

Валентность и открытие периодического закона: методологический анализ и методический аспект

Д. И. Мычко, кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической химии БГУ

В представленной статье продолжен методологический дискурс, инициированный академиком А. И. Лесниковичем [1]. Его цель — провести методологический анализ и дать методическую оценку двум сделанным им предложениям:

1. Стехиометрическая (формальная) валентность, отражающая количественное соотношение химических элементов в соединении, служит удобным средством систематизации химических соединений по их составу, избавляет учащихся от формального запоминания формульных единиц, позволяет им эффективно пользоваться периодической системой для предсказания таких единиц (формул соединений). Эта характеристика валентности была исторически первой и сыграла важную роль при открытии периодического закона (ПЗ).

2. В учебных целях целесообразно вернуть к использованию, наряду с длиннопериодным, короткопериодный вариант таблицы периодической системы Д. И. Менделеева. При этом она должна содержать информацию о валентности в виде формул RH_x и R_yO_z , подписанных, как и у Д. И. Менделеева, под каждой группой в системе элементов. Современный короткопериодный вариант таблицы, содержащий RH_x и R_yO_z , наиболее наглядно отражает химические свойства элементов, но он незаслуженно предаётся забвению, уступая место длиннопериодной таблице, нагляднее отражающей строение атомов. В учебных целях рациональнее использовать оба варианта таблицы.

Итак, попытаемся разобраться в двух основных вопросах:

1. Какова роль валентности в открытии периодического закона?

2. Целесообразно ли использовать в современном образовательном процессе два

варианта табличного представления периодической системы химических элементов?

Роль понятия валентности в открытии периодического закона

А. И. Лесникович указал на роль валентности в открытии ПЗ. Для нашего читателя такая точка зрения может показаться неожиданной, хотя об этом неоднократно писали и другие исследователи истории этого великого открытия [10—12]. Почему она не стала доминирующей и не нашла отражения в учебной литературе, и в чём собственно заключается роль понятия валентности в открытии периодического закона?

Сейчас уже трудно определить, с чьей подачи в наши учебники проникла искажённая логика открытия Д. И. Менделеевым периодического закона. Из этих описаний истории следует, что Менделеев к своему открытию должен был прийти через сравнение свойств элементов разных естественных групп (щелочных металлов, галогенов и др.), сближая несходные группы [2]. В то же время сам Менделеев в своих статьях, в которых представил методологию своего открытия, отмечал, что попытки систематизации элементов на основе поиска химического сходства между ними были бесперспективными: «...Давно известно много групп между собой сходных элементов. Так, есть аналоги кислорода, азота и углерода. Но ... где причина их сходства? И каково отношение групп друг к другу? Без ответа на эти вопросы легко при образовании групп впасть в заблуждение, потому что понятия о степени сходства нередко будут относительны и резкости или точности не представляют. Так, литий сходен в одном отношении с калием, в другом — с магнием, бериллий сходен с алюминием и магнием.

...Такие случаи, очень многочисленные, придают всем качественным признакам элементов некоторую степень шаткости, хотя и служат облегчению и, так сказать, оживлению всей системы знакомства с элементами, указывая в них признаки индивидуальности, позволяющей предугадывать ещё не наблюденные свойства простых и сложных тел, образующихся из элементов. Эти сложные индивидуальные особенности элементов придавали чрезвычайный интерес открытию новых элементов, не позволяя никоим образом сколько-нибудь предвидеть сумму физических и химических признаков, свойственных веществам, ими образуемым. Всё, чего можно было достигнуть при изучении элементов, ограничивалось сближением в одну группу наиболее сходных, что уподобляло всё это знакомство с систематикой растений или животных, т. е. изучение было рабским, описательным и не позволяющим делать какие-либо предсказания по отношению к элементам» [3].

Чтобы восстановить истинную логику, приведшую к открытию периодического закона и разработке периодической системы химических элементов, прибегнем к реконструкции того мысленного эксперимента, который проделал в этой связи Менделеев. Для этого обратимся к первоисточнику — работам самого Д. И. Менделеева, в которых он продемонстрировал и обосновал методологию сделанного им открытия [3—8].

Для наглядности картины менделеевского эксперимента условно разделим весь его ход на несколько стадий, наличие и последовательность которых вытекают из той аргументации, к которой Д. И. Менделеев неоднократно прибегал, рассматривая сущность и историю периодического закона. В подтверждение допустимости представленной нами логической схемы в каждом случае будем приводить цитаты из работ Менделеева, список которых указан в конце статьи.

Логическая схема разработки периодического закона

1. Прежде всего Менделеев уточнил понятие «химический элемент», показав его

функции как идеального объекта теоретического исследования.

«Главное понятие, с которым возможно приступить к объяснению периодической законности, состоит именно в коренном различии представлений об элементах и о простых телах. Так, химические элементы подлежат расследованию совершенно такому же, как простые или сложные тела, которые можно накалить, взвесить и вообще подвергать прямому наблюдению. Сущность дела здесь в том, что у химических элементов на основании опытного исследования простых и сложных тел, ими образуемых, открываются свои индивидуальные свойства и признаки, совокупность которых и составляет предмет исследования».

