

УДК 535.338

DOI 10.25205/2541-9447-2020-15-2-105-115

## К юбилею периодической таблицы Д. Менделеева

А. С. Яценко

*Институт автоматики и электрометрии СО РАН  
Новосибирск, Россия*

### *Аннотация*

В статье кратко описаны этапы развития представлений об атомарном строении вещества от древних философов до наших дней. Различные изображения периодической таблицы элементов в ходе ее создания и в современном виде также представлены.

### *Ключевые слова*

периодическая система элементов, атом, атомный вес

### *Для цитирования*

Яценко А. С. К юбилею периодической таблицы Д. Менделеева // Сибирский физический журнал. 2020. Т. 15, № 2. С. 105–115. DOI 10.25205/2541-9447-2020-15-2-105-115

## On the Anniversary of the of Periodic Table of Mendeleev

A. S. Yatsenko

*Institute of Automation and Electrometry SB RAS  
Novosibirsk, Russian Federation*

### *Abstract*

The article briefly describes the stages of development of ideas about the atomic structure of matter from ancient philosophers to the present day. Various images of the periodic table of elements during its creation and in a modern form are also presented.

### *Keywords*

Periodic table element, atom, atomic weight

### *For citation*

Yatsenko A. S. On the Anniversary of the of Periodic Table of Mendeleev. *Siberian Journal of Physics*, 2020, vol. 15, no. 2, p. 105–115. (in Russ.) DOI 10.25205/2541-9447-2020-15-2-105–115

Человек, обладающий умом, подобен лошади, высекающей подковой огонь из-под камня.

*Ж. Ламерти*

Окружающий нас мир многолик, многообразен, изменчив, полон неожиданностей. Всякий предмет обладает только ему присущими свойствами. Из истории развития человечества мы знаем, что мыслители прошлого активно обсуждали основы мироздания [1; 2]. Понятие элемента возникло в процессе познания природы. Греческие материалисты признавали единым элементом мира одну из четырех вечно существующих субстанций – вода (Фалес), земля (Ксенофан), огонь (Гераклит) и воздух (Анаксимен). Большое разнообразие элементов – раз-

ные комбинации из четырех. А из единства строения элементов делали вывод о возможности их взаимного превращения. Некоторые последователи этого учения ввели новое представление – об атомистической природе элемента. Например, греки Лейкипп (470 г. до н. э.) и его ученик Демокрит (460 г. до н. э.) учили, что элементы состоят из малых неделимых частиц, находящихся в постоянном движении [2; 3], отличающихся друг от друга величиной и формой. Каждое тело состоит из бесконечного числа точек, недоступных дальнейшему делению. Развитие этого учения продолжил римский мыслитель Лукреций. В поэме «О природе вещей» он повторил в общедоступной форме учение своих греческих предшественников. Вселенная беспредельна, ее начало – атомы и пустота. Атомы бесконечны по величине и количеству. Они вихрем несутся во Вселенной и порождают все сложное, так как все они – соединения каких-то атомов, которые не подвержены воздействиям и изменениям в силу своей твердости.

Как древние сумели дойти до атомизма? Они были поражены тем, что при вечных изменениях в природе сохраняются некоторые постоянные части элемента. Например, деление тела не может идти в бесконечность, и для его частиц существует предел делимости. Это могло навести на мысль о неизменных, первичных, неделимых атомах (на рубеже XVII–XVIII вв.).

Такие взгляды просуществовали вплоть до XVI в. За эти 2500 лет человечество утвердилось в атомном представлении мира. В 1860 г. в Карлсруэ (Германия) состоялся I Международный конгресс химиков, решения которого ознаменовали торжество атомно-молекулярного строения элементов. Но никто из специалистов ничего не мог сказать о строении атома, были только догадки.

