецкий

Великий русский учёный Дмитрий Иванович Менделеев является одним из гениальнейших естествоиспытателей XIX в. Среди его замечательных открытий самым важным заслуженно считается периодическая система химических элементов. Менделеев обладал творческим гением и всесторонней учёностью. Он не принадлежал к категории учёных, ограничивавшихся узкими областями естествознания, не способных подняться до широких теоретических и философских обобщений. Опираясь на огромное количество эмпирических данных из самых различных областей естествознания, накопленных до него и добытых им лично, Менделеев делал смелые, широкие естественно-научные и философские выводы и тем самым вступал в сферу научной философской мысли. Менделеев прекрасно сознавал необходимость глубокой связи между опытными, эмпирическими данными и теоретическими выводами. В предисловии к сочинению «Основы химии» он говорил: «Наблюдениям, опыту и приложениям к промышленности — в нём отведено своё место, однако главным предметом сочинения служат философские начала нашей науки, относящиеся к её основным или первичным качественным и количественным сведениям об химических элементах»¹.

В своих многочисленных работах Менделеев даёт немало прекрасных образцов не только материалистического решения актуальных вопросов современного ему естествознания, но и диалектического подхода к рассмотрению

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. 1, М. — Л. 1934, стр. 7.

явлений природы. Именно на эту сторону в исследованиях Менделеева указывает Энгельс, когда говорит о бессознательном применении Менделеевым закона перехода количества в качество. Вот почему Менделеева необходимо рассматривать не только как одного из самых выдающихся представителей естествознания, но и как представителя материалистической философии.

1. Философские взгляды Менделеева

В решении вопросов естествознания Менделеев является материалистом и стихийным диалектиком. Как гениальный исследователь природы он имел дело с конкретными, разнообразными по своему содержанию материальными процессами, объективное существование которых он не мог не признавать. В своих исследованиях он опирался на основные достижения химии, физики и других наук о неорганической природе. Все заслуживающие внимания открытия, новые исследования в области химии и смежных с нею наук были не только известны Менделееву, но и всесторонне им изучены.

Естествознание первой половины XIX в. в лице наиболее передовых и выдающихся представителей выходит за пределы старого метафизического понимания природы: оно даёт богатый материал для объяснения её развития. Менделеев выступает в тот период, когда, по словам Энгельса, «эмпирическое естествознание достигло такого подъема и добилось столь блестящих результатов, что не только стало возможным полное преодоление механической односторонности XVIII столетия, но и само естествознание благодаря выявлению существующих в самой природе связей между различными областями исследования (механикой, физикой, химией, биологией и т. д.) превратилось из эмпирической науки в теоретическую, ставшая при обобщении полученных результатов системой материалистического познания природы»¹. Именно эти успехи в естествознании давали Менделееву теоретическую возможность подниматься не только до материалистических, но и до стихийно-диалектических

¹ Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1946, стр. 156—157.

обобщений по важнейшим проблемам современного ему естествознания.

В области собственно философии одним из основных источников для Менделеева был прежде всего домарксовский материализм, а именно материализм XVII и XVIII вв.

Менделееву осталась недоступной марксистская философия, потому что, как говорил Ленин, вся обстановка, в которой живут в буржуазных странах учёные, «отталкивает их от Маркса и Энгельса, бросает в объятия пошлой казенной философии»¹.

Опираясь на принципы философии Бэкона, Декарта, Ньютона и других крупнейших представителей домарксовского материализма и естествознания, Менделеев в своих философских обобщениях во многом пошёл значительно дальше их. Однако в его мировоззрении обнаруживается буржуазная ограниченность, особенно в общественно-политических вопросах.

Анализ естественно-научных и философских воззрений Менделеева позволяет с определённой уверенностью утверждать, что Менделеев в основном примыкает к материалистам. Но его материализм не был до конца последовательным; он таил в себе некоторые элементы агностицизма и дуализма, несовместимые с материалистической философией.

Основной вопрос философии Менделеев решал на деле в пользу материализма. Он не сомневался в том, что природа существует вне и независимо от нашего сознания, что объективно существующая материя не возникла из ничего и не может превратиться в ничто и, следовательно, является вечной. «Во внешнем, т. е. физическом или материальном мире, ничто не творится и не пропадает: ни вещества, ни силы, в нём действующие, они только подвергаются изменениям по форме и взаимному отношению, согласно с естественным течением переменяющихся условий или по направлению, даваемому сознательным трудом людей». В понятие природы Менделеев вкладывал следующее содержание: он считал, что природа — более широкое понятие, чем материя. Природа охватывает собой и материя, и энергию, или силу. Материя и сила —

¹ В. И. Ленин, Соч., т. XIII, стр. 216.

это различные понятия, которые входят в содержание общего понятия природы. Но Менделеев, кроме природы, признавал в качестве относительно самостоятельной субстанции дух. Таким образом, он выдвигал три исходных момента в своей философии — материю, или вещество, силу, или энергию, и дух. Он утверждал, что «вещество, силу и дух мы бессильны понимать в их существе или в раздельности, что мы можем их изучать в проявлениях, где они неизбежно сочетаны»¹.

Признавая наличие трёх самостоятельных первооснов и приписывая вечность каждой из них, в том числе и духу, Менделеев делал отступления от последовательного материалистического мировоззрения. Но в области естествознания, которое он ограничил исследованием только вещества, или материи, и энергии, Менделеев почти всегда на деле проводил и защищал материалистический взгляд на вещи.

* * *

В работах Менделеева отводится много места соотношению теории и практики.

Менделеев не был кабинетным учёным и не стоял в стороне от общественного развития своей эпохи. Для него наука была не ради науки, а совершенно необходимым теоретическим орудием в практической производственной деятельности людей. Об этом говорит вся его сознательная жизнь, его деятельность, в которой находит своё сочетание богатая и разносторонняя теоретическая работа с непосредственным практическим участием в развитии промышленности, сельского хозяйства и т. д. Отсюда вопрос о соотношении науки и практики для Менделеева — не отвлечённый, а жизненный вопрос. В общем виде соотношение теории и практики Менделеев представлял себе следующим образом: «Пресловутое противопоставление теории с практикой в век промышленности явно исчезает: теория, не проверяемая опытом, при всей красоте концепции теряет вес, не признаётся; практика, не опирающаяся на взвешенную теорию, оказывается в проигрыше».

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, 1934, стр. 453.

ше и убытке от соперничества, опирающегося на теорию. Так в идеале вместо мечтательной зарождается здравая философия, вместо случайности успех отвечает твёрдой уверенности, и единство выигрывает место у розни, к чему и ведёт вся цивилизация»¹.