2. Разграничил свойства, которыми можно наделить химические элементы, на качественные и количественные, «хотя первые из них и сами по себе подлежали бы измерению».

3. Проанализировав качественные свойства (металлические и неметаллические, способность образовывать кислоты и основания и т. п.), пришёл к выводу, что «...нет ни одного общего качественного принципа, который выдержал бы критику и мог бы стать общей основой для распределения элементов по свойствам в более или менее строгую систему. Только относительно некоторых групп элементов не существует сомнения, что они образуют одно целое. Таковы группы галогенов и щелочных металлов, отчасти некоторые другие». Поэтому химические свойства, используемые для классификации элементов, хотя понятны и способствуют характеристике элементов, но не могут быть положены в основу обобщения, потому что они не измеримы и выводы, основанные на них, заключают много произвольного и вследствие этого мало достоверного. При этом нет оснований для обобщения взаимного отношения разных групп между собой. От этого все ранее предлагаемые системы элементов страдают неполнотою и отсутствием внешней целостности. «Там, где нельзя измерять, поневоле ограничиваются сопоставлением, основанным на произвольно избранных признаках, часто лишённых точности».

4. Рассматривая количественные характеристики элементов, известные к моменту открытия периодического закона, убедился, что: «Из всех свойств элементов, подлежащих точному измерению, накопился большой запас данных поныне только для двух: для атомных весов (*ред.* — сейчас его называют относительной атомной массой) и для способности к образованию различных форм соединений*. Эта последняя формулируется ныне в учении об атомности элементов».

5. Установил чисто математическую зависимость между последовательным изменением атомного веса и значением валентности элементов, и на этой основе открыл периодический закон, «...хотя ничто не указывало ещё ни на взаимную связь этих свойств, ни на соотношение их с другими, особенно качественными, свойствами элементов...».

На чём основывалась методика установления этой зависимости?

В отличие от тех химиков, которые искали закономерности в сравнении количественно неопределённых свойств, Менделеев подошёл к этому так, как это должен был сделать математик или физик, пытаясь установить вид некоторой зависимости одной переменной величины от другой по мере изменения последней, т. е. вид функции.

Но что значит с математической точки зрения установить закономерность в свойствах химических элементов?

Установление закономерности в физике или алгебре есть отыскание вида функции, или зависимости между двумя переменными — $y=f(x)$. Одна переменная x — аргумент функции, которую называют независимой переменной и которая в данном эксперименте ни от чего не зависит. Её целенаправленно и контролируемо изменяют (варьируют ею) и при этом наблюдают за изменением другой переменной y , значения которой зависят от значений первой переменной. Поэтому вторую переменную называют зависимой переменной, или функцией.

Так и поступил Д. И. Менделеев. Для поиска закономерности в изменении свойств элементов он выбрал одно измеряемое свойство, присущее всем элементам, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них, и проследил, как последовательное изменение интенсивности (числового значения) этого свойства скажется на изменении характера других свойств химических элементов. «Закон есть всегда соответствие переменных, как в алгебре функциональная их зависимость. Следовательно, имея для элементов атомный вес как одну переменную, для отыскания закона элементов следует брать иные свойства элементов, как другую переменную величину, и искать функциональные зависимости».

В качестве независимой переменной (переменной, которой он манипулировал, т. е. подвергал изменению) Менделеев выбрал атомный вес, считая его единственной для того времени фундаментальной характеристикой элемента. «...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. ...Вот по этой причине я и старался основывать систему на величине атомного веса элементов... Величина атомного веса определяет характер элемента... Поскольку из всех свойств химических элементов атомный их вес наиболее доступен для численной точности определения и для полной убедительности, то исходом для нахождения законности химических элементов всего естественнее положить веса атомов, тем более что в весе (по закону сохранения масс) мы имеем дело с неуничтожаемым и важнейшим свойством всякой материи».

* Как известно, под термином «форма соединений» Менделеев понимал определённые количественную и качественную характеристики химического соединения, которые указывали на принадлежность данного соединения к оксидам, гидридам, кислотам, основаниям или солям и могли быть выражены посредством формул типа $\text{Э}_x\text{O}_y$, ЭH_x , $\text{H}_x\text{Э}_y\text{O}_z$, Э(ОН)_x и т. д. Соединениями одной формы считались: а) MgO , CaO и BaO ; б) KMnO_4 и KClO_4 и т. д. «Формы соединений элемента R с другими элементами RX , RX^2 , RX^3 ... назывались Дальтоном соединениями в кратных пропорциях, Жераром — типами, а ныне при их посредстве определяют так называемую атомность, или *Werthigkeit* элементов».

В качестве зависимой переменной он выбрал ещё одно количественно определённое, а поэтому объективное свойство химического элемента — его атомность (или валентность), установленную по химическим формулам соединений. Все остальные свойства не могли рассматриваться, так как были или неточны, или не имели количественного описания.

