

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА: ЧЕМУ УЧИТ УЧЕБНИК

Кузнецова И.В.

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, e-mail: ivkuznetsova2013@mail.ru

Анализ изложения Периодического закона Д.И. Менделеева и раскрытие его смысла в современных вузовских учебниках отечественных и зарубежных авторов, помимо разночтений, выявили несоответствие формулировок содержанию темы. Вариативность формулировок Периодического закона касается двух основных аспектов: свойств элементов/простых веществ и наличия/отсутствия упоминаний о формах соединений. Из свойств в содержании чаще всего подробно раскрывается периодичность радиусов, энергий ионизации, сродства к электрону, электроотрицательности, степени окисления, т.е. свойств атомов, а не элементов. Закономерности изменения физических свойств простых веществ рассмотрены только в учебниках зарубежных авторов. Периодичность кислотно-основных свойств оксидов и гидратов оксидов (кислот и оснований) обсуждается не во всех учебниках и недостаточно. Повторяемость химических форм, а точнее, формул в контексте периодичности, обсуждается также очень экстрактивно. Предложен методический подход к преподаванию темы «Периодический закон и периодическая система элементов», базирующийся на методологических принципах неорганической химии – развития, детерминизма, системности, объективности, всесторонности, практики, позволяющий восполнить необходимую информацию о периодичности для последующего успешного изучения химии элементов. Приведены примеры заданий для самостоятельной работы и лабораторного практикума, формирующие знания-понимания периодичности в рамках разработанного образовательного подхода.

Ключевые слова: Периодический закон, учебники по неорганической химии, методика преподавания.

MENDELEEV'S PERIODIC LAW: WHAT DOES THE TEXTBOOK TEACH US

Kuznetsova I.V.

N.G. Chernyshevsky National Research Saratov State University, Saratov, e-mail: ivkuznetsova2013@mail.ru

The analysis of Mendeleev's Periodic Law presentations as well as descriptions of its essence in contemporary Russian and foreign university textbooks has revealed not only a lot of differences to its treatment but also discrepancies between the presented formulations and the content. Such variety in formulations of the Periodic Law concerns two main aspects, namely, the elements and simple compounds properties and the presence or absence of references to compound forms. The most thoroughly described are periodical properties of radii, ionization energies, electron affinities, electronegativity and oxidation states, i.e., the properties of atoms but not elements. The patterns of variations in physical properties of simple compounds are considered only in textbooks written by foreign authors. Periodicity of acid-based properties of oxides and oxide hydrates (acids and bases) are discussed only in few textbooks and this discussion is not thorough enough. The repetition of chemical forms, or, more precisely, formulas, in periodicity context is also only partly presented. The author offers an approach to teaching «The Periodic Law and Periodic System of Elements» topic based on methodological principles of inorganic chemistry, i.e., development, determinism, systemic approach, objectivity, comprehensiveness and practice. This approach is required to study Chemistry of Elements successfully. The author also provides examples of tasks for self-study and laboratory courses used to acquire knowledge and understanding of periodicity within the framework of presented approach to teaching the aforementioned subject.

Keywords: the Periodic Law, Inorganic Chemistry textbooks, teaching methods.

2019 г. был юбилейным со дня рождения Д.И. Менделеева и создания им Периодической системы элементов. Поэтому вполне логично, что был опубликован ряд статей, посвященных развитию представлений о периодичности и современным формулировкам Периодического закона. Первый дискуссионный аспект касался понятия «периодичность». В работе [1] было предложено изменить принятую на сегодняшний день формулировку Периодического закона следующим образом: «*большинство свойств химических элементов и их соединений находится в близкой к периодической зависимости от*

заряда соответствующих им нуклидов (атомных ядер)». Аргументом для такой поправки явилась неподчинимость изменения «ни одного из известных на сегодняшний день свойств химических элементов» математической функции $f(x+T) = f(x)$ (где T – период), например тригонометрической функции. Да, действительно, изменение свойств нельзя описать функцией, подобной тригонометрической, или даже больше – их комбинацией, отсутствует строгая математическая зависимость свойств конкретно от заряда ядра. Но еще в 1969 г., в год 100-летия Периодического закона, была опубликована статья [2], в которой предложены функциональные зависимости точек плавления (в транскрипции автора) переходных металлов от главного квантового числа и числа d -электронов. Там же приведены уравнения для хода изменения точек плавления, точек кипения и теплот сублимации в зависимости от главного квантового числа и числа s -, p -, $(s+d)$ -электронов; обсуждена зависимость электропроводности простых веществ от главного и побочного квантовых чисел и т.д. Поэтому аргумент, что ни одно свойство невозможно описать математически, не вполне справедлив. А поправка «близкой к ...» мало что добавляет к раскрытию смысла понятия «периодичность».

