

УДК 541.2

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМ ПЕРИОДИЧНОСТИ В СТРОЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Б.В. ГУСЕВ, доктор техн. наук, профессор, президент Российской инженерной академии, член-корр. РАН, Ю.А. ГАЛУШКИН, доктор философии, физик-ядерщик, профессор, председатель экспертного совета ИНИТ РИА, академик МИА, Самуэл Иен-Лян ИН, доктор наук, профессор Тайваньского национального университета, первый вице-президент Международной инженерной академии, А.А. СПЕРАНСКИЙ, PhD эксперт, профессор Государственного университета «Дубна», вице-президент Российской инженерной академии по науке и технологиям, директор Института наукоемких инженерных технологий

В статье авторы обосновывают необходимость переосмысления Периодической системы элементов, предложенной Д.И. Менделеевым. Также отмечается, что используемый в настоящее время длиннопериодный вариант Периодической системы, одобренный Международным союзом теоретической и прикладной химии (IUPAC), также далек от совершенства.

Периодический закон открыт Д.И. Менделеевым в 1869 году и лежит в основе всего многообразия проявлений химического движения вещества. По мере развития науки он совершенствуется и видоизменяется. Открываются все новые элементы, уточняется изотопный состав элементов.

В начале XX века наука о веществе сделала громадный скачок в связи с разработкой ядерной теории строения атомов, экспериментальным определением величин зарядов атомных ядер и электронных оболочек (Мозли, Томпсон, Резерфорд, Бор и др., 1911-1914). Напомним, что заряд атомного ядра совпадает с порядковым номером элемента в периодической системе. Если атом элемента находится в электронейтральном состоянии, то атомное ядро с положительным зарядом Z окружено оболочками с таким же количеством электронов, каждый из которых несет единицу отрицательного заряда. Поскольку стало ясно, что именно заряд ядра и структура оболочки определяют индивидуальность химических элементов, а атомный вес (атомная масса) элемента является величиной, зависящей от заряда ядра, изменилась и формулировка Периодического закона. Поэтому в современной формулировке Периодический закон звучит так: **свойства простых веществ, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от порядкового номера (от величины заряда ядра их атомов).**

Удобным выражением этого многогранного закона является его наглядное графичес-

кое изображение в виде таблиц, диаграмм, графиков.

Естественно, первая таблица была несовершенной, и в последующие годы Д.И. Менделеев многократно дополнял ее и вносил в ее структуру изменения. Тот вариант Периодической системы в виде таблицы, по которому многие учились, оказывается весьма запутанным. Путаница выражается в разделении подгрупп на главные и побочные, а логика отображения свойств элементов является несовершенной. Несмотря на это многие по нему получили высшие ученые степени, но все же в настоящее время ему на смену пришел новый вариант – длиннопериодный.

Короткая форма таблицы (7 периодов, 8 групп, отдельно показаны элементы – лантаноиды и актиноиды) была официально отменена Международным союзом теоретической и прикладной химии IUPAC в 1989 году. Несмотря на рекомендацию использовать длинную форму, короткая форма продолжает приводиться в большом числе российских справочников и пособий и после этого. Из современной иностранной литературы короткая форма исключена полностью, вместо нее используется длинная форма. Такую ситуацию некоторые исследователи связывают в том числе с кажущейся рациональной компактностью короткой формы таблицы, а также с инерцией, стереотипностью мышления и невосприятием современной (международной) информации [1-6].

Все известные элементы занимают в Периодической системе элементов свои определенные места в соответствии с зарядом ядра их атомов и строением электронной оболочки. Но положение некоторых элементов в Периодической системе пока однозначно не установлено, и по этому вопросу до сих пор еще ведутся дискуссии. К таким элементам

относятся водород, благородные газы, элементы триад VIII группы, лантаноиды и актиноиды.

Таблица (рис. 1) состоит из десяти горизонтальных рядов (семь *периодов*, периоды с 4-го по 6-й состоят из двух *рядов*) и восьми вертикальных столбцов, называемых *группами*.

PERIODIC SYSTEM OF CHEMICAL ELEMENTS D.I. MENDELEEV

ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ

СЕМЕЙСТВА

ЛАНТАНОИДЫ

АКТИНОИДЫ

Рис. 1. Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева

Большинство периодов содержат все 4 известных типа элементов: металлы, элементы с промежуточными свойствами, неметаллы и инертные газы.

ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ

СЕМЕЙСТВА

Рис. 2. Длиннопериодные варианты Периодической системы химических элементов

Но 1-й период в отличие от всех остальных состоит из элементов только двух типов: неметаллического, газообразного в естественных условиях водорода и инертного газа гелия. Совокупность всех современных знаний о химии водорода объективно свидетельствует, что он является единственным элементом, который не может быть однозначно отнесен к какой-либо определенной группе системы.

