

# К ВОПРОСУ О СТРУКТУРЕ ПЕРИОДОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

**Неверов Александр Сергеевич**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)

## **Аннотация**

На основе изучения естественной последовательности заполнения электронами энергетических уровней и подуровней атома предложен вариант табличного отображения периодической системы элементов Д.И. Менделеева, отличающийся тем, что в качестве периодов рассматриваются  $(n + l)$ -группы Клечковского.

**Ключевые слова:** таблица элементов, ступенчатая пирамида, группы Клечковского, энергетические подуровни, заряд ядра атома.

## TO THE QUESTION OF THE STRUCTURE OF THE PERIODS OF THE SYSTEM OF ELEMENTS OF D. I. MENDELEEV

Neverov Alexander Sergeevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department  
Belarusian State University of Transport (BelSUT)

## **Annotation**

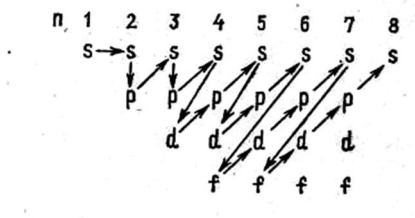
Based on the study of the natural sequence of electron filling of energy levels and sublevels of an atom, a variant of the tabular display of the periodic table of D.I. Mendeleev's elements is proposed, characterized in that the  $(n + l)$ -Klechkovsky groups are considered as periods.

**Keywords:** table of elements, step pyramid, Klechkovsky groups, energy sublevels, atomic nucleus charge.

В свете представлений квантовомеханической модели атома, существующие табличные методы отображения периодической системы в настоящее время уже не всегда полностью устраивают исследователей. Об этом свидетельствует непрекращающийся поиск новых, более совершенных вариантов графического изображения периодической системы [1]. По всей вероятности задача отыскания варианта, идеального во всех отношениях является неразрешимой, поскольку "вообще не может быть совершенной формы двумерного изображения периодической системы" [2].

Тем не менее, если существует некоторый оптимальный вариант, отличный от известных, то можно предположить, что отвечающая ему определенная закономерность геометрического расположения элементов на плоскости должна соответствовать естественной последовательности заполнения электронами энергетических подуровней атома. В этом случае реальной становится попытка подойти к решению данной задачи путем детального рассмотрения упомянутой последовательности [3, 4, 5].

Используем общеизвестную схему заполнения подуровней атома в координатах главное квантовое число ( $n$ ) – орбитальное квантовое число ( $l$ ). На традиционных схемах (рис. 1) приводят обычно все энергетические подуровни от  $1s$  до  $6d$  включительно, а последовательность заполнения указывают стрелками.

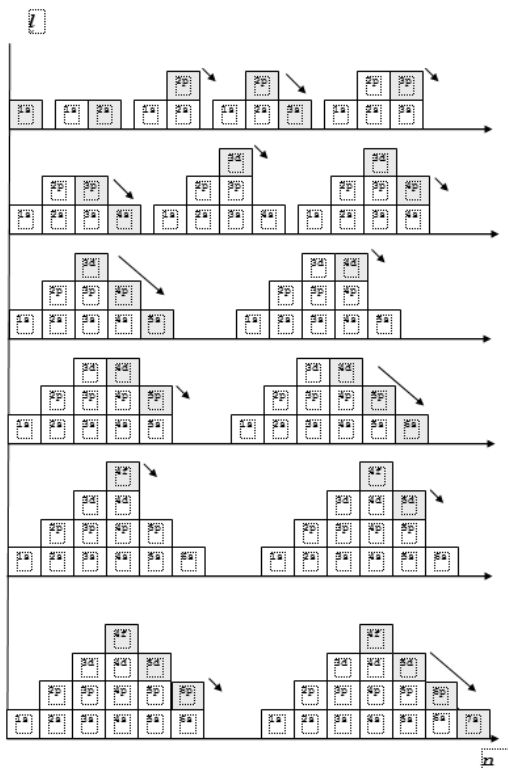


**Рис. 1. Традиционная схема заполнения подуровней электронами [2]**

Это затрудняет восприятие ее закономерностей. Поэтому для каждого очередного подуровня схему будем возобновлять, обозначая его квадратом, расположение которого относительно ранее заполненных подуровней определяется соотношением квантовых чисел  $n$  и  $l$ . Полученные результаты приведены на рис. 2 [5].

Изучение рисунка позволяет установить следующее. В процессе последовательного заполнения подуровней образуется геометрическая фигура, напоминающая ступенчатую пирамиду. Заполнение подуровней идет вдоль боковой стороны пирамиды сверху вниз, при этом пирамида периодически увеличивается в размерах на одну клетку (подуровень) то в ширину, то в высоту. Каждый подуровень с более высоким значением  $l$  появляется только

после того, как число подуровней в полностью завершенных электронных слоях становится равным числу подуровней в незаполненных слоях.