Начиная с XVII в. учение об элементах усилилось трудами Н. Марце (1786), Д. Дальтона (1801), В. Проута (1815), И. Доберейнера (1817) и др. К этому времени было известно 50 элементов. На основе известных данных по ним начались попытки классификации. Проще всего было бы выписать в порядке их атомных весов, как это предложил Проут. Однако все было не так просто, поскольку позднее были открыты элементы с атомным весом не кратным водороду.

Попытки найти закономерности или создать систематику веществ предпринимали многие известные химики: немецкий ученый Л. Майер (1868), английские В. Одлинг (1857) и Д. Ньюлендс (1865), француз Б. Шанкуртуа (1863) и мн. др. Была принята табличная форма представления данных в трех видах – вертикальной, горизонтальной и диагональной. Однако эти авторы исходили в своих исследованиях из случайных признаков, а не из совокупности физико-химических свойств элементов. Были и курьезы того времени. Например, в 1866 г. Лондонское химическое общество не поддержало закон октав (8 столбцов по 7 элементов, всего 62 элемента), предложенный Д. Ньюлендесом [4]. Однако в 1882 г. провозгласило его основателем периодического закона.

Л. Майер в 1868 г. представил следующую таблицу элементов для своих лекций (рис. 1). В ней все элементы расположены вертикально в 16 столбцах. Отсутствовали 3, 13, 18 группы и I период. Не включены H, V, In, Y, Nb. Неправильно размещены 12 элементов – Al, Tl, Ta, Mo, V, W, Ru, Rh, Pd, Pt, Ir, Os.

Д. Менделеев представлял таблицу элементов в трех видах – короткую (8 клеток), полудлинную (18 клеток) и длинную (32 клетки). 18 марта 1869 г. на заседании Русского химического общества Н. Меншуткин от имени Д. Менделеева сделал первое сообщение об открытии периодического закона и связанной с ним системы химических элементов. Позднее в I томе «Журнала Русского химического общества» появилась статья Д. Менделеева «Соотношение свойств с атомным весом элементов» [5] с таблицей элементов, известных в то время. В таблице все элементы расположены в 19 рядах и 6 столбцах (рис. 2). Отсутствует 18-я группа. Неправильно размещены 18 элементов – H, Er, Y, In, Ce, La, Dy, Ta, Rh, Ru, U, Pt, Ir, Os, Hg, Au, Ti, Pb. В одном из докладов Д. Менделеев так оценил свою работу:

			3										13					18	
	Нумерация по табл. 8	1	2	4	5		6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17		
	Нумерация по Мейеру	12	13	14	15	16	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	Период 2	Li	Be						(Al)	Al				C	N	O	F		
	3	Na	Mg											Si	P	S	Cl		
	4	K	Ca	Ti	Mo	-	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	-	As	Se	Br		
	5	Rb	Sr	Zr	V	-			Ru	Rh	Pd		Ag	Cd	Sn	Sb	Te	J	
	6	Cs	Ba		Ta	W			Pt	Ir	Os		Au	Hg	Pb	Bi			
	7	Tl																	

Отсутствуют 3, 13, 18-я группы

Не нужна пустая 16-я группа

В таблицу не включены H, B, In, Y, Nb

Неправильно включены Al, Tl, Ta, Mo, V, W, Ru, Rh, Ir, Pt, Os

Рис. 1. Схема периодической системы элементов Л. Майера

Fig. 1. Scheme of the periodic system of elements of L. Mayer

Нумерация по табл. 8	1	2	3				4	5	6	7	8	9, 10	11	12	13	14	15	16	17	
по Менделееву	6	5	4	3	2	1	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	
1	←												H	→						
2	Li													Be	B	C	N	O	F	
3	Na													Mg	Al	Si	P	S	Cl	
4	K	Ca	-	Er	Y	In	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni Co	Cu	Zn	-	-	As	Se	Br	
5	Rb	Sr	Ce	La	Dy	Th	Zr	Nb	Mo	Rh	R	Pd	Ag	Cd	U	Sn	Sb	Te	J	
6	Cs	Ba	↓	↓		↓	-	Ta	W	Pt	Jr	Os	Hg		Au					
7	Tl	Pb	←																	