Отсутствие «чистой периодичности» и неподчинимость тому же математическому уравнению обсуждаются и в работе [3]. Автор предлагает заменить понятие «периодичность» более общим понятием «ритмичность», а именно: «физические и химические свойства элементов, зависящие от электронной структуры атомов, а также формы и свойства соединений ритмически варьируют с изменением заряда ядра атома». А все многообразие зависимостей между свойствами элементов (вторичная, двойная периодичность, диагональное сходство, явление «химических близнецов») следует рассматривать как каскады функциональных связей, каскады ритмов (или сокращенно «ритмокаскады»). Возможно, в данной формулировке есть определенная логика. Однако не очень понятно, какие физические свойства элементов автор имеет в виду. Все-таки физические свойства присущи отдельным атомам и веществам. Кроме того, само слово «ритмокаскады» семантически более сложное, чем слово «периодичность», встречается впервые, что может привести к усложнению и без того непростой темы.

Еще одна обсуждаемая поправка формулировки Периодического закона касается заряда ядра атома [4]. На основании обобщения теоретических и экспериментальных исследований квантово-механических аспектов химических свойств веществ и первых результатов изучения антивещества авторами выдвинута гипотеза о существовании новой фундаментальной характеристики химического элемента – «менделеевского числа» ($Mч$). Менделеевское число – величина, имеющая фундаментальное значение и математически соответствующая натуральному ряду чисел. Авторы предлагают следующую формулировку

Периодического закона: *«Свойства химических элементов в нуклидолептонных формах атомов и ионов, а также формы и свойства соединений этих элементов находятся в периодической зависимости от менделеевского числа, определяющего структуру и основные свойства химического проявления их электронной конфигурации»*, более адекватную современным представлениям. Для учебных целей ее можно упростить до: *«Свойства химических элементов, а также формы и свойства соединений этих элементов находятся в периодической зависимости от менделеевского числа, определяющего структуру электронной конфигурации атомов»* [4].

Появление цитируемых работ очень важно для педагогов-неоргаников, поскольку организационно-методической стороне учебного процесса (как преподавать?) уделяется должное внимание в периодической литературе, в то время как содержательная педагогика высшей школы (что преподавать?) обсуждается довольно редко. Выделим здесь некоторые справедливые замечания в статье [5]. Но подобных статей очень мало, а их актуальность чрезвычайно высока. Например, для магистров направления «Педагогическое образование» очень важен такой системообразующий курс, как «Методологические принципы общей и неорганической химии», обобщающий буквально-фактологические знания будущих учителей до уровня методологического мышления. Но соответствующий учебник пока отсутствует. Поэтому подобные статьи о развитии представлений о Периодическом законе очень своевременны и могут использоваться в практике преподавания как иллюстрация одного из основных принципов неорганической химии – принципа развития.

Применительно к изучению темы «Периодический закон и периодическая система элементов» на 1-м курсе бакалавриата преподавать с учетом предлагаемых изменений пока вряд ли целесообразно. Ведь это потребует переучивания школьного материала, поиска смыслов новых понятий и иного, что всегда тяжело, да и вряд ли оправдано последующим применением Периодического закона, в первую очередь при изучении химии элементов, тем более что для подавляющего большинства учащихся учебники – это догма. И здесь существует еще одна проблема, требующая, на наш взгляд, обсуждения. Издательский рынок сегодня предлагает большое разнообразие учебников как отечественных, так и зарубежных авторов, в которых изложены самые разные авторские концепции курса неорганической химии. Это относится и к теме «Периодический закон и периодическая система элементов» – одной из основополагающих в традиции российской школы методики преподавания химии. По нашему мнению, от того, какова цель изучения этой темы, насколько глубоко студенты воспримут и прочувствуют смысл Периодического закона, т.е. знание какого уровня у них сформируется (знание-представление, знание-воспроизведение или знание-понимание) [6, 7], во многом зависит дальнейший успех изучения всей химии элементов.

Цель исследования: проанализировать формулировки Периодического закона и раскрытие его содержания в учебниках отечественных и зарубежных авторов и разработать методические материалы, направленные на восполнение необходимой информации и формирование умений применять периодические закономерности для последующего изучения химии элементов.