Таким образом, Менделеев осуществил мысленный эксперимент, который по своей форме представляет не что иное, как привычную для каждого старшеклассника процедуру построения графика для установления вида функции, например $y=\sin x$.

Рассмотрев формы оксидов, Менделеев заключил, что «вся совокупность сведений о солеобразных окислах приводится к тому выводу, что число самостоятельных форм или видов окислов очень невелико и ограничивается следующими восемью:

R_2O	например, K_2O , Ag_2O
R_2O_2 или RO	например, CaO , FeO
R_2O_3	например, Al_2O_3 , N_2O_3
R_2O_4 или RO_2	например, CO_2 , SiO_2
R_2O_5	например, N_2O_5 , P_2O_5
R_2O_6 или RO_3	например, SO_3 , CrO_3
R_2O_7	например, Cl_2O_7 , Mn_2O_7
R_2O_8 или RO_4	например, OsO_4 , RuO_4

...»,

обозначив через R атом любого из элементов.

Располагая формы высших оксидов в порядке возрастания атомной масса элемента, можно было пронаблюдать за закономерностью, представленной в таблице 1.

Таблица 1. Соотношение значений относительных атомных масс элементов и образуемых ими высших оксидов

Высший оксид														
R_2O_7								—						Cl_2O_7
RO_3								—						SO_3
R_2O_5							N_2O_5						P_2O_5	
RO_2					CO_2							SiO_2		
R_2O_3				B_2O_3								Al_2O_3		
RO			Be_2O							MgO				
R_2O	H_2O	Li_2O							Na_2O					
Атомный вес	1,008	7,03	9,08	10,95	12,01	14,04	16	19,06	23,05	24,28	27,11	28,40	31,02	32,07 35,45

Аналогичную процедуру можно было проделать с известными в то время летучими соединениями водорода (табл. 2).

Таблица 2. Соотношение значений относительных атомных масс элементов и образуемых ими водородных соединений

Водородные соединения								
RH				FH				ClH
RH_2			OH_2				SH_2	
RH_3		NH_3				PH_3		
RH_4	CH_4				SiH_4			
Атомный вес	12,01	14,04	16	19,06	28,40	31,02	32,07	35,45

Из анализа этих закономерностей и был сделан неожиданный вывод: если «при увеличении массы во всех обычных случаях идёт всё время последовательное изменение

(например, возрастает при прочих равных обстоятельствах притяжение, объём и т. п.) в определённую сторону, здесь же это замечается только до известного предела ...

после которого или совершается обратное изменение, или начинается повторение прежнего, как в пиле повторяются зубья и имеются высшие и низшие точки».

Таким образом, «существующая здесь зависимость представляет форму периодической функции». «Высшие формы соединений элементов с водородом и кислородом, а следовательно и с элементами им эквивалентными, определяются атомным весом элемента и представляют периодическую его функцию». Это был уже подмеченный принцип, который потом назва-

ли принципом периодичности. Вот откуда в формулировке периодического закона присутствует «...**форма химических соединений находится в периодической зависимости от...**».

«Сопоставление элементов или их групп по величине атомного веса отвечает их так называемой валентности», что дало основание приступить к составлению системы элементов в виде таблицы, в которой в одной группе помещались элементы, имеющие одинаковые формулы высших оксидов и летучих водородных соединений.

Таблица 3. Распределение элементов по группам и периодам

Периоды	Ряды	Группы						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
I	1	H						
II	2	Li	Be	B	C	N	O	F
III	3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
IV	4	K	Ca	?	Ti	V	Cr	Mn
Высшие солеобразующие окислы		R_2O	R_2O_2	R_2O_3	RO_2	R_2O_5	RO_3	R_2O_7
Соединения с водородом					RH_4	RH_3	RH_2	RH

Теперь достаточно было обратить внимание на те элементы, которые попали в одну группу, чтобы сделать вывод: «Между элементами, расположенными по величине атомных весов, представляется ясное соотношение не только по формам соединений, но и по другим химическим и физическим признакам... В начале строк стоят наиболее резкие металлы, на конце — самые ясные представители металлоидов, первые — основные, последние — кислотные, средние обладают промежуточными свойствами». И наконец: «элементы, расположенные по возрастанию их атомного веса, представляют явственную периодичность свойств» [5].

Всю совокупность соотношений, замеченных при подобных сличениях, Менделеев сформулировал в следующем положении: «Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел стоят в периодической зависимости от атомного веса». И назвал его «законом периодичности» [6]. Тогда же Менделеев придал своей периодической таблице классический вид (так называемая короткопериодная таблица).

Позже появились и другие формулировки периодического закона, в которых была

специально подчеркнута роль формы соединений (валентность): «Свойства простых тел, также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости (или выражаясь алгебраически, образуют периодическую функцию) от величины атомного веса элементов» [4]. Это и составляет суть периодического закона.

