

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

Ефим Шмуклер

«...по видимости, периодическому закону будущее не грозит разрушением, а только надстройкой и развитие обещает».

(Д.И.Менделеев, 1834 – 1907)

«...периодическая система Менделеева и по сей день служит основой для наиболее тонких и сложных исследований».

(Глен Сиборг, 1912 – 1999)

Наша задача – достаточно полно и доступно, насколько сие возможно, осветить именно этот вопрос: периодическая система химических элементов. Но и здесь мы себя ограничим преимущественно фактической стороной дела.

Предварительные знания

Относительная атомная масса (далее – «атомная масса» или «атомный вес» - как во времена Дмитрия Ивановича Менделеева): $A_r = m_a / m_{y.e.}$, то есть

Атомный вес = масса атома / масса условной единицы

(масса условной единицы приблизительно равна массе атома водорода $1,67 \cdot 10^{-24}$ г).

Протон: p^+ (ядерная частица, качество заряда – положительный, величина заряда – единица, то есть заряд протона равен +1; $A_r \approx 1$).

Нейтрон: n^0 (ядерная частица, не имеющая заряда, $A_r \approx 1$, причём $m_n \geq m_p$). Число нейтронов в ядре атома обозначают буквой N .

Электрон: e^- (атомная частица, качество заряда – отрицательный, величина заряда – единица, то есть заряд электрона равен –1, $A_r \approx 1 / 1836$. Различают: s -, p -, d -, f -электроны. У первых электронное облако имеет сферическую форму, у вторых – оно имеет гантелеобразную форму,...

Химический элемент: $Z = const$ (Z - число протонов в ядре атома, то есть все атомы с одинаковым числом протонов в ядре – иначе говоря, с одинаковым зарядом ядра, равным $+Z$, – являются атомами данного химического элемента).

Массовое число: $A = Z + N \Rightarrow N = A - Z$. Атом можно обозначить так: ${}_Z^A\mathcal{E}^o$, то есть **атом** – это электронейтральная одноядерная частица; $A \neq A_r$, но $A_r \rightarrow A$.

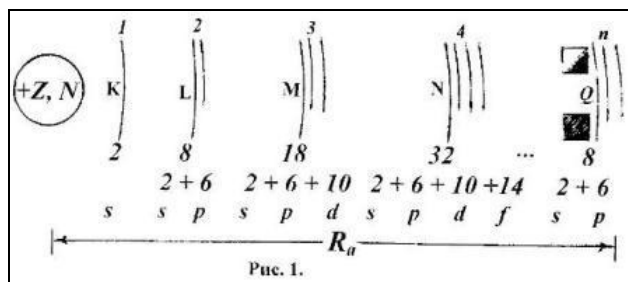
Изотопы: атомы одного и того же химического элемента, ядра которых имеют неодинаковое число нейтронов, то есть атомы одного и того же химического элемента, различающиеся массовыми числами.

Физические свойства элементов – это свойства ядер атомов – способность самопроизвольно распадаться, выбрасывая α -частицу, в ядре которой содержатся 2 протона и 2 нейтрона, а заряд которой равен +2. Это свойство атомов получило название **радиоактивность**. Существенно то, что альфа-распад сопровождается мощным (γ - гамма) электромагнитным излучением). Ядра могут спонтанно делиться, поглощать нейтрон, отражать нейтрон... – всё зависит от характера ядра.

Химические свойства элементов: это их способность **окисляться** (отдавать электроны) или **восстанавливаться** (присоединять электроны) –

$$\mathcal{E}^o - ne^- = \mathcal{E}^{+n}, n = 1, 2, 3, \dots, 8; \mathcal{E}^o + me^- = \mathcal{E}^{-m}, m = 0, 1, 2, 3, 4; n + m = 8$$

Строение атома (Рис.1.).



Заштрихованный квадратик обозначает, что предвнешняя электронная оболочка завершена 2-я, 8-ю или 18-ю электронами. Наполовину заштрихованный квадратик – предвнешняя или предпредвнешняя электронная оболочка не завершена, что существенно важно знать.

Металлы-элементы: на внешней электронной оболочке, как правило, вращается не более трёх электронов. Атомы элементов-металлов образуют **простое вещество-металл**. Такие вещества проводят электрический ток, тепло, куются (пластичны), имеют характерный металлический блеск. Например, железо, алюминий, золото, серебро, медь – то, что вам, читателям, известно и знакомо.