Отсутствует 18-я группа  
 Не нужны группы 1-3  
 Неправильно включены H, Er, Y, In, Ce, La, Dy, Th, Rh, Ru, U, Pt, Ir, Os, Hg, Au, Tl, Pb

Рис. 2. Схема периодической системы элементов Д. Менделеева  
 Fig. 2. Scheme of the periodic system of elements of D. Mendeleev

«До периодического закона простые тела представляли лишь отрывочные, случайные явления природы: не было поводов ждать каких-либо новых, а вновь находимые в своих свойствах были полной неожиданной новинкой. Периодическая законность первая дала возможность видеть не открытые еще элементы».

В работе «Основы химии» Д. Менделеев представил следующую схему периодической таблицы (1871) для 63 элементов. Что удалось выяснить окончательно? Были исправлены атомные веса и валентности некоторых элементов, уточнено их положение в таблице. Предсказано существование новых 11 элементов. Если бы все атомы материи были одинаковы, то нельзя было бы понять, почему бог предпочел создать и поместить тот или иной атом в этом месте, а не в другом: «Свойства простых тел, также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины атомных весов элементов», – уточнил автор таблицы.

Открытый Менделеевым периодический закон оказал огромное влияние на развитие работ физиков и химиков в области строения вещества. Например, в 1860 г. были открыты оптические спектры атомов. Увлекательное занятие – сбор, фотографирование и измерение спектров – привлекло большое количество специалистов. Д. Менделеев в 1889 г. обратил внимание исследователей на периодичность строения спектров элементов в зависимости от атомных весов. И, как отмечал в 1915 г. Д. Рождественский, «все элементы получили свою характеристику в списках спектральных линий... списки эти почти исчерпаны. Длины волн измерены иногда с поражающей точностью, установлены эмпирические зависимости между длинами волн спектральных линий» [6].

В период 1794–1907 гг. европейские исследователи начали активно изучать элементы из природных руд. Трудность заключалась в том, что

- природные руды редко встречаются в природе – («редкие земли»),
- такие элементы трудно было отделить друг от друга,
- они удивительно схожи по химическим свойствам.

Французский химик Ж. Урбэн так характеризовал это время: «Это было море ошибок, и истина в нем тонула» (1907 г.). При этом многие исследователи и сам Д. Менделеев пытались вставить их в свою таблицу. Но это была «одна из труднейших задач», элементы оставались «вне системы». Наконец в 1914 г. немецкий химик Р. Мейер предложил размещать все эти элементы в одну клетку с лантаном, а их ряд из 14 элементов помещать под таблицей.

Менделеев постоянно совершенствовал свою таблицу. Например, в 1900 г. он, независимо от У. Рамзая, ввел в таблицу особую нулевую группу благородных газов.

В период 1906–1910 гг. при изучении радиоактивных элементов были открыты изотопы. Обладая одинаковым зарядом ядра  $Z$ , но различаясь числом нейтронов в нем  $N$ , изотопы имеют одинаковое строение электронных оболочек. Из-за близких химических свойств они занимают одно и то же место в периодической системе Менделеева.

Более 100 лет после открытия атома считалось, что он неделим. Однако дальнейшие углубленные знания это опровергли. В 1913 г. Н. Бор начал разрабатывать квантовую модель атома. Он применил к атому идею о дискретности значений энергии излучателей, установил правила для нахождения орбит. В 1921 г. он предложил схему периодической системы элементов (рис. 3), которая отображала и строение оболочек, и химические свойства атомов [7]. Последняя строка таблицы полностью заполнена редкими землями. И, как писал М. Борн, «в периодической таблице элементы расположены по правилам, которые первоначально основывались на их химических свойствах и атомных весах. Оказалось, однако, что в действительности решающий фактор – не атомный вес, а атомный номер  $Z$ ».