Материал и методы исследования

Материалами исследования явились учебники по общей и неорганической химии отечественных и зарубежных авторов. В исследовании использованы методы: теоретические – анализ учебной и методической литературы, обобщение и систематизация данных о Периодическом законе; эмпирические – педагогическое наблюдение за студентами 1-го курса бакалавриата химических направлений при проведении учебных занятий по неорганической химии.

Результаты исследования и их обсуждение

Проанализируем, как сейчас в разных учебниках излагается тема «Периодический закон и периодическая система элементов Д.И. Менделеева». Приведем некоторые формулировки, представленные в известных учебниках (табл. 1).

Таблица 1

Формулировки, представленные в известных учебниках

Формулировка	Литература
Свойства простых веществ, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от заряда ядра атомов элементов	[8]
Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных веществ находятся в периодической зависимости от заряда их ядер	[9]
Свойства простых веществ, а также свойства и формы соединений элементов находятся в периодической зависимости от заряда ядра атомов элементов	[10]
Свойства химических элементов находятся в периодической зависимости от заряда ядра их атомов	[11]

Видно, что формулировки, кроме [8] и [10], несколько отличаются друг от друга. К слову сказать, в переводных учебниках, даже изданных под рубрикой «Лучший зарубежный учебник», а также в некоторых отечественных учебниках формулировки Периодического закона вообще отсутствуют. В учебниках [8] и [10] определение начинается со свойств простых веществ, а в [9] и [11] – со свойств элементов. И далее периодичность чаще всего иллюстрируется изменениями значений радиусов, энергий ионизации, сродства к электрону, электроотрицательности и степени окисления в зависимости от порядкового номера/заряда

ядра атома элемента. Очевидно, что эти характеристики относятся к свойствам атомов элементов, и в текстах всеми авторами это подчеркивается. Но с методической точки зрения, если мы ставим целью раскрытие смысла Периодического закона, это должно быть отражено в формулировке.

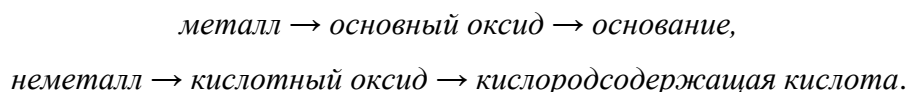
На 1-м курсе, в процессе адаптации к новой системе преподавания, особенно при изучении базовых дисциплин, очень важна не только научность, но и продуманная методичность изложения информации. Должны быть избыточность требований, четкая ориентация на востребованность знаний на ближайшее время [6]. Таким востребованным в ближайшей перспективе знанием будет знание форм (а точнее, формул) сложных веществ и свойств (физических и химических) простых и сложных веществ. Но в теме «Периодический закон и периодическая система элементов» периодичность физических свойств простых веществ обсуждается только в переводных учебниках [12, 13, 14]. Наиболее полно графические зависимости физических свойств: температур кипения и плавления, энтальпии испарения и плавления, плотности – представлены в учебнике Майкла Фримантла [14]. В учебниках [12, 13] представлены зависимости атомных (молярных) объемов элементов. Но здесь, пожалуй, мы согласимся с мнением отечественных авторов, что для последующего применения Периодического закона в целях изучения химии элементов эти зависимости не имеют столь принципиального значения. Возможно, имеет смысл рассматривать только наиболее понятную первокурсникам зависимость температур плавления как иллюстрацию применимости Периодического закона к физическим константам простых веществ.

Более принципиальным и требующим пристального изучения моментом является периодичность формул сложных веществ и химических свойств простых и сложных веществ. Однако периодичность форм выделена только в формулировках [8] и [10], и ни в одном учебнике она в контексте периодичности не обсуждается, хотя это крайне необходимо, чтобы далее при изучении химии элементов студенты не воспринимали формулы сложных веществ (особенно «нешкольных» элементов) как нечто новое и пытались их механически запоминать. Для этого достаточно всего лишь одной таблицы с формулами оксидов, гидратов оксидов и солей в высшей степени окисления, комментария к ней и набора практических заданий, сформулированных так, чтобы поиск правильного ответа базировался на понимании смысла периодичности, а не на вспоминании известной информации, например:

Исходя из положения мышьяка и молибдена в Периодической таблице напишите формулы оксидов и гидратов оксидов этих элементов в высшей степени окисления.