Неметаллы-элементы: на внешней электронной оболочке, как правило, вращается больше трёх электронов, а предвнешний электронный слой завершён. Атомы элементов-неметаллов образуют **простые вещества-неметаллы**. Вам известны – уголь, сера, газообразные кислород и азот – главные вещества воздуха. Эти вещества, как правило, не проводят электрический ток, теплоту, хрупки...

Порядковый номер химического элемента в периодической системе:

$N_z = 1 + Z_{\text{я}}$. То есть порядковый номер химического элемента численно равен числу протонов в ядре атома.

К формулировке периодического закона (исторический срез):

$$XC_z = f_{\Pi} (A_r / Z)$$

Химические свойства элементов являются периодической функцией (находятся в периодической зависимости, т.е. периодически повторяются) от атомного веса химического элемента; иначе говоря, химические свойства элементов находятся в периодической зависимости от числа протонов в ядре атома.

Периодическая система химических элементов – это естественная классификация химических элементов.

Щелочные металлы: ${}_3\text{Li}$ – литий, ${}_{11}\text{Na}$ – натрий, ${}_{19}\text{K}$ – калий, ${}_{37}\text{Rb}$ – рубидий, ${}_{55}\text{Cs}$ – цезий, ${}_{87}\text{Fr}$ – франций; строение атомов: ... 2(8), 1, то есть предвнешний электронный слой завершён, а на внешней оболочке вращается один s-электрон, что обуславливает их химическое сходство; в этом ряду $R_a \rightarrow \max$, что определяет нарастание химической активности и, соответственно, различие; вещества, образованные атомами этих элементов, легко плавятся из-за слабой **металлической связи** (причём температура плавления последовательно уменьшается), реагируют с водой при обычных условиях, образуя щёлочи (причём химическая активность нарастает из-за уменьшения прочности металлической связи). Щелочные металлы составляют **главную подгруппу первой группы**.

Галогены: ${}_9\text{F}$ – фтор, ${}_{17}\text{Cl}$ – хлор, ${}_{35}\text{Br}$ – бром, ${}_{53}\text{I}$ – иод, ${}_{85}\text{At}$ – астат; строение атомов: ... 2(8 или 18), 7, то есть предвнешний электронный слой завершён, а на внешней электронной оболочке вращается 2s и 5p электронов, что обуславливает химическое сходство галогенов (элементы-неметаллы); в этом ряду радиус тоже стремится к максимуму, в связи с чем неметаллическость ослабляется; простые вещества состоят из молекул X_2 ; галогены – химически – самые активные неметаллы. Элементы-галогены составляют **главную подгруппу седьмой группы**.

Благородные (инертные) элементы: ${}_2\text{He}$ – гелий, ${}_{10}\text{Ne}$ – неон, ${}_{18}\text{Ar}$ – аргон, ${}_{36}\text{Kr}$ – криптон, ${}_{54}\text{Xe}$ – ксенон, ${}_{86}\text{Rn}$ – радон. Предвнешняя электронная оболочка такая же, как и у галогенов, а на внешней вращается 8 электронов (у гелия – двухэлектронная оболочка – она же первая и последняя), то есть атомы не могут принять ни одного электрона, а некоторые – отдавать могут с большим трудом. В свободном состоянии одноатомные молекулы образуют газообразные (трудносжижаемые) простые вещества, практически химически недействительные.

Открытие периодического закона и создание периодической системы химических элементов

В процессе написания учебника «Основы химии» (учебник при жизни Менделеева выдержал 8 изданий, а после смерти – ещё 5) Д.И.Менделеев вернулся к давно известной ему проблеме классификации химических элементов. Ситуация вырисовывалась такая: известно всего 63 химических элемента, атомные веса многих из них определены неточно или неправильно, ни один инертный элемент не открыт, большинство будущих лантаноидов неизвестны (так называемые редкие земли – РЗЭ), понятие «атом» (и после химического съезда – 1860 г., Карлсруэ) носит гипотетический характер. Все доменделеевские попытки осуществить естественную классификацию химических элементов (даже в том случае, когда оставалось сделать последний шаг) были тщетными...

17 февраля (1 марта по новому стилю) 1869 года, после долгих и мучительных раздумий, прямо во время завтрака, Менделееву пришла в голову блестящая идея: сопоставить и сблизить по величине атомного веса несхожие химические элементы – щелочные металлы и галогены. А далее оставалось на обратной стороне визитных

карточек написать знаки химических элементов, атомные веса, формулы основных соединений и довести работу до того, что названо Менделеевым «Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве».

На рис. 2. показан типографский оттиск, набранный на двух языках – русском и французском (буквально на следующий день).

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ, ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

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

Рис. 2

Д. Менделѣевъ.

Здесь мы видим прообраз будущих систем других авторов (лестничная форма). Впоследствии вертикальные столбцы превратятся в периоды, а горизонтальные ряды – в группы. Знак вопроса перед числом – предполагаемый химический элемент. Знак вопроса перед знаком химического элемента – сомнение в подлинности атомного веса... Менделеев пишет: «элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную периодичность свойств».

Во второй части «Основ химии» (первое издание, 1871) «Опыт» приобретает вид «короткой формы». На рис. 3 (заимствован из [7]) – система элементов из второго издания «Основ химии» (1872).

TABELLE II								
REIHE	GRUPPE I. — R ² O	GRUPPE II. — RO	GRUPPE III. — R ² O ³	GRUPPE IV. RH ⁴ RO ²	GRUPPE V. RH ³ R ² O ⁵	GRUPPE VI. RH ² RO ³	GRUPPE VII. RH R ² O ⁷	GRUPPE VIII. — RO ⁴
1	H=1							
2	Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	
4	K = 39	Ca = 40	— = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59, Ni = 59, Cu = 63.
5	(Cu = 63)	Zn = 65	— = 68	— = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	? Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	— = 100	Ru = 104, Rh = 104, Pd = 106, Ag = 108.
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	I = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	? Di = 138	? Ce = 140	—	—	—	— — — —
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	? Er = 178	? La = 180	Ta = 182	W = 184	—	Os = 195, Ir = 197, Pt = 198, Au = 199.
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	—	—	
12	—	—	—	Th = 231	—	U = 240	—	— — — —

Figure 12.26

Mendeleev's early periodic table, published in 1872. Note the spaces left for missing elements with atomic weights 44, 68, 72, and 100. From *Annalen der Chemie und Pharmacie*, VIII, Supplementary Volume for 1872, page 511.

Рис. 3.

Здесь обозначены группы (римскими цифрами). Группы разделены на подгруппы. Указаны ряды элементов. А в предыдущей «таблице» ряды объединены в периоды. Указаны **места** экабора (открытый в 1879 году скандий), экаалюминия (открытый в 1875 году галлий), экасилиция (открытый в 1886 году германий). Проставлены исправленные атомные веса (по теоретическим соображениям!): индий (с 75,6 на 113), уран (с 120 на 238, в результате чего уран стал последним элементом периодической системы), церий (с 98 на 138), торий (с 116 на 232). А ещё раньше, руководствуясь **принципом химического сходства**, были изменены атомные веса бериллия и бора (и элементы попали в свои естественные семейства), **аномально** расположены теллур и иод, кобальт и никель.

В последнем, прижизненном (8-м), издании «Основ химии» (1906) перед щелочными металлами расположены «инертные газы», составившие нулевую группу (история нулевой группы – отдельный вопрос). Формулы высших оксидов и летучих соединений элементов с водородом вписаны снизу, но индексы ещё не заняли привычных для нас мест.

Менделеев не знал, что делать с редкоземельными элементами (РЗЭ). Он попросил своего друга, чешского химика Богуслава Браунера (1855-1935), который в 1883 году предсказал существование прометия, написать для 7-го издания «Основ химии» (1903) раздел, посвящённый РЗЭ. Ещё в 1902 году его осенила идея поместить РЗЭ в «интерпериодическую группу» (во всех формах современных систем она располагается снизу с групповым названием «лантаноиды»)...

Эпоха периодических систем

Мы их, в основном, будем перечислять (причём – только некоторые). Ещё в 1895 году (то есть при жизни Менделеева) австралийский химик О.Мэссон прислал Менделееву рукописный вариант системы, в которой элементы с нулевой валентностью помещены в восьмую группу (это ещё не нулевая группа!). Водород стоит рядом с гелием, то есть в седьмой группе. Первые три периода названы «short», остальные – «long» (у Менделеева – «малые» и «большие»)...

Датский термохимик Х. П. Ю. Ю. Томсен в 1895 году предложил лестничную форму периодической системы (типа первой менделеевской, но сходные элементы соединены линиями), причём элементы малых

периодов стояли вплотную друг к другу, а дорожкой между ними были встречные атомные веса. Далее таким же образом – большие периоды. И ряд элементов, включавший известные РЗЭ.

В 1905 году швейцарский химик А.Вернер предложил длиннопериодную систему химических элементов. Редкоземельные элементы располагались между второй и третьей группой. Через год шведский физик И.Ридберг, в практически менделеевском варианте системы (табличная форма), присвоил каждому элементу номер. Получился последовательный ряд натуральных чисел. По Ридбергу – «порядковые числа». Не всё совпало с современными порядковыми номерами.

Польский химик Ф.Фаянс в 1915 году предложил периодическую систему, в которой все порядковые номера были проставлены правильно (у него были для этого основания). Правда, водород оказался вне групп. Главные подгруппы были обозначены буквой «а», а побочные – буквой «b» (идея прижилась)...

В 1921 году Нильс Бор построил систему элементов в лестничной форме, правильно проставив слева от знака элемента порядковые номера...

Немецкий химик Р.Свинне опубликовал работу (в России опубликована в 1926 году), представив практически современную полудлинную форму периодической системы (рис. 4), поместив элементы 57-71 в одну клетку (лантан и лантаноиды).

Периодическая система элементов Д. И. Менделеева

Д.И.Менделеев (8.02.1834-2.02.1907)

ПЕРИОДЫ	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ																	
	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIБ	VIIIБ	IB	IIБ	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA		
1	H																He	
2	Li	Be																
3	Na	Mg																
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds								
* Лантаноиды																		
** Актиноиды																		

Рис. 4.

Уран попал в шестую группу (и долго там оставался!). Прочерками намечены, говоря современным языком, трансурановые элементы. Используется буквенное (см. выше) обозначение главных и побочных подгрупп. Элементы, естественно, правильно пронумерованы. Нулевая группа – последняя, так что период начинается со щелочного металла и заканчивается благородным элементом. Более того, Свинне выдвигает гипотезу о возможном существовании «островков относительной стабильности».

Представляет интерес система (французского физика Э.Блока, 1930 год), в которой лантаноиды размещены под «таблицей» в два ряда (см. нашу унитарную систему): церий – гадолиний и тербий – лютеций (тем самым подчёркивается внутренняя периодичность в семействе лантаноидов, коих 14).

Наконец, в 1945 г. была представлена периодическая система элементов американского химика и физика Глена Сиборга (1912-1999), который, создав «актинидную теорию», актиний и следующие за ним элементы (большинство из них – гипотетические, синтезированные в США коллективом учёных во главе с Сиборгом) поместил в одну клетку, то есть создал ещё одно семейство из 14 элементов, включая трансурановые элементы. Таким образом, уран покинул шестую группу (как и торий – четвёртую, освободив место – сто четвёртое – будущему курчатовию, потом переименованному в резерфордий).

Физическое обоснование периодического закона и периодической системы химических элементов

Открытие периодической системы химических элементов стало фундаментом для следующих научных открытий: Э.Резерфорд в 1911 году доказал, что в атоме имеется ядро; в 1913 году Н.Бор объяснил, как движутся электроны в атоме; в этом же году Г.Мозли открывает закон своего имени (согласно закону Мозли, частота характеристического рентгеновского излучения функционально зависит от порядкового номера элемента). И уже в 1914 году (за год до своей гибели на войне) он доказал, что порядковый номер химического элемента – это численное значение заряда ядра атома. В конце 1921 года Нильс Бор выступил с докладом – «Строение атомов и физические и химические свойства элементов», в котором показал, как идёт заполнение электронных оболочек атомов, почему свойства химических элементов повторяются (потому что периодически повторяется строение электронных оболочек атомов), почему не может быть больше или меньше элементов-лантаноидов (я употребил современный термин), нежели 14, и почему лантаноиды проявляют удивительное химическое сходство (электронами заполняется третий снаружи электронный слой), почему в том или ином периоде – 2 элемента, или 8 элементов, или 18 элементов, или 32 элемента. А теория говорит, что в гипотетическом восьмом периоде может быть только $2 \cdot 5^2 = 50$ элементов.

Выяснился физический смысл периода – он указывает на число электронных оболочек в атоме... Д.И.Менделеев констатировал, что периодический закон – «глубокая тайна природы» [3, с.273], что «широкая приложимость периодического закона, при отсутствии понимания его причины, есть один из указателей того, что он очень нов...» (там же).

Современные периодические системы химических элементов

До недавнего времени в России, Украине... (а прежде – в СССР) использовалась менделеевская форма (короткая) периодической системы химических элементов (рис.5, см. в конце статьи). Обычно указывается порядковый номер, знак химического элемента и относительная средняя атомная масса элемента (ведь большинство элементов в природе представлено смесью изотопов (помните: уран-238 обогащают, то есть отделяют от других изотопов, в основном, от изотопа уран-235 ?). Дополнительно к этому, *s*- (главная подгруппа первой и второй группы), *p*- (главная подгруппа третьей-восьмой групп), *d*- (побочные подгруппы всех групп) и *f*-элементы (лантаноиды и актиноиды) окрашивают в разные цвета (знаки или клетки). Высокая информативность периодической системы дополняется указанием на число электронов на каждом энергетическом уровне (впервые встречается в таблице немецкого физика Р.Ладенбурга, 1920 год; кроме того, здесь инертные элементы и триады элементов объединены в одну – восьмую – группу); указываются валентные электроны, например, у атомов железа – $3d^6 4s^2$ (впервые осуществил американский физик Г.Уайт в 1931-1934 годы...). «Отбеленные» места – это следы моих дополнений, усиливающих информативность этой периодической системы.

В таком же разрезе можно говорить о полудлинной форме периодической системы – рис. 4. Такая только и используется в американских источниках...

Авторские периодические системы

Первая система, размером два на три метра, исполненная в масле, представляет собой модификацию периодической системы Д.И.Менделеева (рис.6, см. в конце статьи). Убраны подсказки: формулы оксидов и элементов-водородов, потому что система нацелена на творческое её использование. Знаки щелочных металлов окрашены в красный цвет, щелочноземельные металлы (ближайшие соседи щелочных металлов) – в розовый цвет. Знаки неметаллов окрашены в желто-коричневый цвет, галогенов (активные неметаллы) – в голубой цвет, «инертных» газов – в синий цвет. Клетки элементов, образующих **амфотерные** соединения, окрашены в зеленый цвет. Наглядно видно, что амфотерность

от периода к периоду смещается в сторону конца периода и проявляется шире. Так что в шестом периоде практически уже нет неметаллов. Некоторые клетки имеют бледно-коричневую окраску – это элементы-металлы, у которых внешний электрон «проваливается» на предвнешнюю оболочку. У хрома клетка имеет два цвета – зеленый и светло-коричневый. Термины «лантаноиды» и «актиноиды» в 1948 году предложил советский химик С.А.Щукарев – вместо терминов «лантаниды» и «актини́ды», которые в 1925 году предложил норвежский геохимик В.Гольдштейн.

[От редакции. Учитывая отсутствие цветной печати при публикации сборника, цветовые условные обозначения на таблице, рис.6 (см. в конце статьи), заменены обозначениями с помощью знаков. Таким образом:

Знаки щелочных металлов обозначены кружком; щелочноземельные металлы – прямоугольником; знаки неметаллов – треугольником. Галогены (активные неметаллы) – квадратом; инертные газы – звездочкой. Клетки элементов, образующих **амфотерные** соединения, обозначены крестиком... Некоторые клетки заштрихованы горизонтально – это элементы-металлы, у которых внешний электрон «проваливается» на предвнешнюю оболочку. У хрома клетка заштрихована горизонтально и снабжена крестиком].

Вторая периодическая система (рис.7, см. в конце статьи) детально описана в работе [16]. Непосредственно в системе находятся все элементы, причём лантаноиды и актиноиды «демонстрируют» внутреннюю периодичность. Указан только знак и левый индекс (см. выше). Названия (на нужном языке) и атомные массы можно вписать (или же, как это делают американцы, прилагают отдельную таблицу). В подгруппах указана электронная конфигурация. В проблемных местах она вписана непосредственно в клетку элемента. В рядах элементов квадратиками и числом показано – завершён предвнешний электронный слой или нет. Прямоугольниками выделены лантаноиды (следуют сразу за лантаном) и актиноиды (следуют сразу за актинием), триада железа, семейство платины.

В левом или правом углу – жирная точка: известные к моменту создания периодической системы элементы. Крестик в одном из углов – предсказанные и детально описанные Менделеевым элементы. Знак «плюс» над символом элемента – элементы, полученные искусственным путём (в основном: франций был всё же обнаружен в продуктах распада актиния). «Тире» над знаком – места расположения аномальных пар элементов (то есть атомная масса предыдущего элемента больше атомной массы последующего). Знак «альфа» в клетке № 84 – с этого места начинается естественная радиоактивность. Вертикальная скобка после элемента № 92 – граница между природными и синтетическими (искусственно полученными) химическими элементами (трансурановыми). Три стрелки вправо и три влево (разного цвета) – эти элементы при общей характеристике третьей группы можно менять местами. Магнитными стрелками отмечены элементы, атомы которых образуют вещества, обладающие магнитными свойствами.

В целом следует сказать, что с момента создания Менделеевым первой системы химических элементов было предложено порядка 400 различных таблиц, схем и моделей.

Значение периодической системы химических элементов

Периодический закон и периодическая система химических элементов Д.И.Менделеева – это широкая научная теория. Уже при жизни Менделеева были предсказаны неизвестные химические элементы (в том числе Рамзаем, Браунером). Были апробированы методы их открытия, исправлены атомные веса, дана количественная характеристика элементов, простых веществ, соединений элементов. Система подсказала, что для получения ядер технеция необходимо ядра молибдена бомбардировать ядрами дейтерия (изотоп водорода); астат можно получить, бомбардируя ядра стабильного висмута ионами гелия (альфа-частица). 110-ый элемент был получен при бомбардировке

ядер свинца ядрами никеля ($82 + 28 = 110$, а $208 + 62 - 1$ (нейтрон) = 269 (массовое число). Видно, что при альфа-распаде образуется химический элемент, стоящий на две клетки левее распавшегося...

Резюме

К сожалению, нет возможности (из-за лимитированности отводимого пространства) рассматривать многие другие аспекты, связанные с периодической системой химических элементов: предыстория классификации химических элементов (имена, даты, события...); готовность Менделеева к данному исследованию; анализ трудов Менделеева; роль ряда учёных в укреплении и раскрытии сущности периодического закона (ПЗ) и периодической системы химических элементов (ПСХЭ); философские вопросы ПС; получение трансурановых химических элементов; значение системы в учебном процессе (в том числе освещение личного опыта), в аналитической химии, в геохимии, в физических исследованиях... Да и сама периодическая система – её структура – описана бегло, без углубления в детали, нюансы. Выпали, хотя имелись в виду, многие дискуссионные вопросы (см. авторские публикации – списочно!). Выпали интересные факты из биографии Менделеева: семья, неприсвоение академического звания, выдвижение на Нобелевскую премию, Менделеев и водка...

В заключение процитируем слова сына Д.И.Менделеева – Ивана (1883-1936):

«...Открытие периодического закона для его творца было не счастливым случаем, не неожиданной удачей. Нет, отыскание основного закона мира атомов было сознательным философским устремлением, заданием, поставленным с самого начала. Творец периодического закона шёл на осаду этой тайны природы систематически, с первых своих работ, постепенно и последовательно суживая круг...».

Источники

1. Волков В.А., Вонский Е.В., Кузнецова Г.И. Выдающиеся химики мира. Биографический справочник / Под ред. проф. В.И.Кузнецова. – М.: «Высшая школа», 1991.
2. Сайфуллин Р.С., Сайфуллина А.Р. Современную периодическую систему элементов – в школьное образование. – Химия: методика преподавания, 2004, №2.
3. Менделеев Д.И. Периодический закон: сборник статей и фрагментов. –М.: Издательство АН СССР, 1958.
4. 4. Кедров Б.М. День одного великого открытия. – М.: Изд-во ???, 1958.
5. Трифонов Д.Н., Д.И.Менделеев, Б.Браунер и редкие земли. – Химия, 2001, № 5.
6. История таблицы. – Интернет (автор, вероятнее всего, - Д.Н.Трифонов). ????
7. Steven S. Zumdahl. Chemical Principles. – D.C. Heath and Company, 1992. – p. 507.
8. James E. Brady, John R. Holum. Fundamentals of Chemistry. – John Wiley & Sons, 1988. – p. 57.

ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА

9. Очередной раунд борьбы за наполнение понятия «химический элемент» научным содержанием. – Химия (приложение к газете «Первое сентября»), 2001, № 30, с. 14-15.
10. Общие свойства металлов. – Химия, 1995, № 42, с. 6-8.
11. Общая характеристика группы. – Химия, 1999, № 7, с. 6-7.

12. Законы химии. Периодический закон и периодическая система химических элементов Д.И.Менделеева (с. 34-39). В кн. «Ретроспектива творчества». – Львов: 2003. – с. 1-188.
13. Шмуклер Ю.Г. Теорія металічного зв'язку і закономірності періодичної системи (с. 57-66); Причинні зв'язки і закономірності періодичної системи хімічних елементів (с. 67-76); Періодична система хімічних елементів Д.І.Менделєєва у авторському виконанні (с. 77-80). – В кн. “Зміст шкільної хімічної освіти у творчості вчителя”. – Славута: 2000. – с. 1-142.
14. Шмуклер Ю.Г. Унітарна система хімічних елементів і її понятійний апарат. – Хімія. Біологія, 2004, № 19, с. 4-9.
15. В поисках истины (с. 93-107); Какой должна быть формулировка периодического закона? (с. 125-137); Пояснения к периодической системе (с. 186-187). – В кн. “Определение понятий, составляющих основу школьного курса химии”. – Львов: 2005. – с. 1-190.
16. Часть 1. Периодический закон и периодическая система химических элементов (...Возвращение к уроку – см. п. 11; Почему именно Менделеев открыл периодический закон и были ли у него предшественники?) – В кн. “Обобщение опыта научного творчества (понятия, законы, теории, идеи, методы, методика)”. – Львов.: 2005. – с. 1-247.
17. Использование задач и упражнений при изучении периодического закона. – Химия в школе, 1979, № 1, с. 26-28.
18. Понятие как логическая форма мышления. – Химия, 1997, № 43. с. 6-7.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Элементы Elements	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	Li Литий	Be Бериллий	B Бор	C Углерод	N Азот	O Кислород	F Фтор	He Гелий				
2	Li Литий	Be Бериллий	B Бор	C Углерод	N Азот	O Кислород	F Фтор	He Гелий				
3	Na Натрий	Mg Магний	Al Алюминий	Si Кремний	P Фосфор	S Сера	Cl Хлор	Ar Аргон				
4	K Калий	Ca Кальций	Sc Скандий	Ti Титан	V Ванадий	Cr Хром	Mn Марганец	Fe Железо	Cobalt Кобальт	Ni Никель		
5	Rb Рубидий	Sr Стронций	Y Иттрий	Zr Цирконий	Nb Ниобий	Mo Молибден	Tc Технеций	Ru Рутений	Rh Рений	Pd Палладий		
6	Cs Цезий	Ba Барий	In Индий	Sn Олово	Sb Сурьма	Te Теллур	I Йод	Xe Ксенон				
7	Fr Франций	Ra Радий	Ac Актиний	Pb Свинец	Bi Висмут	Po Полоний	At Астат	Rn Радон				

Прим. 5.

Г Р У П П Ы														
П	Р	I	II	III	III			IV	V	VI	VII	VIII		
1	1	ns^2 (H)	ns^2	$(n-1)d^{10}ns^2$	Унитарная система химических элементов (модификация периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева) $CXЭ = f_0(Z)$ (1869–1872) – ... – 2001 (Е. Г. Шмуклер)			ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2		
2	2	$3Li$	$4Be$	$5B$				ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2
3	3	$11Na$	$12Mg$	$13Al$				ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2
4	4	$19K$	$20Ca$	$21Sc$	$\bar{A}_r < \bar{A}_2 < \bar{A}_3 < \dots < \bar{A}_j > \bar{A}_{j-1} < \dots < \bar{A}_n$			ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2		
5	5	$29Cu$	$30Zn$	$31Ga$				ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2
6	6	$37Rb$	$38Sr$	$39Y$				ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2
7	7	$47Ag$	$48Cd$	$49In$	$Z_1 < Z_2 < Z_3 < \dots < Z_i < Z_{i-1} < \dots < Z_n$			ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2		
8	8	$55Cs$	$56Ba$	$57La$				ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2
6	8'							ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2
9	9	$79Au$	$80Hg$	$81Tl$	$(n-2)f(n-1)d(n-1)s$			ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2		
10	10	$87Fr$	$88Ra$	$89Ac$				ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2
7	10'							ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2
11	11				$(n-2)f(n-1)d(n-1)s$			ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2		
								ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2
								ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2	ns^2p^2

Рис. 7.