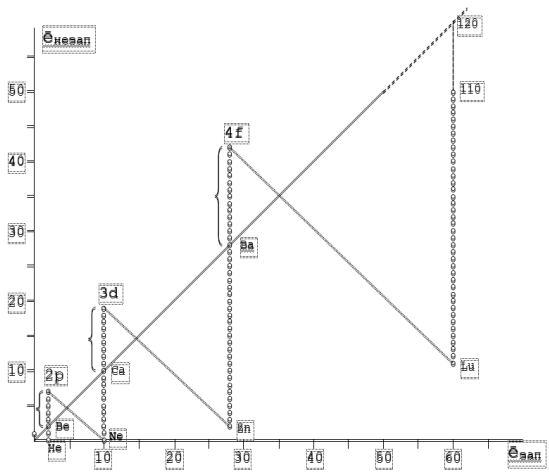


**Рис. 2. Естественная последовательность заполнения подуровней**

Дополнительным подтверждением этого является график на рис. 3, на котором положение каждого элемента определяется соотношением числа электронов в заполненных и незаполненных слоях атомов.

Рисунок показывает, что элементы располагаются на своеобразной ломанной кривой при этом атомы, содержащие подуровни с новым (более высоким) значением  $l$  появляются после того, как у предшествующих им элементов (Be, Ca, Ba) количество электронов в незаполненных слоях становится равным числу электронов в заполненных слоях.

Возвращаясь к рис. 2 рассмотрим теперь насколько полно отвечает общепринятая структура периодов естественной последовательности заполнения электронами подуровней атома.



**Рис. 3.** Соотношение числа электронов в заполненных ( $\epsilon_{\text{зап}}$ ) и незаполненных ( $\epsilon_{\text{незап}}$ ) электронных слоях атомов системы элементов Д.И. Менделеева.

В естественной последовательности, согласно рис. 2, периодически возобновляемым элементом является боковая сторона ступенчатой пирамиды, образованной энергетическими подуровнями. Границами этого элемента периодичности служат подуровни, отвечающие началу и концу построения боковой стороны. Принятая последовательность расположения подуровней в периоде (например, для 4 периода:  $4s \rightarrow 3d \rightarrow 4p$ ) отличается от естественной ( $3d \rightarrow 4p \rightarrow 5s$ ). Отличия эти, однако, не слишком велики (сдвиг на одну клетку) и их можно устранить, введя дополнительный период из двух элементов Li и Be. В этом случае в соответствии со схемой (рис. 2) 1 и 2 периоды будут включать по два  $s$ -элемента (H, He и Li, Be); 3 и 4 периоды будут состоять из подуровней  $2p$ ,  $3s$  и  $3p$ ,  $4s$ , соответственно; 5 и 6 периоды — из подуровней  $3d$ ,  $4p$ ,  $5s$  и  $4d$ ,  $5p$ ,  $6s$ ; 7 и 8 периоды —  $4f$ ,  $5d$ ,  $6p$ ,  $7s$  и  $5f$ ,  $6d$ ,  $7p$ ,  $8s$ . На рис. 4 приведен вариант графического изображения системы элементов, отвечающий такой структуре периодов.

$f^4$														$d^{10}$										$p^6$										$s^2$																													
Номер (N) группы																																																															
32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																																
																										1s		1	H	2	He																																
																										2s		3	Li	4	Be																																
																										2p		5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne	11	Na	12	Mg																				
																										3p		13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar	19	K	20	Ca																				
																										3d		21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr	37	Rb	38	Sr
																										4d		39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe	55	Cs	56	Ba
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88																																
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra																																
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120																																
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og																																		
-3	-2	-1	0	1	2	3	-3	-2	-1	0	1	2	3	-2	-1	0	1	2	-2	-1	0	1	2	-1	0	1	-1	0	1	0	0																																
Магнитное квантовое число ( $m_l$ )																																																															

Именно последнее вызывает наибольшее неприятие, поскольку по свойствам гелий намного ближе к инертным газам. С другой стороны столь же сильное отличие водорода от щелочных металлов уже давно никого не смущает. Возвращаясь к таблице на рис.4 нетрудно заметить, что периоды включают элементы с одинаковым значением суммы главного и орбитального квантовых чисел ( $n + l$ ) заселяемых электронов, то есть фактически периоды соответствуют ( $n + l$ )-группам Клечковского [6]. Периоды с одинаковым числом элементов объединяются попарно. Причем в каждой такой паре периодов общее количество элементов равно квадрату максимального значения суммы ( $n + l$ ). Например, в 3 и 4 периодах максимальное значение ( $n + l$ ) равно 4, а общее число элементов равно 16. Каждая пара периодов заканчивается элементом, атом которого имеет равное число электронов в заполненных и незаполненных энергетических уровнях. Следующая пара периодов открывается новым энергетическим подуровнем с максимальным значением