Менделеев не останавливается на бэконовском понимании соотношения теории и практики, а идёт дальше, преодолевает в известных пределах пассивность, созерцательность в решении этого вопроса домарксовским материализмом. Это преодоление выражается также и в том, что Менделеев приближается к правильному пониманию роли практики в теории познания. Он считает, что процесс познания является длительным и сложным процессом, что одним из моментов этого процесса является практическая проверка теоретических обобщений.

В связи с этим необходимо отметить элементы некоторой непоследовательности материалистических воззрений Менделеева в области теории познания. Прежде всего это касается вопроса о познаваемости вещества. Так, в «Основах химии» мы читаем:

«Можно изучать вещества только по их *свойствам* или отношениям к нашим органам и к другим веществам и телам, но само по себе вещество недоступно нашему пониманию, так как в его природе лежат нечто самобытное, чуждое нашему сознанию и духу. Если ныне вещество представляется состоящим из отдельных движущихся атомов, связанных между собою особыми силами, то это, по моему мнению, есть только схема (способ или приём, облегчающий изучение), ведущая своё начало от строения видимого (звёздного, солнечного) мира, который реально составлен из отдельных звёзд — подобных солнцу, из планет, их спутников, метеоритов и эфирного пространства, способного передавать свет и другие виды энергии и движений, связанных между собою в гармоническое целое»².

Но тут же Менделеев как последователь природы, не соглашаясь с агностицизмом, который отрицает возможность познания материального мира, говорит:

¹ Д. И. Менделеев, Основы фабрично-заводской промышленности, 1897, стр. 9.

² Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, 1934, стр. 355.

Однако следует со всей силой подчеркнуть, что наиболее ценные философские мысли высказаны Менделеевым не по общим, гносеологическим вопросам, а в связи с анализом конкретных проблем естествознания и в первую очередь в связи с периодическим законом и общим учением о химических элементах. Вот почему было бы неверным судить о месте Менделеева в развитии материализма только по его рассуждениям философского характера. Для того чтобы в этом отношении правильно оценить роль Менделеева, необходимо учесть чрезвычайно богатое положительное содержание высказываний Менделеева по отдельным философским и естественно-научным проблемам и прежде всего по проблеме материи и движения.

2. Проблема материи и движения у Менделеева

Понимание Менделеевым материи и её свойств ясно выражено в следующем определении:

«Веществом или материей называют то, что, наполняя пространство, имеет вес, т. е. представляет массы, притягиваемые землёю и другими массами материи, то — из чего состоят *тела* природы и с чем совершаются движения и явления природы»¹.

Основными свойствами материи являются, таким образом, вес и притяжение, движение и протяжённость. Если сравнить это положение Менделеева с учением Ньютона о материи и её основных атрибутах, то можно обнаружить некоторое сходство. Ньютон в своём труде «Математические начала натуральной философии» говорит, что атомы материи в целом обладают такими постоянными свойствами, как протяжение, твёрдость, непроницаемость, подвижность и инертность.

Часть этих свойств приписывает материи или веществу и Менделеев. Так, он признаёт, что «инерцию должно считать... коренным свойством весомого вещества»².

Но было бы неправильно думать, что менделеевские взгляды целиком совпадают со взглядами Галилея или Ньютона. Например, Менделеев по существу не принимал

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, стр. 354.

² Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 368.

старой трактовки инертности, как способности тел находиться в состоянии абсолютной неподвижности, пока какая-нибудь внешняя сила не выведет их из этого состояния. Менделеев категорически утверждал, что в природе нет и не может быть абсолютного покоя, что материя всегда находится в движении.

Опираясь на естествознание XIX в. и на свои собственные исследования, Менделеев развивал взгляды, существенно отличающиеся от старого метафизического понимания материи; по ряду важнейших вопросов он пошёл дальше механического взгляда на природу и стихийно приближался к диалектико-материалистическому её пониманию. Натуралисты, писал Менделеев, «признали жизнь во всём мёртвом, движение в каждом твёрдом теле, в каждой малейшей частице жидкости, чрезвычайно быстрые поступательные движения в атоме газа. Для них оживотворено то, что в общежитии считается неподвижным. Им немислимо ныне представление о малейшей частице материи, находящейся в покое. Со времён самого Ньютона они не довольствуются даже допущением притяжения на расстояниях, ищут для его объяснения посредствующей среды. Они свободно принимают и обсуждают самые разнообразные допущения, могущие осветить понятие о притяжении и отталкивании. В частичке вещества химик видит, как бы ощущает отдельные части, независимые органы и общую связь частей; словом для него это есть целый организм, живущий, движущийся и вступающий во взаимодействие»¹.

В этой общей характеристике прежде всего обращают на себя внимание три отступления от старого понимания материи и её основных свойств. Во-первых, автор отрицает существование абсолютного покоя: каждая частица, весь материальный мир находятся в постоянном движении, или, как он говорит, оживотворены. Во-вторых, он не считает возможным признать наличие в материальном мире абсолютной дискретности, абсолютно пустого пространства, а следовательно, и действия на расстоянии. В-третьих, он отрицает абсолютную изолирован-

¹ Д. И. Менделеев, Материалы для суждения о спиритизме, Спб. 1876, стр. 328—329.

ность материальных объектов (атомов, элементов и т. д.) друг от друга, а примыкает к точке зрения, признающей наличие связей между всеми материальными процессами. Поэтому было бы совершенно неверно утверждать, будто великий химик в вопросе естественно-научного понимания материи не пошёл дальше Галилея, Декарта, Ньютона, Гюйгенса и других представителей механического естествознания.

Менделеев обогащал естественно-научное понимание материи и по ряду других вопросов. Для того чтобы конкретно показать, что нового вносит Менделеев в учение о материи, о её строении, необходимо рассмотреть его отношение к атомистическому учению.