Таким образом, становится очевидной роль такого свойства химического элемента, как валентность, в открытии периодического закона. Валентность оказалась той переменной, с помощью которой была установлена функциональная зависимость свойств элементов от атомной массы (периодический закон), и тем критерием, по которому можно было провести систематизацию химических элементов, как мы увидим далее, при разработке периодической системы. Элементы были объединены в группы системы по их общему признаку — валентности в их высших оксидах и водородных соединениях. Так, в таблице периодической системы появились общие формулы высших оксидов и водородных соединений для каждой группы элементов.

Позже, когда была установлена связь между местом элемента в периодической си-

стеме и строением атома — зарядом ядра и числом валентных электронов, — стало ясно, что успех Менделеева был обеспечен тем, что группируя элементы по их валентности в систему, он интуитивно правильно «ухватился» за основной классификационный признак (свойство элементов) — валентность, в котором проявляется сущность хи-

мических элементов, определяемая зарядом ядра и электронной конфигурацией внешнего электронного слоя атома. Из таблицы 4 видно, что число электронов на внешнем слое (число валентных электронов) соответствует валентности элемента по кислороду в высшем оксиде, а число неспаренных электронов — валентности элемента по водороду.

Таблица 4. Сопоставление различных групповых характеристик химических элементов

Номер группы в периодической системе	I	II	III	IV	V	VI	VII
Электронная конфигурация внешнего электронного слоя атомов элементов	s^1	s^2	s^2p^1	s^2p^2	s^2p^3	s^2p^4	s^2p^5
Число электронов на внешнем электронном слое (число валентных электронов)	1	2	3	4	5	6	7
Валентность в высшем оксиде (валентность по кислороду)	1	2	3	4	5	6	7
Валентность по водороду	1	2	3	4	3	2	1
Число неспаренных электронов в валентном состоянии	1	2	3	2/4	3/5	2/6	1/7

Таким образом, понятие «валентность» в исследовании Менделеева выполняло следующие методологические функции:

1) систематизирующую, так как на основе этого понятия были систематизированы химические элементы по группам периодической системы;

2) эвристическую, поскольку на этом основании был открыт периодический закон и было определено место каждого элемента в периодической системе;

3) прогностическую, поскольку по положению элемента в периодической системе стало возможным определить формы образуемых соединений.

Периодический закон Д. И. Менделеева вскрыл зависимость валентности элемента от его положения в периодической системе. Эта зависимость сыграла чрезвычайно важную роль в развитии химии: зная лишь положение элемента (в том числе элементов, которые в то время ещё не были открыты) в периодической системе, можно было определить его валентные возможности, предсказать свойства и состав его соединений и впоследствии синтезировать их.

В результате открытия Менделеевым периодического закона учение о валентности получило прочное обоснование и из набора эмпирических правил превратилось в стройную теорию [10]. Периодический

закон послужил надёжным ориентиром в развитии исследований, направленных на выявление физической сути валентности. На его основе были созданы первые электронные модели валентности, объясняющие её целочисленный характер и загадочное число 8 (сумма валентности по кислороду и водороду). Понятие валентности как потенциальной реакционной способности изолированного атома, получившее в методе ВС физическую интерпретацию как спин-валентность, определяемую по числу неспаренных электронов внешнего электронного слоя изолированного атома.

Во всём этом следует искать и **дидактические функции понятия валентности**: предсказательную, эвристическую, систематизирующую и объяснительную, адаптируя рассмотренный выше методологический аналог к конкретным условиям учебного предмета.

Какую таблицу периодической системы лучше использовать в учебном процессе?

В статье [1] был поставлен вопрос о целесообразности возвращения в нашу школу короткопериодного варианта таблицы периодической системы, как наиболее методически оправданного, особенно на начальном этапе изучения химии.

Попытаемся провести методологический и методический анализ сделанного предложения.

Наша школа уже десять лет использует 18-групповую таблицу, как и большинство стран. Казалось бы, что тут ещё анализировать? Для многих она стала уже традиционной. Старшее поколение преподавателей может вспомнить, как трудно было к ней привыкать после 8-групповой таблицы. Зачем возвращаться обратно? К тому же выросло уже и новое поколение учителей химии, которые и в вузе, и в школе учились только по 18-групповой таблице. Многие даже не знают о существовании короткопериодной таблицы.

Может быть, и я считал бы не актуальным это обсуждение, если бы сам ещё до появления статьи А. И. Лесникова не столкнулся с неожиданным выбором учащихся.

В начале 2008/09 учебного года на занятиях в 11' нехимическом классе лицея БГУ, в который были зачислены выпускники разных школ и знания которых по химии мне представлялись весьма удовлетворительными, я столкнулся с удивившим меня поведением учащихся. В аудитории, где проходил урок, на стенах висело две таблицы периодической системы: одна большая яркая 18-групповая, вторая поблёкшая маленькая короткопериодная, в которой под каждой группой были указаны формулы высших оксидов и водородных соединений. Хотя учащиеся ранее использовали только 18-групповую таблицу, но, узнав про прогностические возможности короткопериодной таблицы, они стали пользоваться только ею. Она им сразу показалась полезней. Прагматизм — отличительная черта современной молодёжи.

Этот пример и позволяет мне с уверенностью задать вопрос: а какие основания были у тех, кто инициировал в нашей школе безальтернативный переход к использованию 18-групповой таблицы?