В 1923 г. Бор Н. провел полную классификацию термов и спектров атомных систем с помощью квантовых чисел [8]. Что при этом удалось выяснить?

- Разработано учение об атомном строении вещества,
- найдена связь между атомной структурой и спектрами,

Период	Группа I		Группа II		Группа III		Группа IV		Группа V		Группа VI		Группа VII		Группа VIII					
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a		b			
I														1 H 1,0080						2 He 4,003
II	3 Li 6,940		4 Be 9,02		5 B 10,82		6 C 12,010		7 N 14,008		8 O 16,0000		9 F 19,00							10 Ne 20,183
III	11 Na 22,997		12 Mg 24,32		13 Al 26,97		14 Si 28,06		15 P 30,98		16 S 32,066		17 Cl 35,457							18 Ar 39,944
IV	19 K 39,096		20 Ca 40,08		21 Se 45,10		22 Ti 47,90		23 V 50,95		24 Cr 52,01		25 Mn 54,93		26 Fe 55,85	27 Co ↔ 28 Ni 58,94 58,69				
	29 Cu 63,54		30 Zn 65,38		31 Ga 69,72		32 Ge 72,60		33 As 74,91		34 Se 78,96		35 Br 79,916							36 Kr 83,7
V	37 Rb 85,48		38 Sr 87,63		39 Y 88,92		40 Zr 91,22		41 Nb 92,91		42 Mo 95,95		43 Tc 99		44 Ru 101,7	45 Rh 102,91		46 Pd 106,7		
	47 Ag 107,880		48 Cd 112,41		49 In 114,76		50 Sn 118,70		51 Sb 121,76		52 Te 127,61		↔ 53 I 126,92							54 Xe 131,3
VI	55 Cs 132,91		56 Ba 137,36		57–71 Редкие земли		72 Hf 178,6		73 Ta 180,88		74 W 183,92		75 Re 186,31		76 Os 190,2	77 Ir 193,1		78 Pt 195,23		
	79 Au 197,2		80 Hg 200,61		81 Tl 204,39		82 Pb 207,21		83 Bi 209,00		84 Po 210		85 At 211							86 Rn 222
VII	87 Fr 223		88 Ra 226,05		89 Ac 227		90 Th ↔ 232,12		91 Pa 231		92 U 93 Np 238,07 237		94 Pu 95 Am 239 241		96 Cm 97 Bk 242 246		98 Cf 99 Es 249 254		100 Fm 101 Md 256 256	
<i>Редкие земли</i>																				
VI 57–71	57 La 138,92	58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm 147	62 Sm 150,43	63 Eu 152,0	64 Gd 156,9	65 Tb 159,2	66 Dy 162,46	67 Ho 164,90	68 Er 167,2	69 Tm 169,4	70 Yb 173,04	71 Lu 174,99					

Числа против символов дают атомные номера, числа под символами – атомные веса. Двойной стрелкой помечены места, в которых атомные веса и атомные номера не согласуются. Новые элементы обозначены принятыми для них символами. Четыре из них заполняют пропуски в прежней периодической системе: 43 Tc – технеций; 61 Pm – прометий; 85 At – аstatин; 87 Fr – франций. Десять других – это трансуранные элементы: 93 Np – нептуний; 94 Pu – плутоний; 95 Am – америций; 96 Cm – кюрий; 97 Bk – берклий; 98 Cf – калифорний; 99 Es – эйнштейний; 100 Fm – фермий; 101 Md – менделевий

Рис. 3. Схема периодической системы элементов Н. Бора  
Fig. 3. Scheme of the periodic system of elements of N. Bohr

