DOI: 10.17117/na.2016.03.03.375

Поступила (Received): 30.03.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.03.03.375.pdf>

**Голубева Р.М., Раткевич Е.Ю., Мансуров Г.Н.
Длиннопериодный вариант таблицы периодической
системы химических элементов Д.И. Менделеева**

**Golubeva R.M., Ratkevich E.Yu., Mansurov G.N.
Long-period version of table of periodic system
of chemical elements D.I. Mendeleev**

Рассмотрен длиннопериодный вариант таблицы периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева. Показано изменение свойств элементов и образованных ими простых и сложных веществ по периодам и группам, дано объяснение этих закономерностей с точки зрения теории строения атома. Подчёркнута необходимость правильного использования и чёткого разграничения понятий «элемент» и «простое вещество»

Ключевые слова: таблица Д.И. Менделеева, период, группа, блок, элемент, простое вещество

Голубева Роза Михайловна

Кандидат химических наук, доцент

Раткевич Елена Юрьевна

Кандидат педагогических наук, доцент

Мансуров Герман Николаевич

Доктор химических наук, профессор, старший научный сотрудник

Московский институт электронной техники
г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, 1

Considered long-period version of table of periodic system of chemical elements D.I. Mendeleev. Shows the changes in the properties of elements and they formed simple and complex substances along periods and groups, an explanation of these patterns from the point of view of the theory of atomic structure. Stressed the need for proper use and clear distinction of the concepts «element» and «simple substance»

Key words: D.I. Mendeleev's table, period, group, block, element, simple substance

Golubeva Roza Mihaylovna

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor

Ratkevich Elena Yurievna

Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor

Mansurov German Nikolaevich

Doctor of Chemical Sciences, Professor, Senior Researcher

National research university of electronic technology
Moscow, Zelenograd, Shokin Square, 1

Сегодня известно более 500 вариантов изображения периодической системы, но наибольшее распространение получили три формы таблицы Д.И. Менделеева: «короткая» (короткопериодная); «длинная» (длиннопериодная) и «сверхдлинная»). В сверхдлинном варианте каждый период занимает ровно одну строчку. В длинном варианте лантаноиды и актиноиды выделены из общей таблицы, делая её более компактной. В короткой форме записи четвёртый и последующие периоды разделены на два ряда, а группы – на главную и побочную подгруппы, символы элементов главных и побочных подгрупп выравниваются относительно разных краёв клетки. В этом варианте 7 периодов и 8 групп.

Интерес представляет так же предложенная в 1970 году Теодором Сиборгом [5, 6] «расширенная» таблица химических элементов, где введены элементы пока гипотетического восьмого периода.

С 1989 года в иностранной литературе, согласно рекомендации ИЮПАК, используется преимущественно длиннопериодная форма таблицы. В подавляющем большинстве российских школьных и вузовских учебников, справочниках и пособиях до сих пор предпочтение отдаётся «короткой» форме. Но даже при использовании «длинной» формы, нумерация групп всё равно даётся устаревшая и изложение материала по периодической системе ведётся, фактически, по «короткой» форме. Такую ситуацию можно объяснить исключительно инерционностью стереотипного мышления.

Структура периодической системы химических элементов (периоды, группы, блоки)

Рассмотрим структуру длиннопериодной таблицы, обновленной в связи с открытием новых химических элементов в январе 2016 года [3, 9]. Она состоит из 7-ми периодов, 18-ти групп и 4-х блоков (электронных семейств). Элементы в ней расположены по возрастанию значения порядкового (атомного) номера, равного заряду ядра атома. Таким образом, каждый химический элемент имеет свой атомный номер, находится в определённом периоде, группе и блоке.

В прямоугольнике, отведённом для каждого элемента, приводится его символ, название, порядковый номер, относительная атомная масса, распределение электронов по энергетическим уровням, например, [2]:

ПЕРИОДЫ

Согласно современным представлениям, **период** – это последовательный ряд химических элементов, в атомах которых электронная конфигурация внешнего энергетического уровня изменяется от ns^1 до ns^2np^6 (для первого периода – от ns^1 до ns^2) [9].

Номер периода совпадает с номером внешнего энергетического уровня.

1-й, 2-й и 3-й – малые периоды, включают 2, 8 и 8 элементов, соответственно; 4-й – 7-й – большие периоды (18, 18, 32, 32 элемента).

Каждый период, кроме первого, начинается с элемента, образующего в виде простого вещества – щелочной металл и заканчивается элементом, образующим в виде простого вещества благородный газ.