При ответе на данное задание студенты должны вспомнить известные из курса школы формулы ортофосфорной и хромовой кислот и по аналогии составить предложенные неизвестные формулы. Как показывают педагогические наблюдения, задания подобного типа

не вызывают больших затруднений. Следующее затем обсуждение периодичности металлических и неметаллических свойств простых веществ также не вызывает затруднений. Это как раз то, что студенты хорошо усвоили еще в школе. В вузе только требуется дополнение об их взаимосвязи с основными атомными характеристиками. И, наконец, переход к кислотно-основным свойствам базируется на генетической связи между классами неорганических соединений, также хорошо известной из школьного курса:



Объяснение логично вытекает из методологического принципа детерминизма: чем меньше потенциал ионизации и электроотрицательность, тем более выражены металлические свойства, следовательно, оксид и гидрат оксида (основание) проявляют более сильные основные свойства. Аналогичная закономерность наблюдается и в ряду неметаллов и их кислородных соединений: чем больше электроотрицательность и сильнее неметаллические свойства, тем в большей степени выражены кислотные свойства оксида и соответствующего гидрата оксида (кислоты). Здесь мы намеренно не говорим о сродстве к электрону, так как эта характеристика более сложно меняется в группах и периодах. Эти закономерности характерны как для главных и побочных подгрупп, так и для атомов элементов главных подгрупп одного периода. На наш взгляд, в этом случае целесообразно использовать короткопериодный вариант Периодической таблицы. Но обязательно следует подчеркнуть, что это общая качественная немонотонная тенденция, а о количественных закономерностях и некоторых исключениях будем говорить далее при подробном изучении химии элементов. Для закрепления теории мы разработали экспериментальную лабораторную работу и практические задания.

Пример практического задания

Используя периодические закономерности изменения кислотно-основных свойств в группах и периодах, дайте мотивированный ответ на вопрос, какой из двух гидратов оксидов обладает более сильными основными свойствами: $Mg(OH)_2$ или $Sr(OH)_2$, $Y(OH)_3$ или $Zr(OH)_4$; более сильными кислотными свойствами: H_2SO_4 или H_2SeO_4 , H_3AsO_4 или H_2SeO_4 ?

Опять в данных заданиях для понимания смысла периодичности мы специально предлагаем предположить свойства соединений таких элементов, которые не изучались в школе.

Пример фрагмента лабораторной работы

Опыт 1. Исследование закономерности изменения металлических свойств простых веществ в периодах.

Исследование закономерности изменения металлических свойств в периодах мы будем

проводить на примере простых веществ элементов III периода Периодической системы Д.И. Менделеева.

1. (демонстрационный опыт) Возьмите кристаллизатор с водой, добавьте 2–3 капли раствора фенолфталеина и перемешайте полученный раствор. Осторожно опустите маленький кусочек металлического натрия (размером меньше горошины). Что наблюдаете? Запишите уравнение реакции и ваши наблюдения (признак реакции и ее скорость).

2. Возьмите три пробирки и насыпьте в каждую немного порошка магния. В первую пробирку налейте 2–3 мл дистиллированной воды, во вторую – 2–3 мл разбавленной соляной кислоты, в третью – 2–3 мл разбавленной щелочи. Что наблюдаете? Если взаимодействие не протекает, содержимое пробирки немного подогрейте. Запишите уравнение реакции и ваши наблюдения (признак реакции и ее скорость).

3. Возьмите три пробирки и поместите в каждую немного стружек алюминия. В первую пробирку налейте 2–3 мл дистиллированной воды, во вторую – 2–3 мл разбавленной соляной кислоты, в третью – 2–3 мл разбавленной щелочи. Что наблюдаете? Запишите уравнение реакции и ваши наблюдения (признак реакции и ее скорость).

На основании наблюдений о взаимодействии натрия, магния и алюминия с водой сделайте вывод об изменении их металлических свойств. (Например, так как натрий реагирует с водой (как?), магний реагирует (как?), алюминий – (как?), следовательно,). На основании наблюдений о взаимодействии магния и алюминия с соляной кислотой сделайте вывод об изменении их металлических свойств. На основании наблюдений о взаимодействии магния и алюминия с гидроксидом калия или натрия сделайте вывод об изменении их металлических свойств. Сделайте общий вывод об изменении металлических свойств в ряду натрия – магний – алюминий. Сравните теоретический и экспериментальный выводы.

Очень кратко похожие рассуждения приведены в учебнике [15], но, на наш взгляд, хаотично, без соблюдения принципа детерминизма и всесторонности, логических построений. Кроме того, чисто текстовая форма подачи материала (без формул, графиков, выделений жирным шрифтом и т.п.) затрудняет формирование смыслов. Несколько интереснее и нагляднее периодичность кислотно-основных свойств изложена в учебнике [14], однако также недостаточно полно.