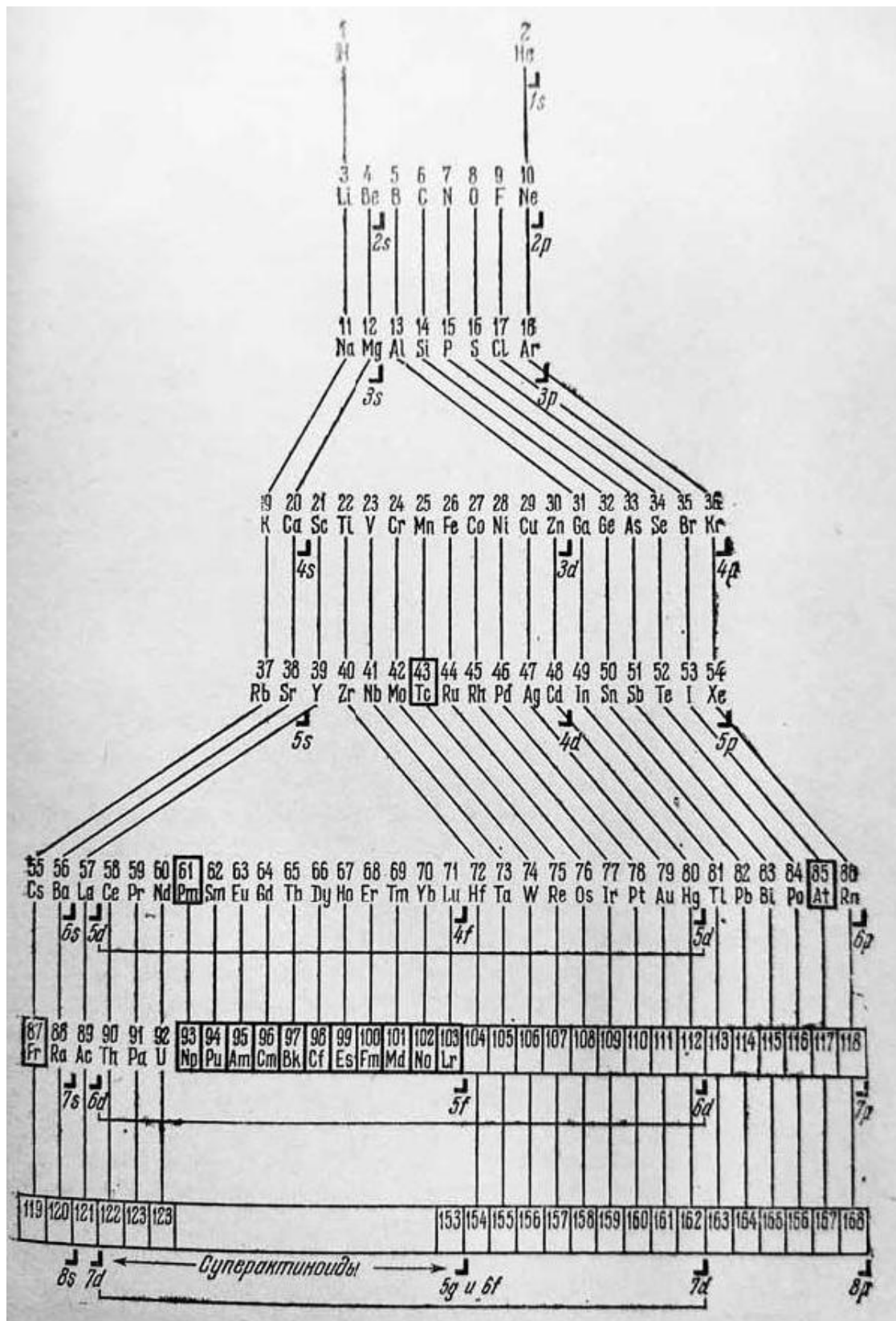


Рис. 4. Периодическая система элементов (по Г. Сиборгу)  
 Fig. 4. Periodic system of elements (according to G. Seaborg)