По периоду слева направо с возрастанием относительной атомной массы (заряда ядра атома) закономерно изменяются атомные свойства элементов – электронная конфигурация валентных электронов, уменьшается атомный радиус, увеличивается заряд ядра, энергия ионизации, сродство к электрону и электроотрицательность. Как следствие, изменяются свойства простых и сложных веществ, образованных этими элементами – металлические ослабевают и сменяются неметаллическими, которые постепенно усиливаются. Основные свойства оксидов и соответствующих им гидроксидов сменяются амфотерными, а затем кислотными. Рассмотрим эти изменения на примере элементов третьего периода.

Таблица 1. Некоторые свойства атомов элементов третьего периода

Свойство	Элемент							
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
Строение внешнего электронного слоя атома	3s ¹	3s ²	3s ² 3p ¹	3s ² 3p ²	3s ² 3p ³	3s ² 3p ⁴	3s ² 3p ⁵	3s ² 3p ⁶
Радиус атома, нм	0,186	0,160	0,143	0,117	0,110	0,104	0,099	0,094
Энергия ионизации атома Э-Э ⁺ , эВ	5,14	7,65	5,99	8,15	10,49	10,36	12,97	15,76
Относительная электроотрицательность (оэо)	0,93	1,31	1,61	1,90	2,19	2,58	3,0	-

Примечание: приведенные в табл. 1, 3 и 5 числовые значения и величины взяты из учебников и справочных пособий [2, 7]

Элементы Na, Mg, Al образуют в виде простых веществ металлы; образованные кремнием, фосфором, серой, хлором и аргоном простые вещества – неметаллы.

Характер оксидов и гидроксидов меняется от основных, через амфотерные к кислотным (табл.2).

Таблица 2. Свойства оксидов и гидроксидов

Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl ₂ O ₇	Ar
NaOH	Mg(OH) ₂	Al(OH) ₃	H ₂ SiO ₃	H ₃ PO ₄	H ₂ SO ₄	HClO ₄	соединений
основные		амфотерные	кислотные				не образует

В больших периодах (с 4-го по 7-й) в ряду d- и f – элементов наблюдается незначительное изменение радиуса атомов и медленное возрастание энергии ионизации. Элементы, находящиеся в одном периоде, имеют приблизительно одинаковые значения радиусов атомов и ослабление металлических свойств

простых веществ происходит очень медленно. Здесь наблюдается горизонтальное сходство в свойствах простых веществ – все d- и f-элементы образуют в виде простых веществ металлы.

Периодическая система Д.И. Менделеева является естественной классификацией химических элементов по электронной структуре их атомов. В свете учения о строении атома становится обоснованным разделение всех элементов на семь периодов. Номер периода соответствует числу энергетических уровней атомов, заполняемых электронами. Порядок заполнения электронами энергетических уровней и подуровней теоретически обосновывает периодическую систему химических элементов Д.И. Менделеева. Например, первый период начинается элементом, в атоме которого на внешнем уровне находится один электрон – $1s^1$, а завершается элементом, образующим благородный газ He – $1s^2$; другие периоды завершаются элементами, которые имеют на внешнем уровне электронную конфигурацию ns^2np^6 .

Первый период содержит два элемента – H ($Z=1$) и He ($Z=2$). Второй период, включающий восемь элементов, начинается с Li ($Z=3$) и завершается Ne ($Z=10$). Третий период, также состоящий из восьми элементов, начинается с Na ($Z=11$) (с него же начинается заполнение третьего энергетического уровня) и завершается элементом, образующим благородный газ – Ar ($Z=18$). Четвёртый период начинается с K ($Z=19$) $1s^22s^22p^63s^23p^64s^1$; внешний 4s-электрон придаёт ему свойства, сходные с элементом Na. Энергия электрона, который заполняет 4s-подуровень, ниже энергии 3d-подуровня. У Ca 4s-подуровень заполняется двумя электронами. С элемента Sc ($Z=21$) начинается заполнение 3d-подуровня, так как он энергетически более выгоден, чем 4p-подуровень. Пять орбиталей 3d-подуровня могут быть заняты десятью электронами, что осуществляется у атомов от Sc ($Z=21$) до Zn ($Z=30$). Электронное строение Sc – $1s^22s^22p^63s^23p^63d^14s^2$. Zn – $1s^22s^22p^63s^23p^63d^{10}4s^2$. В атомах последующих элементов вплоть до Kr ($Z=36$) идёт заполнение 4p-подуровня; в четвёртом периоде восемнадцать элементов.

