**Современная форма таблицы Менделеева**

Доктор технических наук Р. Сайфуллин, кандидат химических наук А. Сайфуллин

В этом году исполняется 170 лет со дня рождения выдающегося российского химика Дмитрия Ивановича Менделеева и 135 лет со дня создания им периодической системы элементов. За истекшее время таблица, наглядно демонстрирующая периодический закон, неоднократно дополнялась и расширялась. До последнего времени в научной и учебной литературе приводилась так называемая короткая форма таблицы. Современный, расширенный вариант таблицы Менделеева составлен авторами статьи на основании последних решений ИЮПАК — Междунаpодного союза теоpетической и пpикладной химии (International Union of Pure and Applied Chemistry — IUPAC). Эта оpганизация, созданная в 1919 году, кооpдиниpует исследования, тpебующие междунаpодного согласования, контpоля и стандаpтизации, pекомендует и утверждает химическую теpминологию, включая названия элементов. Россия, будучи полноправным членом союза, выполняет его решения и рекомендации. Новая форма таблицы была одобрена XVII Менделеевским съездом в сентябре 2003 года. В таблицу внесены самые последние характеристики всех известных на сегодняшний день элементов. Она будет полезна всем, кто изучает химию и физику или просто интересуется современной наукой.

Из истории создания и развития периодической системы

Первого марта 1869 года Д.И. Менделеев обнародовал периодический закон и его следствие — таблицу элементов. В 1870 году он назвал систему „естественной“, а спустя год — „периодической“. Таблица (далёкий прообраз современной), демонстрирующая закон, была представлена Менделеевым под названием „Опыт системы элементов, основанный на их же атомном весе и химическом сходстве“. Им же была дана формулировка закона: „Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел, находятся в периодической зависимости от их же атомного веса“. Таблица состояла из шести вертикальных групп, предшественниц будущих периодов. По горизонтали прослеживались ещё не полные ряды элементов, прообразов будущих подгрупп (сегодня — групп) элементов. Она содержала 67 элементов (сейчас их около 120), в том числе три предсказанных, впоследствии открытых и названных „укрепителями периодического закона“.

Естественно, первая таблица была несовершенной, и в последующие годы Менделеев многократно дополнял её и вносил в её структуру изменения. В момент представления первого варианта таблицы (март 1869 года) не были ещё известны благородные („инертные“) газы (Не, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn) и отсутствовали сведения о внутреннем строении атомов.

Лишь в двадцатых годах прошлого столетия, после революционных открытий в физике, применения рентгеновских лучей и обнаружения благородных газов, стало возможным дать современное определение закона о периодической зависимости свойств элементов от порядкового номера элемента, а не от атомного веса, как было вначале отмечено Д. Менделеевым. Иными словами, в трактовке закона понятие „атомный вес“ элемента было заменено словами „порядковый (или атомный) номер“, что отвечает числу протонов в ядре атома и, соответственно, числу электронов у нейтрального атома. Определение стало отвечать данным об электронном строении атома, диктующим периодическую повторяемость свойств атомов через 2 (s-элементы), 6 (р-элементы), 10 (d-элементы) и 14 (f-элементы) элементов. Эти цифры отвечают максимально возможному числу электронов на определённом энергетическом уровне атома. Они же соответствуют и числу возможных элементов в соответствующем периоде. На первом энергетическом уровне дозволено быть только двум электронам (на s-уровне). Они привели к наличию в первом периоде двух элементов: водорода и гелия. На втором энергетическом уровне восемь разных электронов отвечают появлению восьми новых элементов — от лития до неона.

Аналогичная картина наблюдается и в третьем периоде. В нём, вместо ожидаемых восемнадцати, также восемь элементов — от натрия до аргона. Здесь произошла задержка с образованием десяти d-элементов из-за того, что 3d-электроны оказались на более высоком энергетическом уровне, чем 4s-электроны. По этой причине 3d-элементы (скандий, титан и др.) появляются лишь в четвёртом периоде после двух 4s-элементов (калий и кальций). Они предшествуют 4р-элементам (от галлия до криптона). Этим объясняется возникновение обобщающего термина — „переходные элементы“, „вставная декада“. В пятом периоде наблюдается аналогичная картина, в него с опозданием приходят 4d-элементы; они также оказываются переходными. Описанные естественные явления были одной из причин создания таблицы из восьми групп. Однако „запаздывают“ также по четырнадцать 4f- и 5f-элементов уже на два периода. Из-за их большего числа и расположения этих электронов в третьем снаружи слое (близость свойств) в обеих обсуждаемых здесь формах таблиц они выделены вне групп. Общее правило при образовании периодов системы — все они начинаются со щелочных металлов с первым ns1-электроном, образующим n-период (n — номер периода системы). Завершает каждый период „инертный“ газ с последним np6-электроном. Исключение — первый период системы, он находится всегда на особом положении.

Таким образом, число элементов в семи известных периодах составляет 2, 8, 8, 18, 18, 32, 32. В соответствии с указанными числами будут наполняться элементами все периоды в порядке возрастания их порядковых номеров. При этом один и тот же элемент может оказаться в различных по номеру группах, что заметно при сравнении двух таблиц.

Рассмотренные цифры позволяют создать таблицы, состоящие из 2, 8, 18 или 32 групп элементов в трёх вариантах — из (2+6), (2+6+10) или (2+6+10+14) групп. Исторически, как наиболее удобные, распространение получили в первую очередь таблицы, состоящие из 8 или 18 вертикальных групп:

а) Короткая форма таблицы. Она, к сожалению, до сих пор приводится в большинстве российских справочников и учебных пособий, хотя официально отменена ИЮПАК в 1989 году. Таблица состояла из VIII (+0) групп „типических“ элементов, подгрупп (иногда и рядов) и периодов элементов. В современной зарубежной литературе эта форма таблицы заменена длинной формой.

б) Длинная (реже называемая длиннопериодной или полудлинной) форма таблицы. Она была утверждена ИЮПАК в 1989 году, состоит из 18 групп, обозначенных арабскими (вместо римских) цифрами, и не содержит „типических“ элементов, подгрупп, рядов и семейств. Её упрощённые варианты появлялись гораздо раньше, но чаще всего с одним отличием — групп, обозначенных римскими цифрами, было восемь (с их растяжкой до восемнадцати за счёт приставок а и b и искусственным созданием триад элементов).

в) Сверхдлинная (реже именуемая длинной) форма таблицы состояла бы из 32 групп элементов. Официально она вряд ли будет принята в предвидимом будущем, так как каждая из 14 дополнительных групп (сверх 18) содержала бы лишь два элемента (один лантаноид и один актиноид), близкие по свойствам ко всем остальным тринадцати элементам периода.

**Новая форма таблицы**

До 80–90-х годов прошлого века были распространены две первые формы таблицы. Первая — архаичная короткая форма с „насильственной“ упаковкой элементов в восемь (I-VIII), иногда девять (+0) групп, подразделённых дополнительно ещё на ряды (8 или 10) и подгруппы, содержавшие два или три „типических“ элемента, предшествующих, в свою очередь, двум спорным по названиям (A, B или a, b, „главная“ или „побочная“).

При выборе и утверждении длинного варианта таблицы были соблюдены „интересы“ большинства элементов и принцип „золотой середины“ без нарушения основы закона Менделеева — периодичности в свойствах элементов. Сорок элементов (по 10 d-элементов в каждом из периодов с 4 по 7), относимые ранее к „переходным“, или „вставным“ (между s- и p-элементами), и называемые „побочными“, после 1989 года перестали быть таковыми. Они стали полноправными компонентами своих новых десяти групп.

С официальным принятием новой формы таблицы исчезли, став лишними, надуманные или принятые вынужденно термины: „типические элементы“, „подгруппа“ (главная и побочная), „триада“, „ряды“, „семейства“ (железа или платиновых металлов). Все элементы одной группы (кроме водорода и гелия — они всегда на особом положении), расположенные вертикально в один ряд, имеют в принципе одинаковые две наружные (определяющие степень окисления) s- + p- или s- + d-орбитали электронов. Лантаноиды и актиноиды (f-элементы), как и раньше, остаются в третьей группе в соответствии с наличием в их же электронных орбиталях условно s2d1-электронов. Различия в электронной структуре атомов актиноидов здесь не обсуждаются.

Длинная форма таблицы лишена несоответствий, недостатков и очевидных противоречий, присущих её короткой форме, заметных при первом же взгляде на свойства элементов, искусственно собранных в одну и ту же группу. Так, например, в I группу короткой таблицы попали и металлы Cu, Ag, Au, и противоположные по активности щелочные металлы Na, K, Rb, Cs. Несовместимость свойств „одногрупповых“ элементов прослеживается и по всем остальным группам. Обратим внимание лишь на бывшие конечные (VI-VIII) группы. Это — соседство в VI группе двух „типических“ элементов — O и S и их же аналогов Se, Te, Po с тугоплавкими металлами — Cr, Mo, W; в VII группе — элементов, отвечающих агрессивным летучим галогенам F, Cl, Br, I, с не менее тугоплавкими металлами Mn, Tc, Re.

Максимально противоречива структура VIII группы. В неё 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 трёх вертикальных рядов и только что 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 прокрустово ложе последней (VIII) группы вынужденно, вопреки логике, так как эта группа, согласно электронной структуре атомов, предназначена природой только для указанных газовых элементов. Причина образования такого „Ноева ковчега“ проста: четырём триадам из 3(4) декад в каждом периоде при компоновке таблицы из восьми групп не хватило места в её предшествующих семи группах.

В официально принятой длинной форме таблицы понятия „семейство железа“ и „семейство платиновых металлов“ исчезают логически, так как к ним, согласно их свойствам, совместному распространению в природе, изоморфизму и последовательному изменению электронной структуры, можно было бы присоединить соседей по таблице и справа и слева. Иными словами, первое семейство можно расширить, например, до ванадия и цинка включительно, а во второе — поместить другие благородные металлы — серебро, золото, ртуть; старые понятия надуманы искусственно, будучи привязаны к структуре бывшей VIII группы.

В предложенную таблицу для каждого элемента введены также две альтернативные величины относительной электроотрицательности (ОЭО) атомов (их способности в молекуле притягивать электроны, участвующие в образовании химических связей) и основные физические параметры соответствующих простых веществ. Использовать значения ОЭО важно, в частности, для исключения и исправления устаревших ошибочных названий и написания химических формул бинарных соединений. Например, водородные соединения элементов второго периода Н4С, Н3N, H2О, НF согласно значениям ОЭО (для водорода около 2,0, для других элементов — от 2,5 для углерода до 4,0 для фтора) называются соответственно карбидом, нитридом, оксидом и фторидом водорода. В соответствии с этим приведённые написания формул аммиака и метана более справедливы, нежели традиционные (NH3 и СН4).

Однако, несмотря на справедливое разрешение ИЮПАК давно назревшей проблемы и принятие новой системы во всём мире, её использование в российском образовании и науке неоправданно запаздывает. Вместе с тем есть и отрадные исключения из этого. Помимо ряда изданий нового варианта таблицы, предложенного авторами настоящей статьи, можно отметить публикации простых вариантов длинной формы таблицы рядом передовых российских издательств, а современной таблицы на двух языках — в новом семитомном справочном издании. В отличие от российских, зарубежное образование и наука приняли к исполнению решение ИЮПАК 1989 года незамедлительно. Интернет также сообщает только о наличии длинной формы таблицы.

Современный вариант периодической системы, первый в российских публикациях, был создан в 1999 году. Новая форма таблицы Менделеева учебно-справочного назначения отвечает международным стандартам. Кроме русских и латинских названий элементов в ней приводятся английские и американские формы их написания. Чтобы сохранить преемственность таблиц и упростить использование её длинной формы, новые номера групп в ней согласованы со старыми (римскими) номерами групп (I — VIII) и подгрупп (a, b), хотя зарубежные источники прежние обозначения уже не указывают. Упрощённые варианты рациональной длинной таблицы были распространены ещё задолго до 1989 года, в том числе в СССР, с одним отличием — номеров групп было восемь (они обозначались римскими цифрами), но они „растягивались“ до восемнадцати за счёт приставок а и b и искусственного создания триад элементов. В новой таблице приведены исправленные атомные массы элементов, утверждённые ИЮПАК в 1995 году, и новые названия десяти последних элементов, окончательно утверждённые, также этой организацией, в 1997-м. Аналоги такой системы, в основном англоязычные, широко распространены в зарубежной литературе.