19 <b>K</b> Potassium	20 <b>Ca</b> Calcium	21 <b>Sc</b> Scandium	22 <b>Ti</b> Titanium	23 <b>V</b> Vanadium	24 <b>Cr</b> Chromium	25 <b>Mn</b> Manganese	26 <b>Fe</b> Iron	27 <b>Co</b> Cobalt	28 <b>Ni</b> Nickel	29 <b>Cu</b> Copper	30 <b>Zn</b> Zinc	31 <b>Ga</b> Gallium	32 <b>Ge</b> Germanium	33 <b>As</b> Arsenic	34 <b>Se</b> Selenium	35 <b>Br</b> Bromine	36 <b>Kr</b> Krypton
37 <b>Rb</b> Rubidium	38 <b>Sr</b> Strontium	39 <b>Y</b> Yttrium	40 <b>Zr</b> Zirconium	41 <b>Nb</b> Niobium	42 <b>Mo</b> Molybdenum	43 <b>Tc</b> Technetium	44 <b>Ru</b> Ruthenium	45 <b>Rh</b> Rhodium	46 <b>Pd</b> Palladium	47 <b>Ag</b> Silver	48 <b>Cd</b> Cadmium	49 <b>In</b> Indium	50 <b>Sn</b> Tin	51 <b>Sb</b> Antimony	52 <b>Te</b> Tellurium	53 <b>I</b> Iodine	54 <b>Xe</b> Xenon
55 <b>Cs</b> Cesium	56 <b>Ba</b> Barium	57-71	72 <b>Hf</b> Hafnium	73 <b>Ta</b> Tantalum	74 <b>W</b> Tungsten	75 <b>Re</b> Rhenium	76 <b>Os</b> Osmium	77 <b>Ir</b> Iridium	78 <b>Pt</b> Platinum	79 <b>Au</b> Gold	80 <b>Hg</b> Mercury	81 <b>Tl</b> Thallium	82 <b>Pb</b> Lead	83 <b>Bi</b> Bismuth	84 <b>Po</b> Polonium	85 <b>At</b> Astatine	86 <b>Rn</b> Radon
87 <b>Fr</b> Francium	88 <b>Ra</b> Radium	89-103	104 <b>Rf</b> Rutherfordium	105 <b>Db</b> Dubnium	106 <b>Sg</b> Seaborgium	107 <b>Bh</b> Bohrium	108 <b>Hs</b> Hassium	109 <b>Mt</b> Meitnerium	110 <b>Ds</b> Darmstadtium	111 <b>Rg</b> Roentgenium	112 <b>Cn</b> Copernicium	113 <b>Nh</b> Nihonium	114 <b>Fl</b> Flerovium	115 <b>Mc</b> Moscovium	116 <b>Lv</b> Livermorium	117 <b>Ts</b> Tennessine	118 <b>Og</b> Oganesson
57 <b>La</b> Lanthanum	58 <b>Ce</b> Cerium	59 <b>Pr</b> Praseodymium	60 <b>Nd</b> Neodymium	61 <b>Pm</b> Promethium	62 <b>Sm</b> Samarium	63 <b>Eu</b> Europium	64 <b>Gd</b> Gadolinium	65 <b>Tb</b> Terbium	66 <b>Dy</b> Dysprosium	67 <b>Ho</b> Holmium	68 <b>Er</b> Erbium	69 <b>Tm</b> Thulium	70 <b>Yb</b> Ytterbium	71 <b>Lu</b> Lutetium			
89 <b>Ac</b> Actinium	90 <b>Th</b> Thorium	91 <b>Pa</b> Protactinium	92 <b>U</b> Uranium	93 <b>Np</b> Neptunium	94 <b>Pu</b> Plutonium	95 <b>Am</b> Americium	96 <b>Cm</b> Curium	97 <b>Bk</b> Berkelium	98 <b>Cf</b> Californium	99 <b>Es</b> Einsteinium	100 <b>Fm</b> Fermium	101 <b>Md</b> Mendelevium	102 <b>No</b> Nobelium				

Рис. 5. Современная периодическая таблица  
 Fig. 5. Modern layout of the periodic table



- предложено Томсоном строение атома,
- определено число электронов в каждом атоме,
- электроны в атоме распределены по группам,
- создана ядерная модель, где заряд ядра равен числу электронов,
- заряд ядра равен порядковому числу электронов в таблице,
- построена квантовая теория строения атома и спектров,
- выработано представление о квантовых числах и определено число электронов,
- создана теория рентгеновских спектров.