Пятый период содержит элементы от Rb ($Z=37$) до Xe ($Z=54$); заполнение их энергетических уровней идёт, как и у элементов четвёртого периода. После Rb и Sr у десяти элементов от V ($Z=39$) до Cd ($Z=48$) заполняется 4d-подуровень, после чего электроны заполняют 5p-подуровень. В пятом периоде, как и в четвёртом, восемнадцать элементов.

В атомах элементов шестого периода у Cs ($Z=55$) и Ba ($Z=56$) заполняется 6s-подуровень. У La ($Z=57$) один электрон поступает на 5d-подуровень, после чего заполнение этого подуровня приостанавливается, а начинается заполнение 4f-подуровня, семь орбиталей которого могут быть заняты четырнадцатью электронами. Это происходит у атомов элементов с $Z=58...71$. Поскольку у этих элементов заполняется глубинный 4f-подуровень третьего снаружи уровня, они обладают весьма близкими химическими свойствами.

С гафния ($Z=72$) возобновляется заполнение 5d-подуровня, которое заканчивается у Hg ($Z=80$), после чего электроны заполняют 6p-подуровень. Заполнение уровня завершается у элемента, образующего благородный газ радон ($Z=86$); в шестом периоде тридцать два элемента.

Аналогично шестому периоду заполняться седьмой, который до последнего времени был незавершенным. У Fr ($Z=87$) и Ra ($Z=88$) заполняется 7s-подуровень, а у Ac ($Z=89$) электрон поступает уже на 6d-подуровень, после чего у атомов с $Z=90$ до $Z=103$ начинает заполняться 5f-подуровень 14-ю электронами. У элементов с порядковыми номерами 104-112 идет заполнение 6d-подуровня. Со 113-элемента идёт заполнение 7p-подуровня: 113 ($7p^1$)- аналог Ti; 114 ($7p^2$) – аналог Pb; 115 ($7p^3$) – аналог Bi; 116 ($7p^4$) – аналог Po; 117 ($7p^5$) – аналог At; 118 ($7p^6$) – аналог Rn. 118 элемент завершает седьмой период и гипотетически предполагается начало восьмого периода. В настоящее время все места в периодической системе заполнены в промежутке от $Z=1$ до $Z=118$; возможность открытия новых элементов прогнозируется.

Для элементов, начиная с порядкового номера 104 ИЮПАК рекомендует следующие названия: 104-Резерфордий (Rf); 105 – Дубний (Db); 106 – Сиборгий (Sg); 107 – Борий (Bh); 108 – Хассий (Hs); 109 – Мейтнерий (Mt); 110 – Дармштадтий (Ds); 111- Рентгений (Rg); 112- Коперниций (Cn); 114 – Флеровий (Fl); 116 – Ливерморий (Lv). Открытым в последнее время в США, Германии, России, Японии элементам названия пока не присвоены – они называются по стандарту ИЮПАК: 113- Унунтрий (Uut); 115-Унунпентий (Uup); 117- Унунсептий (Uus); 118- Унуноктий (Uuo) [3, 8].

ГРУППЫ

Группа периодической системы химических элементов – это последовательность химических элементов по возрастанию заряда ядра их атомов, обладающая однотипным электронным строением

В группах в таблице расположены друг под другом элементы, сходные по химическим свойствам образованных ими простых и сложных веществ.,

Согласно правилам ИЮПАК группы обозначаются арабскими цифрами от 1 до 18 в направлении слева направо.

Таблица 3. Некоторые свойства атомов на примере элементов 1-й и 3-й групп

Группа	Элемент	Свойство			
		Электронные конфигурации валентных орбиталей	Радиус атома, нм	Энергия ионизации атома, эВ	Относительная электроотрицательность
1	Li	$2s^1$	0,152	5,39	0,98
	Na	$3s^1$	0,156	5,14	0,93
	K	$4s^1$	0,231	4,34	0,91
	Rb	$5s^1$	0,244	4,18	0,89
	Cs	$6s^1$	0,262	3,89	0,79
	Fr	$7s^1$	0,270	3,93	0,70
3	Sc	$3s^23p^63d^14s^2$	0,160	6,56	1,3
	Y	$4s^24p^64d^15s^2$	0,180	6,22	1,2
	La	$5s^25p^65d^16s^2$	0,188	5,58	1,00
	Ac	$6s^26p^66d^17s^2$	0,203	5,10	1,10

Таблица 4. Простые и сложные вещества, образованные элементами 1 и 15 групп и их характер