Говорят, что это рекомендации ИЮПАК и что такая таблица используется во всех современных учебниках на западе. Но, во-первых, не во всех: используют там и 8-групповые. Во-вторых, ИЮПАК не давал таких рекомендаций: он просто установил вид своей официальной таблицы.

Безусловно, в статье не ставится цель проанализировать, как введение таблич-

ной формы периодической системы, нетрадиционной для методики преподавания химии в нашей школе, сказалось на уровне подготовки её выпускников, но и нельзя не отметить, что любые подобные нововведения в школе должны появляться не в результате авторитарных решений, а как следствие глубокого анализа и терпеливой дискуссии. Научное сомнение — атрибут научного стиля мышления, начало любого творческого процесса.

Пытались ли те, кто вводил 18-групповую таблицу, соразмерить преимущества одного варианта перед той методической системой, которая создавалась на протяжении почти 130 лет использования периодической системы в процессе обучения химии и которая при этом утрачивалась? Пытались ли они понять, почему в России, даже в вузовских учебниках, до сих пор, наряду с 18-групповой, используют 8-групповую таблицу периодической системы [14]? Ответ прост: это дань традиции, проверенной временем, созданной трудом многих опытных методистов, заложенной научным и педагогическим гением Дмитрия Ивановича Менделеева, носителями которой были и остаются многие учителя химии и преподаватели вузов.

Прежде чем начать поиск ответа на поставленный в начале статьи второй вопрос, разберёмся в сути понятий «периодический закон», «периодическая система химических элементов» и «таблица периодической системы», или «периодическая таблица элементов», как её повсеместно называют в иностранной литературе. Далее эти понятия для краткости будем обозначать как *Закон*, *Система* и *Таблица* соответственно.

Закон констатирует наличие периодической повторяемости свойств у множества химических элементов, упорядоченных определённым образом (по возрастанию атомной массы или величины заряда ядра атомов).

Система — это совокупность упорядоченных химических элементов, это конкретное выражение периодического закона. Она определяет организацию, устанавливает порядок расположения относительно друг друга всей совокупности химических элементов в зависимости от последовательного изменения некоторого параметра (атомного веса, как у Менделеева, или величины заряда ядра, как сейчас), т. е.

определяет место каждого элемента в этом их упорядоченном множестве. Она выделяет группы сходных по свойствам элементов, определяет интервалы периодичности, через которые повторяются элементы-аналоги. Место каждого элемента, определяемое порядковым (атомным) номером элемента, в этой системе является наиболее важным представлением, на которое опирается периодическая система элементов. Оно выражает совокупность всех основных свойств данного элемента, причём не обособлено, а в совокупности его связи и отношений ко всем остальным элементам, расположенным согласно периодическому закону. Система может иметь самые различные геометрические и графические изображения, но место каждого элемента в ней строго определено и неизменно относительно всех других. Место элемента, или, точнее сказать, его порядковый (атомный) номер, является фундаментальным признаком элемента. Таким образом, если периодический закон указывает на периодичность свойств химических элементов, то периодическая система призвана ответить на вопросы: «Какова эта периодичность, т. е. с какой регулярностью у химических элементов при расположении их в порядке возрастания заряда ядра атомов периодически повторяются аналогичные свойства? Как по отношению к друг другу расположены химические элементы, упорядоченные согласно периодическому закону и собранные в группы по сходству свойств их атомов и образуемых соединений?» Таким образом, периодическая система устанавливает порядок элементов, место каждому элементу и интервал периодичности повторения некоторых свойств соединений, образуемых элементами.

Таблица — это один из способов графического представления периодической системы, это её модель, её иллюстрация. Система одна, а её табличных представлений может быть множество. Помимо табличных вариантов существуют и другие способы моделирования периодической системы — в виде диаграмм, кривых и ломаных линий (см. рис. 1—3 на с. 3 обложки). Их опубликовано более 500 вариантов.

С методологической точки зрения, особенностью периодического закона является то, что в его формулировке не определены ни свойства элементов, о которых

идёт речь (у элементов имеются и непериодические свойства), ни конкретный вид периодической зависимости. Сам по себе периодический закон неинформативен в отличие, например, от второго закона Ньютона, который устанавливает математическую зависимость между некоторыми свойствами тел в инерциальной системе отсчёта: $F = ma$.

У периодического закона нет привычного для физических законов математического выражения. Выявить какую-либо математическую зависимость для свойств химических элементов пока нерешаемая задача. Поэтому Менделеев для демонстрации закона использовал таблицу. Суть периодического закона раскрывается только одновременно с демонстрацией таблицы периодической системы. Закон и его графическая модель неразделимы. В связи с этим в некоторых курсах общей химии периодический закон часто вообще не упоминается, а рассматривается лишь таблица.

Таблица была использована в исследованиях Менделеева с самого начала как модель системы элементов для выявления закономерности. Но во времена Менделеева, по-видимому, ввиду особенностей методологических требований на эту особенность таблицы акцент не делался. По традиции это сохранилось и в современных определениях системы элементов, в которых можно заметить тенденцию к отождествлению *Системы* с *Таблицей*. Так, согласно «Химической энциклопедии» [16]: «Периодическая система химических элементов — это упорядоченное множество химических элементов, их естественная классификация, являющаяся табличным выражением периодического закона Менделеева». Это определение не выделяет какую-либо определённую *Таблицу*, а справедливо для любой из сотен её вариантов.

По-видимому, понятийная система современной научной методологии даёт основания провести различия между этими понятиями, выстроив иерархическую сопряжённую цепочку понятий: периодический закон, периодическая система элементов, таблица периодической системы элементов.

Таким образом, таблица периодической системы является знаковой моделью периодической системы.

Определив *Таблицу* как модель *Системы*, становится понятным, что, как для

описания любого явления может привлекаться несколько моделей, так и для характеристики *Системы* может быть использовано несколько *Таблиц*. Всё определяется тем, что с помощью модели хотят продемонстрировать, изучить. Точно так же, как нет абсолютно достаточных моделей, так и не может быть универсальной *Таблицы*. Каждая модель призвана помочь изучить или отразить лишь некоторые, какие-то определённые стороны объекта или явления, которое очень сложно само по себе, поэтому его познание нуждается в модели.

Как модель *Таблица* может выполнять следующие функции:

1) *эвристическую*, которую использовал, как было показано выше, Менделеев при открытии периодического закона. Эта функция была задействована и при описании свойств неоткрытых элементов, исследованию строения атома и во множестве других исследований. Например, Нильс Бор при выводе реальной схемы формирования электронных конфигураций атомов опирался на модель ПС и для построения электронных оболочек атомов выбрал лестничную форму ПС (см. рис. 1 на с. 3 обложки);

2) *объяснительную и интерпретационную*. Например, для объяснения различий в свойствах соединений разных элементов мы привлекаем данные по положению этих элементов в периодической системе;

3) *предсказательную*. Эту функцию широко использовал сам Менделеев. Оставив в таблице вакантные места для элементов, он с высокой долей достоверности предсказал их свойства с учётом места в периодической системе;

4) *критериальную*, которая использовалась при проверке гипотез, связанных с установлением свойств искусственных элементов;

5) *классификационную*;

6) *демонстрационную*;

7) *корректирующую*, использованную Менделеевым при уточнении атомных весов;

8) *информационно-справочную*;

9) *дидактическую* и др.

С точки зрения эффективности, способности реализовать эти функции и следует проводить оценку различных вариантов таблиц как моделей периодической системы.

Сопоставим два обсуждаемых варианта *Таблицы* с точки зрения эффективности

дидактической функции, которые они могут выполнять на начальном этапе обучения химии.

Первым вариантом *Таблицы*, предложенным Менделеевым, был длиннопериодный [17]. Он не был похож на современный.

В 1871 году впервые появилась горизонтальная форма периодической системы, которая была короткопериодная (8-столбцовая таблица) и в которой элементы расположены в порядке возрастания атомного веса слева направо (периоды) и сверху вниз (группы). В этой таблице Менделеев указал характерные для элементов каждой группы формулы оксидов и водородных соединений (см. «Хімія: проблеми викладання» № 4 за 2009 г., с. 3 обложки). Её можно назвать «химической», поскольку элементы в ней размещались по группам на основе их максимальной валентности. Эта таблица стала классической и использовалась на протяжении всего периода в нашей школе вплоть до конца 90-х годов XX века.

В 1989 году ИЮПАК вместо короткой формы *Таблицы* (8 групп, отмеченных римскими цифрами I—VIII) стал использовать *Таблицу* (18 групп, обозначенных арабскими цифрами от 1 до 18) которую называют полудлиннопериодной. Считается, что этот вариант возник как отражение электронного строения атомов элементов. Поэтому её можно назвать квантово-химической *sfdp*-таблицей, в которой в одну группу попадают элементы, имеющие одинаковую электронную конфигурацию. Современная полудлинная форма *Таблицы* с точки зрения квантовой химии — это просто графическое изображение последовательности заполнения атомных орбиталей, в которой выявлена повторяемость *s*-элементов (каждый период начинается с *s*-элементов). Эта *Таблица* состоит из четырёх блоков, содержащих по отдельности *s*-, *p*-, *d*-, *f*-элементы. Меняя местами расположения этих блоков можно получить различные варианты *Таблицы*.

Известны и 32-клеточные *таблицы*. Один из примеров длиннопериодной 32-клеточной таблицы рассмотрен в статье А. С. Неверова [18]. Она отличается тем, что в ней все элементы расположены в порядке заполнения электронами атомных орбиталей.

Сторонники замены короткопериодного варианта *Таблицы* указывают на ряд его недостатков, главным из которых считают то, что в одну группу входили элементы, часто принципиально различные по химическим свойствам. Например, в I группе объединены щелочные металлы и медь, серебро и золото.

Но это всегда имел в виду и сам Менделеев. Поэтому он разбил элементы, объединённые в одну группу по признаку идентичности форм высших оксидов, на две подгруппы — главную и побочную. Позже выяснилось, что побочные группы составляют *d*-элементы.

К достоинствам длиннопериодной таблицы относят то, что только якобы она осно-

вана на более точном фундаменте — закономерностях заполнения электронных орбиталей атомов элементов по мере увеличения зарядов их атомного ядра, что именно это является и отражением основной причины периодического изменения свойств элементов: свойства элементов изменяются периодически потому, что периодически повторяется электронная конфигурация внешнего (или предвнешнего) электронного слоя.

Но вспомним, что эти закономерности были установлены с использованием короткопериодной таблицы и что она отображает эту картину (см. с. 2 обложки).

Что касается недостатков, или нарушений закономерностей, то у длиннопериодной таблицы их не меньше (табл. 6).

Таблица 6. Электронная конфигурация валентного уровня для некоторых групп *d*-элементов

Периоды	Группы				
	5	6	8	9	10
4	V $3d^34s^2$	Cr $3d^54s^1$	Fe $3d^64s^2$	Co $3d^74s^2$	Ni $3d^84s^2$
5	Nb $4d^45s^1$	Mo $4d^55s^1$	Ru $4d^75s^1$	Rh $4d^85s^1$	Pd $4d^{10}5s^0$
6	Ta $5d^36s^2$	W $5d^46s^2$	Os $5d^66s^2$	Ir $5d^76s^2$	Pt $5d^96s^1$

И всё же мы должны констатировать, что, хотя обе эти таблицы имеют разную форму, между ними по существу нет принципиального различия ни с фактической, ни с химической, ни с квантово-химической точек зрения. Обе они отражают периодичность, связанную с повторением *s*-элементов (*s*-периодичность). 18-столбцовая *sfdp*-таблица — это раздвинутая 8-групповая таблица. Она получена в результате выноса *d*-элементов перед группами *p*-элементов: так чисто технически удобно помещать в клеточки различную дополнительную информацию. Информация легче поддаётся компьютерной обработке. Но с точки зрения методики обучения такая *Таблица* лишена ряда важных дидактических функций. Во-первых, в 18-групповой таблице нумерация групп сплошная и в большинстве случаев не отвечает ни валентности стоящих в группе элементов, ни числу электронов. Она передаёт только порядковый номер группы. Давайте сравним, например, какой смысл для учащегося может нести номер группы. Так, азот размещён в 18-длиннопериодной таблице в 15-й группе. Какую информа-

цию учащийся может извлечь исходя из номера группы? И в то же время азот в короткопериодной таблице расположен в V группе, а это и 5-валентное состояние азота в его высшем оксиде, и его формула N_2O_5 , и пять электронов на внешнем электронном валентном слое, и нехватка 3 электронов ($8 - 5$) до завершения валентного слоя, и формула водородного соединения NH_3 и т. д.

Вот что увидели учащиеся и не хотят видеть методисты.

Из всего сказанного следует достаточно очевидный вывод: в учебном процессе на начальном этапе изучения химии следует пользоваться «химической» короткопериодной формой *Таблицы*, а далее, может даже и не в школе, — 18-групповой, причём в зависимости от назначения с различным чередованием *spdf*-последовательностей.

Методические следствия

Какие методические рекомендации можно сделать на основании проведённого выше методологического анализа логики открытия периодического закона?

Во-первых, в учебниках должна быть достоверно отражена методология открытия периодического закона и разработки периодической системы, которая весьма поучительна как в плане освоения учащимися методов научного познания, установления закономерностей, так и в дидактическом плане, поскольку позволяет не только понять суть закона, на котором основан весь процесс обучения химии, но и ясно представить важность междисциплинарных связей.

Во-вторых, требуется существенная корректировка в методике изучения периодического закона, которую, очевидно, следует представить состоящей из следующих этапов, названных по отношению к уровню освоения периодического закона.

На первом этапе — *ознакомительном* — учащиеся осваивают основные понятия химии, такие как атом, химический элемент, символ химического элемента, простые и сложные вещества, валентность и химические формулы. Здесь должно произойти первое знакомство учащихся с таблицей периодической системы. Её первоначальное использование будет способствовать освоению символики и названий элементов. Её основная дидактическая функция — быть источником информации о символике, атомных массах и валентности элементов. Приведённые в таблице общие формулы для высших оксидов и водородных соединений будут способствовать освоению правил написания химических формул. Поэтому форма таблицы периодической системы должна быть обязательно короткопериодной с указанием формул высших оксидов и водородных соединений. Рассмотрение свойств классов соединений должно идти после того, как учащиеся познакомятся с периодической системой.

На втором этапе — *подготовительном* — учащиеся с использованием таблицы периодической системы знакомятся со свойствами основных классов соединений, генетическими связями между ними. Здесь уже можно указать на группы элементов

с близкими свойствами, на области таблицы, где располагаются металлы и неметаллы, какие элементы образуют соединения с амфотерными свойствами. Цель этого этапа — подвести учащихся к пониманию периодических закономерностей в свойствах элементов.

Третий этап — *формирующий*, на котором учащиеся знакомятся с логикой открытия периодического закона и периодической системы, их обоснованием на основе электронных представлений, осознают их сущность и осваивают их методологические функции.

При этом можно использовать приём поиска периодической закономерности, который представлен в настоящей статье. Учащимся можно предложить построить графики зависимости валентности, затем числа электронов на внешнем электронном слое (и (или) электронной конфигурации) от заряда ядра атома (см. рис. 4—6 на с. 3 обложки). Ими будет установлен периодический вид зависимости, анализ которой и должен вывести их на самостоятельную формулировку периодического закона.

На этом этапе учащиеся могут познакомиться с длиннопериодной формой таблицы, демонстрирующей характер, последовательность заполнения электронами атомных орбиталей.

Четвёртый этап — *этап развития*, когда учащиеся снова должны вернуться к периодической системе, находя в ней инструмент обобщения, систематизации свойств соединений химических элементов, чтобы дальше развивать практические навыки по использованию периодического закона и периодической системы для описания свойств химических элементов и их соединений. При этом характеристика элементов будет даваться на основе анализа положения их в периодической системе. На этом этапе учащиеся не только должны воспроизвести полученные ранее знания, но, главным образом, развить навыки использования заложенного в периодическую систему объяснительного и прогностического потенциалов.

Список использованной литературы

1. *Лесникович, А. И.* Valentia — сила, способность (валентность) / А. И. Лесникович // *Хімія: проблеми викладання*. — 2009. — № 3. — С. 3—7.
2. *Кедров, Б. М.* Открытие закона периодичности Д. И. Менделеевым / Б. М. Кедров, Д. Н. Трифонов // *Закон периодичности и химические элементы*. — М. : Наука, 1969. — С. 19—46.
3. *Менделеев, Д. И.* Периодический закон. Основные статьи. — М. : Изд-во АН СССР, 1958.
4. *Менделеев, Д. И.* Сходство элементов и периодический закон / Д. И. Менделеев // *Основы химии*, 8-е издание. — М., 1905.
5. *Менделеев, Д. И.* Соотношение свойств с атомным весом элементов // Д. И. Менделеев. 1869 // *ЖРХО*. — Т. 1, вып 2, 3. — С. 60—77.
6. *Менделеев, Д. И.* Периодическая законность химических элементов / Д. И. Менделеев // *Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie*. — 1871. — Т. VIII, вып. 2. — С. 133—229.
7. *Менделеев, Д. И.* Естественная система элементов и применение её к указанию свойств не открытых элементов (29 ноября 1870 г.) / Д. И. Менделеев // *ЖРХО*. — 1871. — Т. III, вып. 2. — С. 25—56.
8. *Менделеев, Д. И.* Периодическая законность химических элементов / Д. И. Менделеев // *Фарадеевские чтения в Лондонском химическом обществе*. 23 мая 1889 года. — СПб., 1895. — С. 39—63.
9. *Кедров, Б. М.* Процесс открытия периодического закона Д. И. Менделеева. Периодический закон и строение атома / Б. М. Кедров. — М. : Атомиздат, 1971. — С. 31.
10. *Кузнецов, В. И.* Д. И. Менделеев и развитие учения о валентности / В. И. Кузнецов // *Журнал Всесоюзного химического общества имени Д. И. Менделеева*. — 1983. — Т. XXVIII, № 6. — С. 56—62.
11. *Кузнецов, В. И.* Развитие представлений учения о валентности в свете учения о периодичности / В. И. Кузнецов // *Развитие учения о валентности*; под ред. В. И. Кузнецова. — М. : Химия, 1977.
12. *Семьшкін, В. И.* Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева / В. И. Семьшкін. — М. : Химия, 1972.
13. *Горбунов, А. И.* Теоретические основы общей химии : учебник для студентов технических университетов и вузов / А. И. Горбунов, А. А. Гуров, Г. Г. Филиппов [и др.]. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001.
14. *Третьяков, Ю. Д.* Неорганическая химия. Химия элементов : учебник для вузов / Ю. Д. Третьяков, Л. И. Мартыненко, А. Н. Григорьев [и др.]. — М. : Изд-во МГУ, ИКЦ «Академкнига», 2007.
15. *Сайфуллин, Р. С.* Современную периодическую систему элементов — в школьное образование / Р. С. Сайфуллин, А. Р. Сайфуллин // *Российский химический журнал*. — 2003. — Т. XLVII, № 6. — С. 95—101.
16. *Менделеев, Д. И.* Опыт системы элементов, основанной на атомном весе и химическом сходстве / Д. И. Менделеев // *Хімія: проблеми викладання*. — 2009. — № 5. — С. 3.
17. *Химическая энциклопедия* : в 5 т. ; под ред. Кнунянца И. Л. — М. : Большая Российская энцикл., 1992. — Т. 3. — С. 955.
18. *Неверов, А. С.* К вопросу о структуре периодов системы элементов Д. И. Менделеева / А. С. Неверов // *Хімія: проблеми викладання*. — 2009. — № 5. — С. 4—8.