Элементы 1-го периода – водород и гелий – фактически не имеют естественных мест в системе. Водород в химических реакциях проявляет две противоположные степени окисления: ± 1 . Если принимать во внимание положительную максимальную степень окисления водорода, равную $1+$, а также тот объективный факт, что он является элементом №1, то его естественное место в системе должен быть только в клетке №1 и группе №1.

Однако водород нельзя располагать в I группе, так как в таком случае он окажется вместе с самыми активными типичными металлами – щелочными металлами. Размещение в I группе газообразного, неметаллического водорода со своей отрицательной степенью окисления $1-$ явно нарушает химическую логику, согласно которой в одной группе должны быть объединены только химически сходные элементы.

Водород проявляет степень окисления $1+$ только в реакциях с наиболее активными неметаллами, такими как фтор, кислород, азот, т.е. с такими сверхактивными неметаллами-окислителями, с которыми не только водород, но и все остальные неметаллы также проявляют положительные степени окисления и тем самым становятся «похожими» на металлические элементы. Важно, что водород со всеми металлами и большинством неметаллов проявляет только отрицательную степень окисления $1-$, и такое состояние для него является основным, характерным. А щелочные металлы ни при каких условиях не проявляют отрицательную степень окисления. Это свидетельствует о том, что химическая функция атома водорода принципиально, диаметрально отличается от химической функции атомов щелочных металлов [7]. Структурные недостатки 1-го периода явно указывают на то, что Периодическая система еще остается незавершенной.

Порядок формирования длинных периодов заключается в следующем.

Второй и третий ряды образуют периоды по восемь элементов. Причем каждый из периодов начинается щелочным металлом (литий **Li**, натрий **Na**) и заканчивается инертным газом (неон **Ne**, аргон **Ar**).

Четвертый ряд также начинается щелочным металлом (калий **K**), но в отличие от предыдущих рядов он не заканчивается инертным газом. В пятом ряду продолжается последовательное изменение свойств элементов, начавшееся в четвертом ряду так, что эти два ряда образуют один (в длиннопериодном варианте), так называемый *большой период из 18 элементов*. Как и предыдущие два периода, этот период начинается щелочным металлом (калий **K**) и заканчивается инертным газом (криптоном **Kr**).

Один большой период (из 18 элементов) составляют и следующие два ряда – шестой и седьмой (от рубидия **Rb** до ксенона **Xe**).

В восьмом ряду, который начинается щелочным металлом цезием **Cs**, дополнительное осложнение связано с тем, что после лантана **La** идут 14 элементов,

чрезвычайно сходных с ним по свойствам. Эти элементы называются *лантаноидами*. В Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева (рис. 1) они размещены в виде отдельного ряда (второй ряд снизу таблицы), хотя подразумевается, что все они находятся в той же клетке таблицы Д.И. Менделеева, что и лантан **La**. Таким образом, восьмой и девятый ряды образуют *большой период, содержащий 32 элемента* (от цезия **Cs** до радона **Rn**) (рис. 2).

Наконец, незавершенный 7-й период. Он содержит лишь 21 элемент, из которых 14 очень сходны по своим свойствам с актинием **Ac**. Они выделены в отдельный ряд *актиноидов*, хотя на самом деле должны размещаться в той же ячейке таблицы Д.И. Менделеева, что и актиний **Ac**.

В дословном переводе «лантаниды» и «актиниды» (термины, преимущественно использующиеся в зарубежной литературе) означают «идущие за лантаном» и «идущие за актинием». В 1948 году русский химик С.А. Шукарев предложил названия «лантаноиды» и «актиноиды» (т.е. «подобные лантану» и «подобные актинию») [8]. В первом случае, при учете большого химического сходства, термин достаточно четко отражает положение вещей. Во втором дело обстоит сложнее, так как 5f-элементы в силу обилия проявляемых ими степеней окисления отнюдь нельзя рассматривать как «подобные актинию». Ряд авторов настаивают необоснованно на полной аналогии актинидов и лантанидов. Действительно, даже самое общее знакомство с химическими свойствами элементов начала ряда актинидов – Торий **Th**, Уран **U**, Нептуний **Np**, Плутоний **Pu** – указывает на принципиальные отличия в свойствах актинидов и лантанидов. Так, для лантанидов наиболее характерна степень окисления (III), тогда как упомянутые актиниды устойчивы в более высоких степенях окисления (IV, VI) [9].

Отсутствие химических элементов, завершающих 7-й период (рис. 2), связано с тем, что далеко не все химические элементы еще открыты и не все они могут быть сформированы в условиях Земли, что и подтверждается на практике.