Группа	Элемент	Вещества и их свойства					
		Простые		Сложные			
		Формула	Характер	Оксиды		Гидроксиды	
				Формула	Характер	Формула	Характер
1	H	H ₂	неметалл	H ₂ O	амфотерный	-	-
	Li	Li	металлы (щелочные)	Li ₂ O	основный	LiOH	сильное основание (щёлочь)
	Na	Na		Na ₂ O		NaOH	
	K	K		K ₂ O		KOH	
	Rb	Rb		Rb ₂ O		RbOH	
	Cs	Cs		Cs ₂ O		CsOH	
	Fr	Fr		Fr ₂ O		FrOH	
15	N	N ₂	неметалл	N ₂ O	несолеобразующие	-	-
				NO			
				NO ₂			
				N ₂ O ₃	кислотный	HNO ₂	слабая кислота
				N ₂ O ₅		HNO ₃	сильная кислота
	P	P, имеет 11 аллотропных модификаций	неметалл	-	-	H ₃ PO ₂	сильная кислота
				P ₄ O ₆	кислотный	H ₃ PO ₃	слабая кислота
				P ₄ O ₁₀		H ₃ PO ₄	
	As	As, неметаллическая (желтый мышьяк) и металлическая (серый мышьяк) аллотропная модификация	полуметалл	As ₂ O ₃	амфотерный	H ₃ AsO ₃	амфотерный гидроксид с преобладанием кислотных свойств
				As ₂ O ₅	кислотный	H ₃ AsO ₄	слабая кислота
	Sb	Sb, имеет 4 металлических и 3 неметаллических аллотропных модификации	полуметалл	Sb ₂ O ₃	амфотерный	Sb(OH) ₃	амфотерный с преобладанием основных свойств
				Sb ₂ O ₅	кислотный	H ₃ SbO ₄	слабая кислота
	Bi	Bi	металл	Bi ₂ O ₃	основный	Bi(OH) ₃	основание
				Bi ₂ O ₅	кислотный	Кислота не получена, но известны соли (NaBiO ₃)	
	Uup	Uup	металл	Uup ₂ O	основный	UupOH	сильное основание (щёлочь)
				Uup ₂ O ₃		Uup(OH) ₃	основание

Ранее для их идентификации использовались римские цифры, а в американской практике после римских цифр ставились также литеры А (если группа расположена в s- и p- блоках, т.е. в главных подгруппах) и Б (если группа находилась в d-блоке, в побочных подгруппах). С 1988 года, согласно новой редакции ИЮПАК [8, 9], прежние наименования вышли из употребления.

По 14 элементов из шестого и седьмого периодов с порядковыми номерами 58 – 71 (лантаноиды) и 90 – 103 (актиноиды) расположены в двух строках в нижней части таблицы и условно отнесены к третьей группе.

Элементы в пределах одной группы имеют одинаковые электронные конфигурации на их валентных оболочках и обладают сходными свойствами.

Атомные же свойства элементов в пределах группы закономерно изменяются: в группах 1, 2, 3 и 13 – 18 радиусы атомов по направлению сверху вниз увеличиваются (за счёт увеличения числа электронных слоёв), а энергия ионизации, сродство к электрону и электроотрицательность – снижаются (табл. 3) и, как следствие, изменяются свойства простых и сложных веществ, образованных элементами: металлические свойства простых веществ усиливаются (для элементов 1, 2, 3 и 13 групп), а неметаллические ослабевают (для групп с 14 по 18 и сменяются металлическими (в группах с 14 по 16). Соответственно, основные свойства оксидов и гидроксидов усиливаются, а кислотные ослабевают. Свойства оксидов и гидроксидов так же зависят от степени окисления атомов в веществе (группы с 13 по 18) – табл.4.

В группах с 4-ой по 12-ю (d-элементы) наблюдаются другие закономерности. В пределах группы радиус атома в целом возрастает, но если при переходе от элементов 4-го периода к элементам 5-го периода он растёт, то при переходе от элементов 5-го периода к элементам 6-го периода и далее к элементам 7-го периода радиус практически остаётся таким же, а иногда уменьшается (f – сжатие: лантаноидное и актиноидное); вследствие этого металлические свойства простых веществ к концу группы ослабевают.

Рассмотрим на примере четвертой и одиннадцатой (табл.5) групп.

Таблица 5. Некоторые свойства атомов элементов 4 и 11 групп

Группа	Элемент	Свойство			
		Строение внешнего и предвнешнего электронных слоев атома	Радиус атома, нм	Энергия ионизации атома, эВ	Относительная электроотрицательность
4	Ti	$3s^23p^63d^24s^2$	0,146	6,82	1,5
	Zr	$4s^24p^64d^25s^2$	0,157	6,84	1,4
	Hf	$5s^25p^65d^26s^2$	0,157	7,00	1,3
	Rf	$6s^26p^66d^27s^2$	-	-	-
11	Cu	$3s^23p^63d^{10}4s^1$	0,128	7,73	1,9
	Ag	$4s^24p^64d^{10}5s^1$	0,144	7,57	1,9
	Au	$5s^25p^65d^{10}6s^1$	0,144	9,23	2,4
	Rg	$6s^26p^66d^{10}7s^1$	-	-	-

Все d-элементы образуют простые вещества металлы. Оксиды и гидроксиды их в низких степенях окисления являются основными, в промежуточных – амфотерными, в высоких – кислотными.

БЛОКИ (электронные семейства элементов)

В зависимости от того, какой подуровень заполняется электронами последним, элементы делятся на четыре блока [1]:

1. s-элементы (S – блок) – электронами заполняется s-подуровень внешнего уровня. К ним относятся элементы 1-й и 2-й групп периодической системы и гелий (18-я группа);

2. p-элементы (P – блок) – электронами заполняется p-подуровень внешнего уровня; P – блок состоит из элементов последних шести групп с 13-й по 18-ю (кроме гелия);

3. d-элементы (D – блок) – электронами заполняется d-подуровень второго снаружи уровня, а на внешнем уровне остается один или два электрона ($Pd=0$). К ним относятся элементы вставных декад больших периодов, расположенных между s- и p-элементами (их также называют переходными элементами), это элементы с 3-ей по 12-ю группы периодической системы;

4. f-элементы (F – блок) – электронами заполняется 4f-подуровень третьего снаружи уровня, на внешнем уровне – два электрона; это лантаноиды и актиноиды.

В большинстве отечественных школьных и вузовских учебников и справочников приводятся некорректные названия групп (или семейств) элементов: щелочные металлы, щёлочно-земельные металлы, полуметаллы, переходные металлы, постпереходные металлы, и т. д. Но, как уже отмечалось в [2], такая трактовка относится не к элементам, а к простым веществам, образованным элементами. Именно простые вещества *по типу химической связи* делятся на металлы, неметаллы и т.д. Между атомами элементов химической связи нет и при их характеристике следует говорить: «Элемент, образующий в качестве простого вещества металл (щёлочно-земельный металл, полуметалл, переходный металл и т.д.)». Словосочетание элемент металл, элемент неметалл и др. является некорректным.

О необходимости различать понятия «химический элемент и простое вещество» указывал ещё Д.И. Менделеев в «Основах химии»: «Под именем элементов должно подразумевать те материальные составные части простых и сложных тел, которые придают им известную совокупность физических и химических свойств. Если простому телу соответствует понятие о частице, то элементу отвечает понятие об атоме. Углерод есть элемент, а уголь, алмаз – вещества простые» [4].

Список используемых источников:

1. Википедия. Блок периодической системы. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1749699>
2. Голубева Р.М., Алферова Е.А., Раткевич Е.Ю., Мансуров Г.Н. Открой для себя мир химии... Ч. 1. М.: Экомир, 2016. 324 с.
3. Голубева Р.М., Мансуров Г.Н., Раткевич Е.Ю. Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева. URL: <http://ecology-uml.ru/psem.html>
4. Менделеев Д.И. Основы химии. М.-Л.: Госкомиздат, 1947. Т. 1. С. 624. Т. 2. С. 704.

5. Сиборг Г. *Расширение пределов Периодической системы // 100 лет Периодическому закону химических элементов*. М.: Наука, 1971. С. 21.
6. Сиборг Г. *Эволюция Периодической системы элементов со времен Менделеева до наших дней // 100 лет Периодическому закону химических элементов*. 1969. С. 136.
7. *Химическая энциклопедия*. М.: Советская энциклопедия. Т. 1. 1988. Т. 2. 1990. Т. 3. 1992. Т. 4. 1995.
8. *Discovery and Assignment of Elements with Atomic Numbers 113, 115, 117 and 118*.
URL: http://www.iupac.org/news/news_detail/article/discovery_and_assignment_of_elements_with_atomic_numbers_113,115,117,and118.html
9. *IUPAC Periodic Table of the Elements*.
URL: http://www.iupac.org/fileadmin/user_upload/news/IUPAC_Periodic_Table-8Jan16.pdf

---

© 2016, Голубева Р.М., Раткевич Е.Ю., Мансуров Г.Н.
Длиннопериодный вариант таблицы периодической
системы химических элементов Д.И. Менделеева

© 2016, Golubeva R.M., Ratkevich E.Yu.,
Mansurov G.N.
Long-period version of table of periodic system of
chemical elements D.I. Mendeleev