В истории развития научного познания атомистическое учение с его философскими основами, заложенными ещё в античной Греции, сыграло очень большую прогрессивную роль. Его влияние чувствовалось на себе большинство крупных учёных нового времени. В XIX в. это учение было значительно развито и превращено в подлинную теорию. Менделеев также примкнул к этой теории; но он относился критически к отдельным положениям, которые односторонне развивали некоторые из представителей атомизма. В их рассуждениях он видел ряд недостатков, известную ограниченность, вытекавшие из принципов метафизического, механистического материализма. Он писал: «Для меня не подлежит сомнению, что атомистическое учение, твёрдо приложенное в XIX столетии ко всему естествознанию — вслед за признанием его в химии, имеет свои философские недостатки, материализму¹ свойственные, но нельзя не признать в атомизме возвышенного обобщения, согласного с основным началом философии, а именно в том, что узнанное из успехов астрономии для всего мироздания строение вселенной из уединённых солнц и планет, разделённых в пространстве, но соединённых взаимодействием сил, прямо, и не без явного успеха в ясности понимания вещей и явлений, перенесено на сложение вещества из атомов... У естественной философии новых веков нельзя ещё не признать того

¹ Менделеев имеет в виду упрощённый механический материализм.

другого достоинства, по сравнению со всем до того бывшим, что только теперь перестали видеть в человеке центр вселенной и сознательно покорились не слепому прихотливому року, а стройным, объединяющим и разумным законам, везде и всегда действующим, одинаковым по существу для громадного солнца и для малейшего атома. Корень недостатков современного атомизма, по моему мнению, должно искать в неясности понимания «эфира», наполняющего как междупланетное, так и междуатомное пространство, и я полагаю, что современное естествознание, направляясь преимущественно в сторону изучения явлений, совершающихся в «эфире» (световых, электрических, радиоактивных и т. п.), идёт по верному пути к раскрытию тайн природы»¹.

Менделеев прав в той части своих возражений против атомизма, где последний метафизически отождествляет закономерности, существующие во взаимоотношениях между небесными светилами, с закономерностями движения и развития молекул, атомов, электронов и т. д. При наличии единства между макрокосмосом и микрокосмосом, при наличии общих закономерностей имеет место, однако, и существенное различие. Менделеев также ясно себе представлял беспомощность старого атомизма и его философской основы — метафизического материализма — в объяснении световых, электромагнитных и радиоактивных явлений. Все эти возражения свидетельствуют о том, что Менделеев по ряду существенных вопросов современного ему естествознания поднимался, правда, стихийно, выше метафизического, механического естествознания; он понимал, что признание только одних дискретных частичек, т. е. одной только прерывности в природе, является недостаточным, что световые и электрические явления не поддаются объяснению, если не допустить наличия непрерывных волнообразных движений материального объекта, если исходить из признания только атомов и абсолютно пустого пространства.

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, стр. 471. (Гипотеза светового эфира, которую Менделеев защищает здесь и особенно в статье «Попытка химического понимания мирового эфира», не подтвердилась и была оставлена в ходе позднейшего развития науки, так же, как самое понятие мирового эфира. — *Ред.*)

Но несмотря на то, что Менделеев не вполне был согласен с выводами атомистического материализма, он решительно выступал на его защиту от явных идеалистов и энергетиков; он не мог примириться с фактом распространения реакционного, по существу субъективно-идеалистического, понимания природы, выступавшего под видом оствальдовской энергетике. Указывая на антинаучный характер этих воззрений, Менделеев совершенно правильно вскрывает их непосредственное родство с субъективным идеализмом. Представители энергетического воззрения, пишет он, «вовсе отрицают вещество, ибо, говорят они, мы знаем только энергию, веществом предьявляемую (жесткость, сопротивление, вес и т. п.), и, следовательно, вещество есть только энергия. Такое, на мой взгляд, чисто схоластическое представление очень напоминает тот абстракт, по которому ничего не существует кроме «я», потому что всё проходит чрез сознание. Полагать можно, что подобные представления, несмотря ни на какую диалектику, удержаться не могут в умах сколько-либо здравых»¹.

Но позиции Менделеева в вопросах атомистического учения вообще и современных ему теорий строения материи в частности, будучи в основном прогрессивными, материалистическими, одновременно таили в себе некоторую непоследовательность, свойственную его мировоззрению в целом.

Менделеев иногда склонялся к мысли, что атомную теорию можно рассматривать как приём, применяемый исследователями при изучении природы, в качестве «рабочей гипотезы». Он писал, например: «На современный атомизм, по моему мнению, прежде всего должно смотреть как на приём или способ, удобоприменимый при изучении весомого вещества природы (рабочую гипотезу). Как геометр, рассуждая о кривых, представляет их состоящими из совокупности прямых, ибо такой приём даёт возможность анализировать кривые, так естествоиспытатель применяет атомное учение прежде всего как способ анализировать явления природы». «Итак, атомное учение,

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, стр. 476. (Слово «диалектика» здесь употреблено Менделеевым в смысле «софистика». — *Ред.*)

допускающее лишь конечную механическую делимость, должно быть, до сих пор по крайней мере, принимаемо только как приём... Это, если угодно, рабочая гипотеза. В атомах есть простота представления, но нет уверенности»¹.

В этих высказываниях чувствуется колебание в признании атомистической теории за объективную истину. Но, с другой стороны, имеется множество свидетельств в пользу того, что Менделеев не сомневался в объективном существовании атомов.

В связи с выяснением взглядов Менделеева на атомистическое учение необходимо отметить его весьма недоброжелательное отношение к новой электронной теории строения материи. Ему казалось, что сторонники электронной теории выступают вообще против атомизма. В этом своём утверждении он был неправ, так как имеется вполне закономерная историческая связь между старым атомизмом и электронной теорией, причём последняя по сути дела явилась дальнейшим углублением и развитием общих идей атомизма. Не признавал Менделеев электронную теорию потому, что считал её недостаточно обоснованной и противоречащей господствовавшей в XIX в. идее о неизменности атомов.

По вопросу о характере и сущности движения материи Менделеев занимает прогрессивные позиции, а в ряде случаев приближается к диалектико-материалистическому пониманию движения. Менделеев сам очень много сделал в отношении конкретного изучения форм движения в неорганической природе. Открытие периодического закона элементов говорит об этом со всей очевидностью. По существу в работах Менделеева даётся обоснование качественного разнообразия движения материи в неорганическом мире.

Менделеев считает, что в природе нет абсолютного покоя. В природе существует только относительный покой. Движение является атрибутом, основным свойством материи, движение нельзя отделить от материи и т. д.

В отношении единства и качественного различия форм движения в неорганическом мире Менделеев даёт богатый и разносторонний материал. Так, например, он говорит

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, стр. 473, 476.

о том, что физическая форма движения характеризуется гармоничностью, повторяемостью, тогда как химическая форма движения материи такими особенностями не обладает. Вот что он пишет: «В основание различия движения физического и химического кладут то понятие, что движение физическое есть гармоническое движение, повторяющееся; химические же процессы, напротив, обуславливаются неповторяющимся движением. Представим себе два тела, различие которых основывается, по нынешним понятиям, на различии движений частиц, их составляющих; если представим далее, что эти два тела проникают одно в другое, то здесь могут быть два случая: или различные движения этих двух тел уничтожаются в отдельности, соединяясь в одно движение, которым обусловится характер нового происшедшего тела, так что, следовательно, здесь не будет повторяющегося проникновения частиц одного тела в другое; или второй случай — различные движения сохраняют свою самостоятельность, так что тела останутся способными к разъединению и новому соединению и т. д. Первый случай показывает существование химического процесса, второй — на физическое явление».

Нельзя согласиться, что в физических явлениях происходит повторяемость, а в химических повторяемости нет. Относительная повторяемость имеет место во всех материальных процессах. Но Менделеев, очевидно, вкладывает в это понятие другое содержание. Он имеет в виду то обстоятельство, что при физических процессах до известных пределов не меняется внутреннее строение самого вещества. Могут происходить различные электрические, магнитные, тепловые и другие физические явления. В известных рамках они не вызывают коренных изменений в структуре самого вещества; при химическом процессе, наоборот, происходят коренные изменения структуры вещества. Поэтому Менделеев и считает, что при химических реакциях такая повторяемость, как в физических явлениях, не имеет места.

Выступая против изолированного изучения физических или химических явлений, Менделеев одновременно даёт прекрасные образцы рассмотрения этих явлений в их связи и взаимозависимости. Так, например, в отношении

процесса поглощения и выделения теплоты он говорит: «Вопрос о количестве теплоты, выделяемой или поглощаемой при химических реакциях, очень сложен, так как рядом с химическим процессом имеют место и физические явления, также могущие влиять на термическую сторону дела. Мы не знаем, какую часть, например, выделившейся теплоты надо приписать химическому процессу, какую физическому. Несомненно, однако, что химические процессы способны сами по себе к выделению или поглощению тепла; числовые данные только нам неизвестны, потому что они маскируются одновременными физическими явлениями»¹.

В своих исследованиях, касающихся растворов, Менделеев с особенной убедительностью показывает несостоятельность метафизического разрыва физических и химических явлений, изолированного их рассмотрения. Исключительно полно и глубоко единство физических и химических форм движения материи было раскрыто Менделеевым в связи с периодическим законом.

3. Диалектика периодического закона

Среди всех исследований и открытий Д. И. Менделеева самое величественное — периодический закон. К его открытию Менделеев пришёл в результате анализа связи между качественной и количественной сторонами химических элементов, а именно связи между их химической индивидуальностью и их массой, выраженной в атомном весе. Такое рассмотрение взаимной связи между различными сторонами элементов было вместе с тем рассмотрением взаимной связи между их химическими и физическими свойствами. По этому поводу Менделеев писал, что у вещества и энергии, «кроме присущей им вечности, есть свои — постижимые — общие самобытные признаки или свойства, которые и следует изучать на все лады. Посвятив свои силы изучению вещества, я вижу в нём два таких признака или свойства: *массу*, занимающую пространство и проявляющуюся в притяжении, а яснее или

¹ Д. И. Менделеев, Соч., т. IV, Л. 1937, стр. 230.

реальнее всего в весе, и индивидуальность, выраженную в химических превращениях, и яснее всего формулированную в представлении о химических элементах»¹.

Открытие периодического закона, составившее эпоху в истории естествознания, является блестящим подтверждением правильности диалектического материализма; однако сам автор этого открытия не поднялся до сознательного применения материалистической диалектики при объяснении явлений природы.

Исходным пунктом и основой для философского анализа периодической системы служит для нас известная оценка Энгельса².

Основное внимание Энгельс обращает на сущность периодического закона как общего закона, охватывающего все химические элементы в целом. В периодическом законе конкретно проявляются основные законы материалистической диалектики, в том числе и закон перехода количества в качество и обратно. Наряду с этим Энгельс указывает, что Менделеев применял диалектику бессознательно, т. е. что он не дошёл ещё до её признания и сознательного применения в своём исследовании.

Для того чтобы правильно оценить сущность учения Менделеева о периодической системе, необходимо прежде всего иметь в виду, что открытие Менделеева не было случайным явлением, а было подготовлено всем ходом развития материального производства и научного познания природы. Периодическая система не только в том виде, в каком она нам известна сейчас, но и первоначальный её набросок 1869 г. есть итог длинного ряда открытий и исследований, касающихся химических элементов и их классификации.

Существенную роль в подготовке открытия и объяснения периодического закона сыграло предыдущее развитие знаний о химических элементах и их соединениях. Нельзя мыслить появления периодической системы химических элементов без подробного предварительного изучения каждого элемента в отдельности, индивидуальных

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, 1934, стр. 453.

² См. Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1946, стр. 44 — 45.

особенностей, его физических и химических свойств, его основных соединений и т. д. Понять периодический закон, не зная основных свойств элементов и их соединений, нельзя, ибо закон, открытый Менделеевым, — это закон, выражающий связь всех химических элементов в целом, а не поведение одного какого-нибудь изолированного химического элемента.

К моменту выступления Менделеева необходимость в систематизации химических знаний, в открытии и объяснении связей между химическими элементами и между их соединениями безусловно назрела.

Среди предшественников творца периодической системы должны быть названы имена не только тех химиков, которые непосредственно делали попытки систематизации химических знаний и классификации химических элементов, но и тех, которые двигали дальше изучение отдельных химических элементов, их основных свойств, их соединений и т. д. Так, наиболее крупными предшественниками Менделеева надо считать прежде всего английского учёного Дальтона, который ввёл понятие об атомном весе в химию, шведского химика Берцелиуса, который открыл ряд новых химических элементов, Дэви и Кирхгофа, разработавших новые методы открытия элементов. Особенно важно подчеркнуть, что Берцелиус с большой точностью установил атомные веса, из коих некоторые близко подходят к современным атомным весам.

Это важно потому, что правильное понимание атомных весов является необходимой предпосылкой открытия периодического закона. Атомный вес в учении Менделеева о периодическом законе занимает одно из первых мест.

Кроме всестороннего изучения отдельных химических элементов и их соединений, в конце XVIII в. появляются первые классификации химических элементов. На протяжении первой половины XIX в. делаются всё чаще попытки обобщить химические знания, положить в основу химических знаний определённые принципы.

Несмотря на свою несостоятельность, попытки классификации химических элементов, во-первых, подготовили необходимые предпосылки для открытия Менделеевым

периодической системы и, во вторых, свидетельствовали о назревшей необходимости в установлении общей связи между элементами, следовательно, их закона. Заслуга же открытия периодической системы бесспорно принадлежит Д. И. Менделееву.

Энгельс в этом открытии усматривал проявление закона перехода количества в качество и обратно — как всеобщего закона развития объективного мира. Такую же трактовку периодической системы Менделеева даёт товарищ Сталин. В этом смысле можно правильно понять философскую сущность этого великого открытия, составившего эпоху в истории не только химии, но и всего естествознания.

Остановимся на характеристике некоторых философских выводов, вытекающих из сущности периодической системы.

Для отыскания основных связей между химическими элементами Менделеев предварительно рассмотрел все известные в то время свойства элементов, их атомный вес, их физические и химические, качественные и количественные особенности. Он также внимательно изучил важнейшие соединения, которые дают элементы между собой, и на основе всестороннего анализа всех химических и физических знаний об элементах сделал вывод, что свойством, на котором должна быть построена классификация химических элементов, является атомный вес.

Чем объясняется этот вывод? Почему Менделеев брал за основу классификации химических элементов атомный вес? Это не случайное явление, так как Менделеев в основном опирался на господствовавшее в его время среди естественников-материалистов понимание материи как весомого вещества. Исходя из такого её понимания, Менделеев и сделал вывод, что атомный вес есть коренное свойство химического элемента. Менделеев писал:

! «...Всякий из нас понимает, что при всей перемене в свойствах простых тел, в свободном их состоянии, *нечто* остаётся постоянным, и при переходе элемента в соединения это *нечто* — материальное и составляет характеристику соединений, заключающих данный элемент. В этом отношении поныне известно только одно числовое данное, это именно атомный вес, свойственный элементу.

Величина атомного веса, по самому существу предмета, есть данное, относящееся не к самому состоянию отдельного простого тела, а к той материальной части, которая обща и свободному простому телу, и всем его соединениям. Атомный вес принадлежит не углю и алмазу, а углероду»¹.

В зависимости от атомного веса элементов Менделеев рассматривает все остальные их физические и химические свойства. Менделеев обнаружил, что при изменении атомного веса элементов меняются их физические и химические свойства, причём меняются периодически так, что через несколько элементов свойства до известной степени повторяются.

Основной принцип Менделеева, на котором построена вся периодическая система, сводится к следующему:

*«...Свойства простых тел, также формы и свойства соединений элементов, находятся в периодической зависимости (или, выражаясь алгебраически, образуют периодическую функцию) от величины атомных весов элементов»*². Этот принцип в основном правильно выражает реально существующие взаимосвязи между отдельными свойствами как в самом элементе, так и между элементами. Дальнейшее развитие химии и физики, открытие электрона и радиоактивности, достижения других естественных наук позволили уточнить этот принцип; на основе изучения строения атомов и составных его частей — ядра и электронной оболочки — была дана новая, более совершенная формулировка периодического закона. Сейчас можно считать установленным, что изменение физических и химических свойств элементов находится в периодической зависимости от порядкового номера, т. е. от номера места элемента в системе Менделеева. Эта новая формулировка периодического закона обогащает и дальше развивает менделеевскую систему, но ни в какой мере не отменяет и не отрицает её основное содержание. Сам Менделеев предвидел необходимость дальнейшего развития и уточнения периодического закона и никогда не настаивал на том, что данная им формулиров-

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 8.

² Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, М.—Л. 1934, стр. 80—18.



Д. И. Менделеев во главе экспедиции на Урал. 1899 г.

ка периодического закона является абсолютно точной и не может подвергаться в той или иной мере изменениям. Больше того, с момента открытия периодического закона и до конца своей жизни сам же Менделеев неоднократно вносил существенные изменения и дополнения в своё учение о периодическом законе. «Возможно изменение выражения закона, — писал Менделеев в 1879 г., — можно найти более точное выражение этой зависимости; по моему убеждению, несомненно сохранится основной смысл, который дан периодическим законом, потому что он противоположен классической доктрине, утверждающей, что природа элементов зависит не от их массы, но от неизвестных причин»¹.

Периодическая система Менделеева по своему содержанию может служить хорошим примером для диалектико-материалистического анализа явлений природы. Прежде всего в ней конкретно проявляются все основные законы и основные черты материалистической диалектики.

Это можно проследить на вопросе о соотношении общего и отдельного. Периодическая система и составляющий её содержание периодический закон выступают как общее, а каждый химический элемент — как отдельное. Периодический закон, будучи выражением общего, существенного, что имеется в химических элементах и их соединениях, существует только в отдельном и через отдельное. Периодический закон не охватывает всех специфических свойств элементов, как и отдельные элементы неполностью входят в содержание периодического закона. Каждый отдельный химический элемент можно понять только в той связи, которая ведёт к общему, к единой периодической системе. Вне периодической системы дать правильную и всестороннюю характеристику, например водорода или урана, нельзя. Уже в этом периодическая система обнаруживает единство противоположностей.

Специфическую форму единства противоположностей представляют собой группы элементов периодической системы с преобладанием или металлических, или неметаллических свойств. Так, например, в I группе

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 279.

щелочных металлов (литий, натрий, калий и пр.) выступают элементы с ярко выраженными металлическими свойствами, тогда как элементы VII группы — фтор, хлор, бром, иод — являются типичными неметаллами. Эти противоположности составляют единую систему и взаимопроникают друг в друга; в то же время они выражают противоположные тенденции в поведении элементов, находящиеся в состоянии постоянных взаимных столкновений. В отдельных химических элементах эти две противоположности присутствуют, хотя обычно одна из них преобладает над другой.

Представляет большой интерес и такая конкретная форма проявления единства противоположностей, как постепенные изменения и скачки. Сам Менделеев, на основе анализа периодического закона, вплотную подходил к признанию единства постепенного изменения массы и скачкообразного изменения физических и химических свойств элементов. Так, он писал: «Периоды элементов носят таким образом иной характер, чем привычные периоды, геометрами столь просто выражаемые. Это — точки, числа, это — скачки массы, а не её непрерывные эволюции»¹. Но наряду с этим существуют и постепенные изменения. «По мере возрастания массы, сперва свойства последовательно и правильно изменяются, а потом возвращаются к первоначальным, и опять начинается новый, подобный прежнему, период изменения свойств. Тем не менее здесь, как и в других явлениях, есть случаи, когда малое изменение массы атома влечёт малое изменение свойств, определяет различия второго порядка; это видно, напр., в VIII группе... так, атомные веса Fe, Co и Ni, Ru, Rh и Pd, Os, Ir и Pt очень близки между собою, но и свойства их очень близки, различия иногда едва уловимы»².

В этих высказываниях затрагивается не только вопрос о единстве противоположностей, но также вопрос и о других чертах и законах материалистической диалектики, а также о её категориях. Особенно много было сделано Менделеевым для обнаружения специфического про-

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, т. II, стр. 353.

² Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, стр. 90.

явления в химических процессах закона перехода количественных изменений в качественные, о чём писал Энгельс в «Диалектике природы» и о чём пишет товарищ Сталин в своей работе «Анархизм или социализм?». Наконец, в связи с открытием и дальнейшим развитием периодического закона Менделеев высказал много весьма ценных мыслей, касающихся основных вопросов теории познания, в частности вопроса о практике как критерии истинности научных теорий.

Так, заканчивая общую характеристику периодического закона, Менделеев говорил: «...Нет ни одного сколько-либо общего закона природы, который бы основался сразу; всегда его утверждению предшествует много предчувствий, а признание закона наступает не тогда, когда зародилась первая о нём мысль, даже не тогда, когда он вполне сознан во всём его значении, а лишь по утверждении его следствий опытами, которые естествоиспытатели должны признавать высшею инстанциею своих соображений и мнений. Поэтому, с своей стороны, я считаю Роско, де-Боабодрана, Нильсона, Винклера, Браунера, Карнелли, Торпе и др., оправдавших применимость периодического закона к химической действительности, истинными утвердителями периодического закона, которого дальнейшее развитие ждёт ещё много новых деятелей»¹.

* * *

Менделеев оставил неизгладимый след в развитии передовой науки. Его имя заслуженно пользуется в нашей социалистической стране глубоким уважением. Его открытия и в первую очередь его периодический закон составляют один из краеугольных камней современного, диалектико-материалистического взгляда на вещество и на всю неорганическую природу в целом.

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, стр. 382.

«ОСНОВЫ ХИМИИ» Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА И ЕГО МИРОВОЗЗРЕНИЕ

Б. Н. Выропаев

«Основы химии» Д. И. Менделеева — это не только учебник, это гораздо больше, чем учебник. Недаром сам Дмитрий Иванович писал в своих записках: «Основы» — любимое дитя моё. В них мой образ, мой опыт педагога и мои задушевные научные мысли».

И, действительно, «Основы химии» являются прекрасным отображением разносторонней и многогранной деятельности их творца.

Кристаллография, органическая химия, периодические свойства элементов, теория растворов, исследование газов, вопросы метеорологии и воздухоплавания, изучение нефти и пороха, теория весов, ряд экономических исследований — это далеко не полный перечень тех вопросов, которыми интересовался и занимался в различные периоды своей деятельности Д. И. Менделеев.

И эта поразительная для одного человека энциклопедичность и весь богатый научный, технический и педагогический опыт Менделеева как бы сконцентрировались в его «Основах».

Изложение учебника начинается описанием обычных, повседневных явлений и фактов. В первой части развёртывается шаг за шагом всё разнообразие и богатство химических процессов. Во второй же части в качестве подготовки к уяснению периодичности в свойствах элементов подчёркивается уже большое сходство и связь различных групп химических соединений. А затем весь фактический материал последовательно располагается на основе периодической системы.

При этом химические явления и факты не рассматриваются изолированно, сами по себе, но иллюстрируются в большинстве случаев примерами из соответствующих технических производств и природных процессов. Дается экономическая характеристика наиболее важных химических процессов. Всё это перемежается с экскурсами в другие отделы естествознания, философии и т. д.

Но весь этот огромный фактический материал не подавляет и не утомляет читателя. Всё произведение пронизано единой логической нитью, теоретически крепко спаяно и представляет собой некое органическое целое. Эта теоретическая целостность всего произведения и создаёт соответствующую лёгкость при его изучении, увлекая логикой и мастерством построения.

Особенно интересными для большинства современных читателей «Основ» должны являться главы, посвящённые периодическому закону элементов, изложению взглядов Менделеева на растворы, и многочисленные и весьма основательно составленные дополнения самого автора.

Значение периодической системы элементов в настоящее время выходит далеко за пределы одной лишь химии. Изучение периодической системы по «Основам» интересно и поучительно прежде всего, конечно, потому, что здесь можно знакомиться с этой идеей, её зарождением и последующим развитием из рук самого творца. Любопытен при этом тот путь, которым шёл Менделеев при обосновании периодического закона. Менделеев стремился прежде всего отыскать такое постоянное и неизменное начало, принцип, на основе которого, отвлекаясь от всего изменчивого и непостоянного, можно было бы строить рациональную «естественную» классификацию. Попытки систематического распределения элементов, замечает Менделеев, подвергались в истории многим и разнообразным превращениям. Так, наиболее распространённым является деление элементов на металлы и металлоиды (неметаллы). Это деление опирается, с одной стороны, на физические различия простых тел, с другой же стороны — на различие в характере их окислов. Однако такое деление, заявляет Менделеев, кажется ясным

и абсолютным только при первом знакомстве и теряет в основном своё значение при изучении более внимательном и близком. Много шаткого, по мнению Менделеева, содержат в себе и те классификации, которые основаны на разделении элементов по их отношениям к кислороду и водороду. Неудачными признаёт Менделеев и попытки распределения элементов по их электро-химическому порядку и по их относительному сродству. Наконец, продолжает Менделеев, пытались и пытаются достигнуть точного распределения элементов на основании их атомности (валентности). Но и это основание нельзя признать достаточно удовлетворительным.

Так, идя шаг за шагом по пути индуктивного анализа, Менделеев разбирает все главнейшие, по его мнению, изменчивые свойства простых тел и выключает, отвергает их как неудовлетворительные для построения соответствующей классификации элементов.

Такие свойства, как оптические, электрические или магнитные, тоже не могут служить опорой для создания какой-либо системы. У одного и того же тела свойства эти могут меняться в чрезвычайно сильной степени в зависимости от того состояния, в котором тело находится. Большим изменениям подвергается и плотность вещества.

Между тем, должна заслуживать признания только такая система, которая основывается на точно наблюденных количественных величинах. В такой системе, по меткому выражению Менделеева, «остается мало места для произвола».

Но пройденный путь есть путь отрицания. Полученный вывод не ведёт непосредственно к дальнейшим положительным обобщениям. На этом не может остановиться мысль исследователя, ибо ещё не достигнута окончательная цель: найти то относительно неизменное и постоянное, что характеризует самое существо элемента. Необходимо, таким образом, проделать в этом отношении дальнейший шаг.

Рассмотрев по возможности все характерные свойства элементов, Менделеев останавливается на последнем и, по его мнению, наиболее существенном, основном. Это — атомный вес.

Д. Менделѣевъ.

ОСНОВЫ
ХИМИИ.

8-е издание,
вновь исправленное и дополненное



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типо-литографія М. П. Фроловой, Галерная улица, № 6
1906.

Титульный лист 8-го издания „Основ химии“ 1906 года.

«...У элементов есть точно измеримое и никакому сомнению не подлежащее то свойство, которое выражено в их атомном весе. Величина его показывает относительную массу атома... А по смыслу всех точных сведений о явлениях природы, *масса вещества есть именно такое свойство его, от которого должны находиться в зависимости все остальные свойства*»¹.

Таким образом, основа, принцип были найдены. И на этой основе можно уже было попытаться конструировать какую-либо систему. Из различных сопоставлений следовало, что функция, выражающая зависимость свойства элементов от веса их атомов, является периодической.

Исключительно ясным образцом такого индуктивного анализа является статья Менделеева: «Соотношение свойств с атомным весом элементов», помещённая в первом томе «Журнала Русского Химического Общества» (1869 г.).

Что касается взглядов Менделеева на растворы, то они за последние годы вновь приобретают актуальный интерес. Менделеев, как известно, весьма резко относился к всё более и более утверждавшейся в химии теории электролитической диссоциации.

«Мне кажется, — пишет он, — что в истории нашей науки эта гипотеза (электролитической диссоциации) займёт со временем такую же роль, какая принадлежит давно уже флогистону»².

Одно время казалось, что взгляды Менделеева на растворы вытесняются этой теорией. Позднейшие факты показали, что это не так. Современная сольватная теория растворов идёт по пути сочетания химической (гидратной) теории растворов (Менделеева) и теории электролитической диссоциации (Аррениуса).

И, наконец, обширные дополнения к «Основам химии» исключительно интересны тем, что в них автор с большей свободой, чем в основном тексте, излагает, кроме всяких добавлений фактического характера, свои химические и иные действительно «задушевные научные мысли».

¹ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, М. — Л. 1934, стр. 80.

² Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, М. — Л. 1934, стр. 540.

Два-три штриха — и перед вами сжатая характеристика, исчерпывающее объяснение или по обыкновению глубокомысленный и интересный прогноз будущего.

Задачей науки, любил повторять Менделеев, является предвидение и польза. Наука не есть только самостоятельная цель, но и средство для улучшения человеческой жизни.

И в этом отношении «Основы химии» Менделеева являются прекрасным примером того, как теоретическая наука в самых абстрактных своих высотах может и должна сочетаться с повседневной конкретной действительностью.

Д. И. Менделеев называл себя реалистом. И при этом не только в простом, обыденном, но и в более глубоком, философском смысле.

В теоретическом мышлении могут быть лишь две последовательные не эклектические линии развития: либо материалистическая, либо идеалистическая. Третьего не дано.

Либо мы признаём, что материя есть первичное и лежит в основе всего, — тогда мы становимся на точку зрения материализма. Либо, наоборот, мы утверждаем, что такой основой является дух, сознание, а вся природа лишь порождение этого духа, — и тогда мы становимся на точку зрения идеализма. Так смотрит на дело диалектический материализм, но Менделеев с этим несогласен.

Такое разграничение философских направлений Менделеев считает недостаточным. Он пытается найти что-то среднее, третье между материализмом и идеализмом. И это более удовлетворительное, по его мнению, третье он находит в реализме.

Должно «признавать, — заявляет он, — нераздельную, однако и не сливаемую, познавательную троицу вечных и самобытных: вещества (материи), силы (энергии) и духа»¹.

Материя, энергия и дух являются, по мнению Менделеева, вечными и самобытными, хотя, — продолжает он дальше, — «духовное мыслимо лишь в абстракте, в действительности же познаётся лишь через материально ощущаемое, т. е. в сочетании с веществом и энергиею, которая

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, 1934, т. II, стр. 465.

сама по себе тоже не сознаваема без материи... Такое, — заявляет Менделеев, — ещё во многом смутное, но всё же подлежащее уже анализу понимание исходной троицы познания... составляет основу современного реализма»¹.

Итак, Менделеев пытается, как видно, установить некоторый параллелизм материи (вещество + энергия) и духа. Дух хотя и связан с материей и познаётся только через материю, но всё же вечен и самобытен.

Но надо сказать, что подобные утверждения являются чем-то побочным у Менделеева и по сути дела чуждым общей системе его научных взглядов.

Так, говоря о самой материи, Менделеев определяет её как нечто самостоятельное, не зависимое от духа. Как материалист-естествоиспытатель он следующим образом определяет материю.

«Веществом или материю, — пишет он. — называют то, что, наполняя пространство, имеет вес, т.-е. представляет массы, притягиваемые землёю и другими массами материи, то — из чего состоят *тела* природы и с чем совершаются движения и *явления* природы»².

Но ведь из такого определения неизбежно напрашивается вывод, что, в то время как духовное познаётся только через материю и отделимо от неё лишь в абстракции, материя существует и познаётся самостоятельно, т. е. она есть первичное, лежащее в основе всего. А это и есть материализм. Менделеев в конечном счёте становится на точку зрения материализма, но делает это непоследовательно, с колебаниями, одновременно выступая против материализма.

Можно при этом догадываться об источниках такого неприязненного отношения Менделеева к материализму. Менделеев знал, к сожалению, только вульгарный механистический материализм, широко распространившийся во второй половине прошлого века. Будучи знакомым только с таким плоским «унитарным», как он выражается, материализмом, Менделеев борется против него, считает его совершенно основательно недостаточным, неудовлетворительным. Но, выступая против такого материализма,

¹ Д. И. Менделеев, Избранные сочинения, 1934, т. II, стр. 465.

² Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, стр. 354.

ДВА ЛОНДОНСКИХЪ ЧТЕНІЯ

Д. МЕНДЕЛѢВА.

Попытка приложения къ химіи одного изъ началъ естественной
философіи Ньютона

и.

Періодическая законность химическихъ элементовъ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,

съ портретами Ньютона и Фарадея



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Тип. В. Демакова, Новый пер., д. 7.
1895.



Титульный листъ 2-го издания книги Д. И. Менделѣева
«Два лондонскихъ чтенія».

он на словах отрицает материализм *вообще* и, не желая, с другой стороны, скатиться к идеализму, ищет опору в чём-то третьем — реализме.

Были и другие причины, препятствовавшие Менделееву более объективно и внимательно отнестись к материализму. Но эти причины коренились в других обстоятельствах, на которые с достаточной ясностью указывает и сам Менделеев.

«Идеалисты и материалисты видят, — по его мнению, — возможность перемен лишь в революциях, а реализм признаёт, что действительные перемены совершаются только постепенно, путём эволюционным»¹.

И ещё в одном отношении Менделеев не был вполне последовательным материалистом. Признавая объективное существование материи, он в ряде случаев утверждал, что нам недоступно познание самой сущности её.

По мнению Менделеева, изучая вещество, мы познаём лишь его свойства, явления; само же оно, его сущность, нашему познанию недоступны, так как в природе вещества «лежит нечто самобытное, чуждое нашему сознанию и духу»².

И если вещество, материя, представляется нам состоящим из отдельных движущихся атомов, то это в конце концов не более, как только удобная схема, приём, облегчающий исследование.

«...Наука не может отличать сразу всего, а принуждена лишь скромно, ступень за ступенью, подниматься в недоступную высь, где индивидуально-частное примиряется с непознаваемым общим»³.

Такая формулировка звучит уже как некоторая уступка агностицизму. Но это — агностицизм, подчеркнём, половинчатый, непоследовательный. Непоследовательный потому, что здесь же, несколькими строками ниже, Менделеев собственными руками прекрасно разрушает ту непроходимую грань, которую он как будто создал только

¹ Д. И. Менделеев, Заветные мысли, Спб. 1904, стр. 5.

² Д. И. Менделеев, Основы химии, т. I, стр. 355.

³ Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, стр. 383.

что между познаваемыми свойствами вещества и его непознаваемой самобытной сущностью.

В самом деле. Из того, продолжает Менделеев, что мы не в состоянии понимать вещества самого по себе, ещё не следует, что изучение и обладание им непосильно и недоступно для нас. Мы постепенно овладеваем веществом, делаем с каждым разом всё более точные по отношению к нему предсказания, которые оправдываются на практике, «и нет повода видеть где-либо грань познанию и обладанию веществом»¹.

Итак, практически нет пределов для нашего познания вещества и овладения им. А если нет таких пределов, то ведь нет и какой-то непознаваемой «сущности».

Интересно отметить отношение Менделеева к механическому естествознанию с его стремлением «сводить» физические и химические явления к механике.

У самого Менделеева мы встречаем в этом отношении некоторую противоречивость.

С одной стороны, он развивает мысль, что движение (имея в виду механическое движение. — *Ред.*) есть первичный, наиболее простой, «удобопонятный род явлений... Поэтому, — заключает Менделеев, — механика, изучающая движения, составляет основную науку естествознания, и все другие стремятся сводить изучаемые ими явления на механические»².

Но Менделеев не хочет идти по пути такого сведения до логического конца; он не может отказаться от столь горячо отстаиваемого им принципа индивидуальности. Одной механики, оказывается, недостаточно. Почему? Потому, что для механики вещество представляет собой систему точек, лишённых индивидуальности. Всё же бесконечное разнообразие индивидуальностей в лице отдельных элементов и их сочетаний изучает уже химия. Изучая вещество только с механической точки зрения, улавливая при этом только общее однообразие, нельзя достичь высшей точки зрения без химии. Химия должна, по мнению Менделеева, занять в естествознании место рядом с механикой.

¹ Д. И. Менделеев. Основы химии, т. I, стр. 355.

² Там же.

И, наконец, следует отметить, что всё мировоззрение автора «Основ химии» проникнуто широким эволюционизмом.

«Мои мысли, — заявляет Менделеев, — всегда были постепеновскими».

Таковы в кратких чертах некоторые элементы общего мировоззрения Д. И. Менделеева, отражённые в его «Основах химии».

СО Д Е Р Ж А Н И Е

От Института философии	3
----------------------------------	---

Раздел I.

ОБЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА МЕНДЕЛЕЕВА.

<i>Академик А. Н. Бах</i> — К 75-летию периодического закона Д. И. Менделеева	9
<i>Б. М. Кедров</i> — Периодический закон Менделеева и его зна- чение для мировой науки	11

Раздел II.

ИСТОРИЯ И ЛОГИКА ОТКРЫТИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА МЕНДЕЛЕЕВА.

Член-корреспондент Академии наук СССР <i>А. В. Раковский</i> — Об открытии периодической системы элементов	37
<i>Б. М. Кедров</i> — Логика научных открытий, связанных с пе- риодическим законом Д. И. Менделеева	51

Раздел III.

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЕЕВА И СОВРЕМЕННОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ.

<i>Академик А. Ф. Иоффе</i> — Физический смысл периодической системы	79
<i>Академик А. Е. Ферсман</i> — Периодический закон Менделеева в свете современной науки	93

Раздел IV.

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЕЕВА И ОСНОВНЫЕ
ПОНЯТИЯ СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ.

<i>Б. М. Кедров</i> — Химические понятия в свете менделеевского наследства	139
<i>Б. М. Кедров</i> — Понятие «химический элемент» с точки зрения периодического закона Менделеева	194

Раздел V.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МИРОВОЗЗРЕНИЯ МЕНДЕЛЕЕВА
В СВЯЗИ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ ЗАКОНОМ.

<i>Профессор Г. С. Васецкий</i> — Некоторые черты мировоззрения Д. И. Менделеева	209
<i>Б. Н. Выропаев</i> — «Основы химии» Д. И. Менделеева и его мировоззрение	234

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

	Стр.
Д. И. Менделеев	3
Фотовоспроизведение письма Д. И. Менделеева к русским химикам	29
Фотовоспроизведение отдельного листка, разосланного Д. И. Менделеевым в феврале 1869 г. многим химикам	39
Фотовоспроизведение листа с портретами «укрепителей периодического закона», составленного Д. И. Менделеевым (с его автографом). 47—50	
Памятник, воздвигнутый Д. И. Менделееву в Ленинграде, на Международном проспекте (д. № 12)	188
Оригинал «Списка моих сочинений», написанный Д. И. Менделеевым. <i>Левая страница</i>	224
Оригинал «Списка моих сочинений», написанный Д. И. Менделеевым. <i>Правая страница</i>	225
Д. И. Менделеев во главе экспедиции на Урал. 1899 г.	229
Титульный лист 8-го издания «Основ химии» 1906 года	237
Титульный лист 2-го издания книги Д. И. Менделеева «Два лондонских чтения»	241