орбитального квантового числа  $l$ . Номер ( $N$ ) вертикального столбца, в котором находится каждый элемент, связан с квантовым числом  $l$  и количеством электронов ( $e_l$ ) в заселяемых подуровнях (без учета проскока электронов) зависимостью:

$$N = 2l^2 + 4l - e_l + 3. \quad (1)$$

Возвращаясь к таблице на рис. 4, отметим, что последовательность расположения элементов в вертикальном столбце определяется разностью главного и орбитального квантовых чисел ( $n - l$ ). Например, для Br  $n = 4$ ,  $l = 1$ ,  $n - l = 3$ , следовательно, Br должен располагаться в столбце третьим при счете сверху. Это дает возможность рассчитать заряд ядра атома элемента ( $Z$ ) по известным значениям квантовых чисел  $n$ ,  $l$  и числу электронов в заселяемых подуровнях  $e_l$ . Для этого может быть предложен следующий порядок расчета:

$$\begin{aligned} Z = & \{[(n+1) - (l-1) - 1][2(l-1) + 1] \cdot 2 + [(n+2) - (l-2) - 1][2(l-2) + 1] \cdot 2 + \dots \\ & \dots + [(n+k_1) - (l-k_1) - 1][2(l-k_1) + 1] \cdot 2\} + \{[(n-1) - l](2l+1) \cdot 2 + \dots \\ & \dots + [(n-1) - (l+1)][2(l+1) + 1] + [(n-2) - (l+2)][2(l+2) + 1] \cdot 2 + \dots \\ & \dots + [(n-k_2) - (l+k_2)][2(l+k_2) + 1] \cdot 2\} + e_l \quad (2) \end{aligned}$$

Все слагаемые должны быть числами целыми и положительными, отрицательные величины отбрасываем. Расчеты по этой формуле (без учета проскока электронов) дают результаты, совпадающие с действительными величинами заряда ядра атома. Например, для водорода ( $n = 1$ ,  $e_l = 1$ ,  $l = 0$ ) слагаемые внутри первых и вторых фигурных скобок отрицательны, отбрасываем их и получаем  $Z = e_l$ , то есть  $Z = 1$ . Для Li ( $n = 2$ ,  $e_l = 1$ ,  $l = 0$ ) слагаемые в первых фигурных скобках отрицательны, во вторых положительным является только первое слагаемое, следовательно:

$$Z = [(n-1) - l](2l+1) \cdot 2 + e_l = 2 + 1 = 3$$

Для Br ( $n = 4$ ,  $e_l = 5$ ,  $l = 1$ ) в первых фигурных скобках положительно первое слагаемое, во вторых – два первых слагаемых, следовательно:

$$\begin{aligned} Z = & [(n+1) - (l-1) - 1][2(l-1) + 1] \cdot 2 + [(n-1) - l](2l+1) \cdot 2 + \\ & + [(n-1) - (l+1)][2(l+1) + 1] \cdot 2 + e_l = 8 + 12 + 10 + 5 = 35 \end{aligned}$$

Таким образом, геометрическое расположение элемента в таблице получает надежную математическую связь с зарядом ядра его атома. Для вычисления заряда ядра необходимо и достаточно знать номер вертикального столбца таблицы, в котором размещается данный элемент и первые два квантовых числа.

Несомненно, что предложенный вариант таблицы элементов обладает рядом существенных недостатков. Нарушается традиционная, удобная для восприятия, логически последовательная схема построения периодов. Инертные газы занимают непривычное место посередине периода. Гелий объединяется в одну подгруппу со щелочными металлами. Литий и бериллий без видимых на то оснований выделяются в отдельный период. Однако простота таблицы, наличие определенных закономерностей ее построения и их соответствие естественным закономерностям заполнения электронами подуровней атома, возможность математизации, все это может, по-видимому, в определенной мере компенсировать недостатки.

Следует отметить, что попытки отнесения гелия к подгруппе щелочноземельных металлов предпринимались и ранее [2], поскольку это в большей мере отвечает электронной структуре его атомов. Что касается лития и бериллия, общеизвестно резкое отличие их по свойствам от других элементов соответствующих подгрупп.

### **Список литературы**

1. Соловьев, Ю.И. История химии: развитие основных направлений современной химии / Ю.И. Соловьев, Д.И. Трифионов, А.Н. Шамин. – 2-е изд. перераб. – М.: Просвещение, 1984.
2. Корольков, Д.В. Основы неорганической химии / Д.В. Корольков. – М.: Просвещение, 1982.
3. Неверов, А.С. О структуре периодов системы элементов Д.И. Менделеева / А.С. Неверов // Библиографический указатель ВИНТИ «Депонированные научные работы». – 1987. – №1. – С. 191.
4. Неверов, А.С. «Кирпичи» в помощь Д.И. Менделееву / А.С. Неверов // Материалы Всесоюзной конференции ФЕНИД-90, Гомель, Клуб ФЕНИД, 1990, С. 93-96.

5. Неверов, А.С. К вопросу о структуре периодов системы элементов Д.И. Менделеева / А.С. Неверов // Хімія праблемы выкладання: 2009. №5(98), С. 4-8.

6. Клечковский, В.М. Распределение атомных электронов и правила последовательного заполнения ( $n + l$ )-групп / В.М. Клечковский. – М.: Химия, 1968.