Согласно этим данным переменная количественная характеристика элемента – атомный вес – была заменена истинной константой – порядковым номером.

В Нобелевской речи Бор на основании своей теории дал «объяснение характерным отклонениям от простой периодичности в системе элементов» и проследил «образование семейства редкоземельных элементов».

Классификация уровней энергии и переходов в атомных системах упростило процедуру сбора спектральных данных. Появились объемные табличные данные по уровням энергий [9] и переходам [10], а также графические представления в виде диаграмм Гроттриана [11]. Открытие в 1913 г. изотопов не изменило общей картины построения таблицы [12].

В период 1940–1949 гг. группа ученых из США под руководством Э. Макмиллана и Г. Сиборга синтезировала и выделила из природных руд трансураниевые элементы. Но где их размещать в периодической таблице? В 1945 г. Г. Сиборг предложил в свою периодическую таблицу идею включения новых элементов подобно «редким землям». В клетку актиния поместил все новые элементы, а их ряд из 14 элементов – под таблицей. Там же имеются новые клетки для будущих элементов с  $Z = 104–168$  (рис. 4).

В последние 17 лет были созданы компьютерные базы данных в табличном и графическом представлении. Наиболее известные из них: зарубежные ASD NIST (США), NIFS AMDIS (Япония), VALD (Австрия) и отечественные СPECTR-W3 (Снежинск), ЭСА (Новосибирск).

За 150 лет существования Периодическая таблица постоянно развивалась и совершенствовалась (рис. 5). Только за последние 60 лет ученые, инженеры и техники в области физики и химии разработали и выполнили эксперименты с тяжелыми элементами  $Z = 104–118$  [13; 14]. Однако при продвижении исследований в область тяжелых ядер появилось много трудностей. Главные из них – резкое уменьшение времени жизни и вероятности их образования. Поэтому для этих элементов данные полностью не исследованы. Но, тем не менее, получены скудные, но очень ценные результаты. Такие данные утверждены международными союзами физиков (IUPAP) и химиков (IUPAC). Дальнейшие исследования окончательно определяют место этих элементов в Периодической таблице.

2019 год – юбилейный Менделеевский год. Он объявлен ООН и ЮНЕСКО Международным годом Периодической таблицы. За это время человечество не забыло великого ученого. В его честь назван 101-й элемент, синтезированный американцами в 1955 г. В 1962 г. АН СССР учредила премию и Золотую медаль за лучшие работы по химии. Прошедший в сентябре XXI съезд Менделеева по общей и прикладной химии [15] с большим интересом воспринял доклад автора 118-го элемента Ю. Оганесяна. Сегодня 118-й элемент завершает построение VII ряда Периодической таблицы. Однако Вселенная состоит из многих элементов, которые в данное время нам не доступны. Поэтому исследователи всех стран рассматривают только топологию ядер. «А таких известно около 3000, из них только 287 сохранились со времени образования Земли до наших дней», – сообщил автор.

И как здесь не вспомнить пророческие слова Д. Менделеева о том, что будущее не грозит периодическому закону разрушением, а обещает только надстройку и развитие.

И в заключение хочу поблагодарить сотрудника ИЯФа В. В. Пархомчука за полезные обсуждения по этой теме.