В вертикальных столбцах таблицы – *группах* – располагаются элементы, обладающие одинаковой валентностью в высших солеобразующих оксидах (на рис. 1 высшие окислы приведены в четвертой снизу таблицы строке). Валентность указана римской цифрой (как номер группы элементов). Короткопериодный вариант Периодической системы содержит 8 групп химических элементов, каждая группа разделена на две *подгруппы*, одна из которых (*главная*) включает элементы малых периодов и четных рядов больших периодов. А другая подгруппа (*побочная*) образована элементами нечетных рядов больших периодов.

В длиннопериодном варианте Периодической системы – 18 групп, имеющих те же обозначения, что и в короткопериодном. Различия между главными и побочными подгруппами ярко проявляются в крайних группах таблицы (прежде всего в группах I и VII). Так, главная под-

группа I группы включает очень активные щелочные металлы, которые энергично разлагают воду: **Li**, **Na**, **K**, **Rb**, **Cs**, **Fr**. Побочная подгруппа I группы состоит из меди **Cu**, серебра **Ag**, золота **Au**, малоактивных в химическом отношении.

В группе VII главную подгруппу составляют активные неметаллы фтор **F**, хлор **Cl**, бром **Br**, йод **I**, астат **At**. У элементов побочной подгруппы VII группы – марганец **Mn**, технеций **Tc**, рений **Re** и, возможно, борий **Bh** – преобладают металлические свойства.

VIII группа элементов занимает особое положение. Она состоит из основной подгруппы благородных (инертных) газов гелий **He**, неон **Ne**, аргон **Ar**, криптон **Kr**, ксенон **Xe**, радон **Rn**; и побочной подгруппы, включающей 9 элементов (по горизонтали), разделенных на три триады очень сходных друг с другом элементов: **Fe – Co – Ni**; **Ru – Rh – Pd**; **Os – Ir – Pt**.

Структура VIII группы максимально противоречива. В нее включены подгруппа VIIIb с «триадой» («семейство железа» – **Fe**, **Co**, **Ni**) и «семейство платиновых металлов» (**Ru**, **Rh**, **Pd**, **Os**, **Ir**, **Pt**), куда, естественно, должны входить в виде трех вертикальных рядов и не так давно полученные элементы 108-110, которые никогда не относились к платиновым. В эту же группу входит, противореча здравому смыслу, и подгруппа VIIIa, куда отнесены благородные газы (**He**, **Ne** и другие). С уверенностью можно утверждать, что исторически эти триады-семейства были «втиснуты» в последнюю (VIII) группу вынужденно, вопреки логике, так как эта группа, согласно электронной структуре атомов, предназначена природой только для указанных газовых элементов. Причина проста: четырем триадам из 3(4) декад в каждом периоде при компоновке таблицы из восьми групп не хватило места в ее предшествующих семи группах [10].

Число вариантов графического изображения Периодической системы, которые были опубликованы начиная с 1869 года едва ли поддается сколь-либо точной оценке. В Институте истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН была проведена работа по сбору и систематизации таких вариантов. В результате был составлен обширный атлас, содержащий более 500 модификаций системы. Среди них преобладают таблицы (>400); остальные изображения – в виде различных геометрических фигур, аналитических кривых и т.п. Конечно, эти сведения далеки от того, чтобы быть исчерпывающими.

Усовершенствованная длинная форма таблицы Д.И. Менделеева была предложена в 1905 году А. Вернером. Лестничная форма предложена английским ученым Т. Бейли (1882 г.), датским ученым Ю. Томсенем (1895 г.) и усовершенствована тоже датчанином Н. Бором (1921 г.). Альтернативные периодические таблицы являются различными представлениями химических элементов, которые значительно отличаются от организации элементов в Периодической таблице Д.И. Менделеева. В настоящее время различными авторами предложено множество вариантов, которые в основном нацелены на дидактическое

преподнесение материала, так как не все корреляции между химическими элементами видны из стандартной Периодической системы [10, 11].

Однако все эти предложения не позволяют получить ответов на вопросы о том, где же все-таки границы Периодической системы и в чем заключаются причины ритмически повторяющегося «спонтанного нарушения симметрии» в расположении элементов в таблице, когда из нее в обособленные группы выделяется большое число элементов, например актиноиды, лантаноиды [12, 13].

В 1951 году на первой, так называемой установочной лекции для студентов физико-технического факультета МГУ директор Института химической физики АН СССР, лауреат Нобелевской премии академик Н.Н. Семенов отметил необходимость устранения по крайней мере пяти недостатков в таблице Д.И. Менделеева, которая была основой для научных исследований, инженерных решений и обучения химическим наукам на тот момент уже более 80 лет. По его словам, «...после устранения недостатков обнаружатся новые свойства и взаимосвязи элементов, что позволит проводить большинство научных исследований на новом, более высоком уровне и решать стоящие инженерные задачи не только вам — инженерам-физикам, а всем ученым, инженерам и практикам».

Н.Н. Семенов сформулировал главные недостатки таблицы Д.И. Менделеева:

1. Ряды (так называемые полупериоды в ныне обозначенных периодах) имеют разную длину, при этом возникает 37 незаполненных мест — свободных клеток.

2. В первом ряду элементов всего два; к тому же водород не занимает постоянного места, а эти два элемента одного ряда составляют целый период (полупериодов здесь и быть не может).

3. Лантаноиды и актиноиды оказались за пределами таблицы.

4. Группа инертных газов была добавлена позже открывшими их учеными от имени Рамзая.

5. Введенная позже длиннопериодная таблица положение в целом не спасает и остается слишком асимметричной.

К тому же Д.И. Менделеев в последних прижизненных изданиях «Основ химии» исключил введенные им термины «короткие» и «длинные» периоды, хотя таблицы называл периодическими. Кроме того, нынешних периодов семь, а рядов десять (рис. 1), т.е. период, полупериод и ряд — это разные, несовпадающие и несовместимые понятия, а с учетом лантаноидов и актиноидов эти термины еще более усложняются.

Авторами делается попытка ввести симметрию и получить трехмерное изображение периодичности строения элементов [14].

Выводы:

1. Периодическая система элементов, предложенная Д.И. Менделеевым, несмотря на ее гениальность, требует нового переосмысления.

2. Используемый в настоящее время длиннопериодный вариант Периодической системы, одобренный Международным союзом теоретической и прикладной химии IUPAC, также далек от совершенства.

3. Первый период не укладывается в общую логику Периодической системы. Структурные недостатки 1-го периода указывают на то, что Периодическая система все еще остается незавершенной.

4. Лантаниды и актиноиды имеют существенные отличия и полностью не укладываются в логику 6-го и 7-го периодов.

5. Отсутствие химических элементов, завершающих 7-й период, связано с тем, что не все химические элементы открыты и не все сформированы в условиях Земли и даже во Вселенной.

6. Требуется провести подробный анализ I и VIII групп, особенно во второй половине таблицы, с подробным изучением валентности элементов.

Библиографический список

1. Ахметов Н.С. *Актуальные вопросы курса неорганической химии*. — М.: Просвещение, 1991, с. 224.
2. Корольков Д.В. *Основы неорганической химии*. — М.: Просвещение, 1982, с. 271.
3. Коренев Ю.М. *Общая и неорганическая химия. В 3-х частях*. — М.: Издательство Московского университета, 2002.
4. Трифонов Д.Н. *Рождение атомной модели. Б. РХО. Химия в России*, № 4, 2004, с. 18-21.
5. *Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. Пособие по химии. Введение в общую химию*. // Электронное учебное пособие. — Москва, 2013.
6. *Общая и неорганическая химия. Т. 1. Теоретические основы химии. Учебник для вузов в 2-х томах. Под ред. А.Ф. Воробьева*. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2004, с. 371.
7. Кайкацишвили З.Р., Джинчарадзе Р.Р. *Системная классификация химических элементов*. 2004.
8. Кораблев Т.П., Корольков Д.В. *Теория периодической системы*. Издательство Санкт-Петербургского университета, 2005, с. 7.
9. Нурлыбаев И.Н., Семкина К.Ю. *О формулировке периодического закона и подобии периодов периодической системы Д.И. Менделеева // XIX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тезисы докл.* — Волгоград, 2011, т. 4, с. 561.
10. Агафшин Н.П. *Периодический закон и периодическая система элементов Д.И. Менделеева*. — М.: Просвещение, 1973, с. 208.
11. Имянитов Н.С. *Новая основа для описания периодичности* // *Журнал общей химии*. — 2010. — Т. 80. — Вып., с. 69-72.
12. Щеголев В.А. *За краем таблицы Менделеева* // *Природа*, № 1, 2003.
13. Соловьев Ю.И., Трифонов Д.Н., Шамин А.Н. *История химии. Развитие основных направлений современной химии*. — Москва: Просвещение, 1984, с. 336.
14. *Fundamental triad of knowledge and the Laws of its volume periodicity in structure of physical-chemical elements / Y. A. Galoushkin, B.V. Gusev, Samuel Yen-Liang Yin, A.A. Speranskiy // V International scientific conference of the State University «Dubna» [Электронный ресурс]*. — URL: <http://yrazvitie.ru> (дата обращения: 17.12.2015).