Мы категорически не согласны с периодичностью окислительно-восстановительных свойств [14]. Здесь автор сам себе противоречит, используя в качестве примера восстановительные свойства *s*-элементов и связывая их со значениями энергии ионизации, сродства к электрону и электроотрицательности. Видимо, имеется в виду положение щелочных и щелочноземельных элементов в ряду напряжений. Хотя хорошо известно, что

последовательность их расположения в ряду напряжений не совпадает с закономерностями изменения их атомных характеристик. Тем более периодичность никак не проявляется в окислительно-восстановительных свойствах сложных веществ. Их сила определяется совсем другими причинами, в частности устойчивостью соединений в соответствующей степени окисления.

Заключение

Таким образом, представленные в различных учебниках формулировки Периодического закона не полностью соответствуют раскрываемому далее смыслу. Фундаментальность данного знания предъявляет особые требования к рассмотрению его содержания. Они должны отвечать всем основным методологическим принципам неорганической химии – развития, детерминизма, системности, объективности, всесторонности, практики. Именно методология служит основой той самой методики преподавания, в русле которой «учить надо так, чтобы в дальнейшем человек доучивался, но не переучивался» [5]. При таком подходе, когда последовательно иллюстрируется каждое ключевое слово Периодического закона, студент расширяет знания о периодичности, полученные в школе, формирует логические связи между изучаемыми понятиями, проверяет их на практике, что является основой всестороннего системного знания. Их дальнейшее развитие происходит уже при изучении химии элементов, поэтому вполне понятно, что в учебниках [9, 12] Периодический закон рассматривается непосредственно перед химией элементов. Несмотря на то что в изменении формул и свойств отсутствует строгая математическая периодичность, очевидна химическая периодичность. И на 1-м курсе это представляет отдельную методическую ценность, так как видны основа, тенденции, позволяющие формировать тот фундамент, на основе которого далее студенты наращивают свой учебный потенциал.

Список литературы

1. Михайлов О.В. Опыт преподавания Периодического закона Д.И. Менделеева в национальном исследовательском университете // Высшее образование в России. 2019. Т. 28. № 11. С. 78-85.
2. Сабо З.Г. Периодическая система и периодические функции // 100 лет Периодического закона химических элементов: сборник материалов X юбилейного Менделеевского съезда. М.: Наука, 1969. 378 с.
3. Таланов В.М. Ритмокаскады в Периодической системе (опыт преподавания теории Периодического закона) // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2012. Т. 55. № 11.

С. 127-129.

4. Фадеев Г.Н., Лебедев Ю.А., Двудичанская Н.Н. Современная трактовка явления периодичности // Высшее образование в России. 2019. Т. 28. № 11. С. 69-77.
5. Дмитриев И.С. Надстройки над Периодическим законом, или Дьявол, засидевшийся в мелочах (о статье О.В. Михайлова) // Высшее образование в России. 2019. Т. 28. № 11. С. 98-103.
6. Беспалько В.П., Татур Ю.Г. Системно-методическое обеспечение учебно-воспитательного процесса подготовки специалистов. М.: Высш. шк., 1989. 144 с.
7. Татур Ю.Г. Как повысить объективность измерения и оценки результатов образования // Экономика образования. 2011. № 1. С. 60-67.
8. Тамм М.Е., Третьяков Ю.Д. Неорганическая химия: В 3 т. / Под ред. Третьякова Ю.Д. Т. 1: Физико-химические основы неорганической химии: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 240 с.
9. Суворов А.В., Никольский А. Б. Общая и неорганическая химия в 2 т. Том 1: учебник для вузов. 6-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2021. 343 с.
10. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. СПб.: Лань, 2014. 744 с.
11. Горбунов А.И., Гуров А.А., Филиппов Г.Г., Шаповал В.Н. Теоретические основы общей химии: Учебник для студентов технических университетов и вузов / Под ред. Горбунова А.И. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 720 с.
12. Гринвуд Н., Эрншо А. Химия элементов. В 2 т. Т. 1. М.: Лаборатория знаний, 2021. 607 с.
13. Шрайвер Д., Эткинс П. Неорганическая химия. В 2 т. Т. 1. М.: Мир, 2015. 680 с.
14. Фримантл М. Химия в действии. В 2 ч. Ч.2. М.: Мир, 1998. 624 с.
15. Семенов И.Н., Перфилова И.Л. Химия: Учебник для вузов. 3-е изд. СПб.: Химиздат, 2020. 656 с.