### Список литературы

1. **Асмус В. Ф.** Античная философия. М.: Вышш. шк., 1976.
2. **Диоген Лаэртский.** О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов. М., Мысль, 1979.
3. **Рабинович Е., Тило Э.** Периодическая система элементов: Пер. с нем. М.; Л., 1933.
4. **Щукарев С. А.** Сто лет периодического закона химических элементов. М.: Наука, 1971.
5. **Менделеев Д. И.** Соч.: В 25 т. М.: Химтеориздат, 1934. Т. 2.
6. **Рождественский Д. С.** Значение спектральных серий. Избранные труды. М.; Л.: Наука, 1964.
7. **Бор Н.** Три статьи о спектрах и строении атомов. М., 1923.
8. **Борн М.** Атомная физика: Пер. с англ. М.: Мир, 1965.
9. **Moore Ch.** Atomic Energy Levels. US, NBS, NSRDS-NBS 35. Washington, 1949–1958, vol. 1–3.
10. **Harrison G.** Wavelength Tables of 100.000 Spectrum Lines. New York, 1949.
11. **Grottrian W.** Graphische Darstellung der Spektren von Atomen und Ionen mit ein, zwei und drei Valenzelektronen. Berlin, Springer, 1928.
12. **Гольданский В. И.** Новые элементы в периодической системе Д. Менделеева. М.: Атомиздат, 1964.
13. **Oganessian Y.** Super Heavy Elements. *Nuclear Physics News*, 2019, vol. 29, p. 5–10.
14. **Eichler R.** The Periodic Table Elements. *Nuclear Physics News*, 2019, vol. 29, p. 11–15.
15. Тр. XXI Съезда Менделеева по общей и прикладной химии. СПб., 2019.

### References

1. **Asmus V. F.** Ancient philosophy. Moscow, Vysshaya Shkola, 1976. (in Russ.)
2. **Diogenes of Laertes.** About the life, teachings and sayings of famous philosophers. Moscow, 1979. (in Russ.)
3. **Rabinovich E., Tilo E.** Periodic system of elements. Moscow, Leningrad, 1933. (in Russ.)
4. **Shchukarev S. A.** One hundred years of the periodic law of chemical elements. Moscow, Nauka, 1971. (in Russ.)
5. **Mendeleev D. I.** Works. In 25 vols. Moscow, Khimteorizdat, 1934, vol. 2. (in Russ.)
6. **Rozhdestvenskiy D. S.** Value of spectral series. Selected works. Moscow, Leningrad, Nauka, 1964. (in Russ.)
7. **Bohr N.** Drei Aufsätze über Spektren und Atombau. Braunschweig, 1923.
8. **Born N.** Atomic Physics. London, Glasgow, 1963.
9. **Moore Ch.** Atomic Energy Levels. US, NBS, NSRDS-NBS 35. Washington, 1949–1958, vol. 1–3.
10. **Harrison G.** Wavelength Tables of 100.000 Spectrum Lines. New York, 1949.
11. **Grottrian W.** Graphische Darstellung der Spektren von Atomen und Ionen mit ein, zwei und drei Valenzelektronen. Berlin, Springer, 1928.
12. **Goldanskiy V. Y.** New elements in the periodic Table of D. Mendeleev. Moscow, Atomizdat, 1964. (in Russ.)
13. **Oganessian Y.** Super Heavy Elements. *Nuclear Physics News*, 2019, vol. 29, p. 5–10.
14. **Eichler R.** The Periodic Table Elements. *Nuclear Physics News*, 2019, vol. 29, p. 11–15.
15. Proceedings of the 21<sup>st</sup> Mendeleev Congress on general and applied Chemistry. St. Petersburg, 2019. (in Russ.)

*Материал поступил в редколлегию  
Received  
16.01.2020*

---

**Сведения об авторе / Information about the Author**

**Яценко Алексей Степанович**, кандидат технических наук, ведущий инженер, Институт автоматизации и электротехники СО РАН (Новосибирск, Россия)

**Aleksey S. Yatsenko**, Candidate of Technical Science, leading engineer, Institute of Automation and Electrometry SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation)