



INTERNATIONAL YEAR OF THE PERIODIC TABLE OF CHEMICAL
ELEMENTS (IYPT 2019)



CENTENARY OF IUPAC (IUPAC 100)

**ПЕРИОДИЧНАТА ТАБЛИЦА
НА ХИМИЧНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ:
ИСТОРИЯ И СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ**

Иван Л. Дуков

Химикотехнологичен и металургичен университет

Резюме. Изследвани са историята и съвременното състояние на Периодичната таблица на химичните елементи. Менделеев, единствен от всички учени, работили по класификацията на химичните елементи, е имал смелостта да промени атомните маси на някои елементи, да предскаже съществуване на неоткрити елементи и да посочи свойствата им. По-късно Антониус ван ден Брук и Хенри Мозли намират, че химичните елементи са подредени в таблицата по нарастване на атомния им номер, а не по нарастване на атомната им маса, както е смятал Менделеев. Намирането на електронните конфигурации на атомите е дало възможност да бъде установено, че периодичното изменение на свойствата на химичните елементи се дължи на периодично изменение на електронните им конфигурации. Коментирана е и ролята на IUPAC за осъвременяване на Периодичната таблица.

Keywords: D. I. Mendeleev; new elements; periodic table; IUPAC

През 2019 г. се навършват 150 години от създаването на Периодичната таблица на химичните елементи от Д. И. Менделеев. Като отбелязва, че Периодичната таблица е едно от най-значимите постижения на науката, повлияло за развитието не само на химията, но и на други природни науки, 72-рата генерална асамблея на Обединените нации (21.12.2017 г.) е взела решение 2019 г. да бъде обявена за Международна година на Периодичната таблица на химичните елементи (IYPT 2019). Значението на Периодичната таблица проличава и от факта, че до средата на 1971 г. са публикувани близо 3600 монографии, книги, статии и други материали, свързани с Таблицата (Semishin, 1972). По настоящем те са много повече.

IYPT 2019 съвпада със 100-годишнината на Международния съюз по чиста и приложна химия (IUPAC 100), който, като глобална организация, има важна роля за приемане и утвърждаване на понятия, наименования и символи, свързани с Периодичната таблица. Настоящата публикация е посветена на тези две събития.

Менделеев е публикувал първия вариант на своята таблица като отделен отпечатък на 01.03.1869 г. (нов стил). Малко известен факт е, че Таблицата е отпечатана в два варианта (руски и френски) и е изпратена на руски и чуждестранни учени (фиг. 1). Менделеев е използвал термина „периодична система“, но в много страни е популярен терминът „периодична таблица“. В своята книга Ерик Сцери (Scerri, 2007) коментира разликата между тези термини. Според него терминът „периодична система“ е по-общ и показва, че съществува фундаментална връзка между елементите, която може да бъде представена в различни форми, докато терминът „периодична таблица“ е свързан само с димерното представяне на тази връзка. Първият вариант на Периодичната таблица включва 63 елемента, подредени по нарастване на атомните им маси в хоризонтална и вертикална посока. Сходните елементи са разположени в 19 хоризонтални реда, които съответстват на групите в съвременната Периодична таблица. Таблицата съдържа 6 вертикални реда, в които могат да бъдат забелязани бъдещите периоди. Те обединяват несходни елементи с различен характер.

Две седмици по-късно Менделеев е представил в Руското химическо дружество статия, озаглавена „Соотношение свойств с атомным весом элементов“. Статията е докладвана от редактора на списанието „Журнал русского химического общества“ Н. А. Меншуткин, тъй като Менделеев е бил възпрепятстван да присъства. При създаването на първия вариант на Таблицата през 1869 г. Менделеев е оставил празни места за 4 неоткрити елемента с атомни маси 45, 68, 70 и 180. Освен това той е приел, че атомната маса на Be е 9,4, а не 13,5 и мястото му е във втора група, а не в трета група. Макар Менделеев да е смятал, че атомната маса определя свойствата на елемента, той е отдавал важно значение и на химичните свойства. По тази причина той е поста-

вил елементи с по-голяма атомна маса пред елементи с по-малка атомна маса (Со пред Ni и Те пред I). Лесно е да се забележи, че вариантът има и някои несъвършенства. Например живакът е поставен в групата на медта, уранът и златото – в групата на алуминия, оловото – в групата на алкалоземните метали (Semishin., 1972).

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,			
ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСЪ 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	Ra= 104,4	Ir= 198.
	Ni= Co= 59	Pl= 106,6	Os= 199.
H= 1	Cu= 63,4	Ag= 108	Hg= 200.
Be= 9,4	Mg= 24	Zn= 65,2	Cd= 112
B= 11	Al= 27,4	?= 68	Cr= 116
C= 12	Si= 28	?= 70	Sn= 118
N= 14	P= 31	As= 75	Sb= 122
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?

Д. Менделѣевъ.

ESSAI D'UNE SYSTÈME DES ÉLÉMENTS			
D'APRÈS LEURS POIDS ATOMIQUES ET FONCTIONS CHIMIQUES,			
par D. Mendeleeff,			
profess. de l'Univers. à S-Petersbourg.			
	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=Co=59	Pl=106,6	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	Cr=116
			Au=197?
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?

18^{III} 69

Фигура 1. Първи вариант на Периодичната таблица на Менделеев (френски-ият вариант е публикуван в книгата на Кедров (Kedrov, 1977, фотокопие II)

През 1871 г. Менделеев е създал нов вариант на Таблицата, в който елементите са разположени в 8 групи, както в съвременните варианти (фиг. 2). Всяка група е разделена на главна и допълнителна група (наименованието е предложено от Лотар Майер). Този вариант е включен в статията му „Периодическая законность химических элементов“ и във второто издание на известния учебник на Менделеев „Основы химии“. В статията Менделеев дава разширена формулировка на Периодичния закон: *Свойства на елементите, както и своята на образуваните от тях прости и сложни тела, са в периодична зависимост от атомната им маса*“ (Makarenya & Rysev, 1977; Semishin, 1972).

Ред	Група I R ₂ O	Група II RO	Група III R ₂ O ₃	Група IV RH ₄ RO ₂	Група V RH ₅ R ₂ O ₅	Група VI RH ₂ RO ₃	Група VII RH R ₂ O ₇	Група 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
5	(Cu = 63)	Zn = 65	— = 68	— = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	Ni = 59 Cu = 63
6	Rb = 85	Sr = 87	?Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	— = 100	Ru = 104 Rh = 104
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	I = 127	Pd = 106 Ag = 108
8	Cs = 133	Ba = 137	?Di = 138	?Ce = 140	—	—	—	—
9	(—)	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	?Er = 178	?La = 180	Ta = 182	W = 184	—	Os = 195 Ir = 197
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	—	—	Pt = 198 Au = 199
12	—	—	—	Th = 231	—	U = 240	—	— — — —

Фигура 2. Периодична таблица на Менделеев от 1871 г.

През 1871 г. Менделеев е описал подробно свойствата на три от предсказаните от него елементи. Той е определил, че тези елементи са аналози на бора, алуминия и силиция, и ги е нарекъл екабор, екаалуминий и екасилиций. Представката „ека“ е заимствана от санскритски език и означава „един и същ, аналог“. При съставяне на Таблицата Менделеев забелязал, че периодично изменение на свойствата на химичните елементи може да бъде проследено в хоризонтална, вертикална и диагонална посока. Според него свойствата на неизвестния елемент представляват средно аритметично от свойствата на заобикалящите го елементи, но прогнози не могат да бъдат правени за елементи, които се намират в крайните части на Таблицата (Ketrov, 1977). Освен горните три елемента Менделеев е предсказал съществуването на още 8 неоткрити елемента: екацезий, екабарий, екалантан, екатантал, екателур, екаманган, двиманган, екайод, но е имал увереност, че екаборът, екаалуминият и екасилицият могат да бъдат открити в скоро време.

В Таблицата Менделеев е коригирал атомните маси на 28 от известните по това време химични елементи. Данни за атомните маси на 6 елемента от 1869 г., коригираните атомни маси от 1871 г. и атомните маси от 1971 г. са дадени по-долу.

Таблица 1. Стойности на атомните маси на някои елементи, коригирани от Менделеев (Макареня, Рысев, 1977: 85)

Елемент	1869 г.	1871г.	1971г.
Ербий	56	170	167,26
Итрий	60	89	89,91
Церий	92	140	140,12
Торий	118	231	232,03
Осмий	199	193	190,2
Иридий	198	195	192,22

Данните в таблиците показват, че корекциите са много близо до стойностите на атомните маси, установени 100 години по-късно (1971 г.). Трябва да бъде посочено и това, че не всички прогнози на Менделеев са били точни. Според Сцери (Scerri, 2007) само около 50% от прогнозите на Менделеев са били потвърдени.

Най-голямо потвърждение на идеите на Менделеев е било откриването на аналозите на бора, алуминия и силиция, чиито свойства той описал подробно. През 1875 г. френският химик Льокок дьо Боабодран (Lecoq de Boisbaudran), след като преработил 52 kg цинкова руда, е открил при спектрален анализ няколко неизвестни преди това линии, но не е успял да изолира новия елемент. За изолирането му е било необходимо Боабодран да преработи няколкостотин килограма от същата руда, при което е получил около 1 грам от елемента. Той му е дал името галий (Галия е латинското име на Франция). След като научил за откритието му, Менделеев посочил, че това е предсказанието от него екаалуминий. Съвпадението на свойствата на галия с предсказаните от Менделеев свойства на екаалуминия показало, че наистина става дума за един и същ елемент. Интересен факт е, че първоначално Боабодран определил неточно плътността на галия ($4,7 \text{ g/cm}^3$) и едва след намесата на Менделеев, който посочил, че истинската плътност на елемента трябва да бъде равна на $5,9 - 6,0 \text{ g/cm}^3$ и че неточността вероятно се дължи на недобре пречистен образец, грешката била поправена и било установено, че плътността на галия е $5,904 \text{ g/cm}^3$.

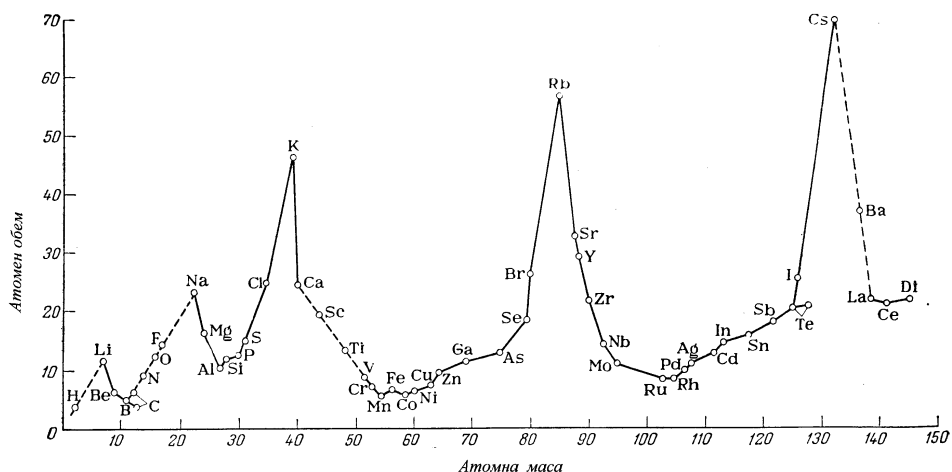
Аналогични резултати били получени и след откриването на скандий от Ларс Фредерик Нилсон (Lars Frederic Nilson) през 1879 г. и на германий от Клеменс Винклер (Clemens Winkler) през 1886 г., които били предсказани като екабор и екасилиций. На таблица 2 са посочени предсказаните от Менделеев свойства на екасилиция и свойствата на германия, определени от неговия откривател. Таблицата показва много доброто съвпадение на тези свойства.

С откриването на предсказаните от Менделеев елементи отпаднали всички съмнения за целесъобразността на Периодичната таблица. Голямата заслуга на Менделеев е, че той е повярвал, че може да създаде периодична таблица, чрез която да систематизира свойствата на химичните елементи. Успял е от невинаги точните по това време данни да избере тези, които да му позволят да предскаже не само нови елементи, но и да определи техните химични и физични свойства. След като Таблицата на Менделеев получила признание, учебникът му „Основы химии“, включващ Таблицата, е бил преведен на основните европейски езици: немски – през 1890, английски – през 1891, и френски – 1895 г., но негови статии са били превеждани и по-рано.

Таблица 2. Сравнение на свойствата на екасилиций и германий

Свойство	Екасилиций	Германий	
	(стойности, предсказани от Менделеев в 1871 г.)	стойности, намерени от Винклер в 1886 г.	стойности, приети понастоящем
атомна маса	72	72,32	72,59
плътност, g/cm ³	5,5	5,47	5,35
температура на топене	висока	–	947° C
моларен обем, cm ³ /mol	13	13,22	13,6
цвят	тъмносив	сивобял	сивобял
валентност	4	4	4
взаимодействие с киселини и основи	ще взаимодейства в неголяма степен с киселини като HCl, но няма да взаимодейства с NaOH	не взаимодейства с HCl и с разреден разтвор на NaOH, но се разтваря в конц. разтвор на NaOH	не се разтваря в HCl и разреден разтвор на NaOH, но се разтваря в конц. разтвор на NaOH
плътност на GeO ₂ , g/cm ³	4,7	4,703	4,228
плътност на GeCl ₄ , g/cm ³	1,9	1,887	1,8443
температура на кипене на GeCl ₄ , g/cm ³	100° C	86° C	84° C

Редица химици, като Йохан Дьоберайнер (Johann Döbereiner), Александър Емил Бегюе дьо Шанкуртуа (Alexandre Emile Beguyer De Chancourtois), Джон Нюландс (John Newlands), Уилям Одлинг (William Odling), Юлиус Лотар Майер (Julius Lothar Meyer) и др., са правили опити за класификация на химичните елементи въз основа на атомните им маси още преди Менделеев. Дьо Шанкуртуа, Нюланд, Одлинг са съставили таблици, които наподобяват таблицата на Менделеев. Най-близко до идеите на Менделеев е достигнал немският химик Лотар Майер. В статията си „Природата на химичните елементи като функция на атомната им маса“ (*Die Natur der chemischen Elements als Funktion ihrer Atomgewichte, Annalen der Chemie*, 7, 354–364 (1870); цитат по Scerri, p. 97), публикувана няколко месеца след първата статия на Менделеев за Периодичния закон, той достигнал до извода, че свойствата на елементите са периодична функция на атомните им маси. Периодичната зависимост проличава ясно на графиката, показваща зависимостта на атомните обеми от атомните маси на елементите (фиг. 3). Атомният обем се получава като отношение на атомната маса и плътността на елемента. Графиката се състои от няколко пика, завършващи с алкален метал. Всеки пик включва елементи, които понастоящем заемат един период в Периодичната таблица на елементите. Във всеки период, освен атомните обеми, стойностите и на други физични характеристики се изменят закономерно. Вторият и третият период в графиката на Майер дублирали октавите на Нюландс, но в следващите периоди броят на елементите бил по-голям от седем. Така станало ясно, че последните периоди включват повече елементи от първите и че законът за октавите не е в сила при всички елементи.



Фигура 3. Зависимост на атомните обеми на елементите от атомните им маси (графика на Л. Майер)

Независимо от постиженията на посочените по-горе химици никой от съвременниците на Менделеев, включително и Лотар Майер, не е имал смелостта да коригира атомни маси или да предскаже съществуването на неоткрити елементи. По повод на дискусиите за приоритет при създаване на Периодичната таблица трябва да бъде посочено, че Менделеев е работил по-упорито от всеки друг за създаването, пропагандирането и развитието на Таблицата. Освен нова след публикациите си другите изследователи (Дьо Шанкуртуа, Нюландс, Одлинг) са се ориентирали към други научни занимания и повече не са се занимавали сериозно с Периодичната таблица. Все пак през 1882 г. Кралското химическо дружество е наградило с най-високото си отличие – медала „Девин“, не само Менделеев, но и Лотар Майер като признание за заслугите му за утвърждаване на Периодичната таблица.

Наред с многото си достоинства Периодичната таблица имала и някои недостатъци. За да спазва една от основните си идеи, а именно в групите да се намират елементи с еднаква валентност, Менделеев трябвало да наруши на няколко места подреждането на елементите по нарастване на атомните им маси. Телурът, чиято атомна маса е 127,6, а валентността му е 2, е бил поставен пред йода, чиято атомна маса е 126,9 и валентността му е 1. Това е било направено с цел телурът да попадне в една група с елементи с валентност равна на 2, а йодът – в група с елементи, чиято валентност е единица. По същите съображения нарушение в подреждането на елементите било допуснато и при елементите Ar и K и Co и Ni.

Голямо предизвикателство за Периодичната таблица било откриването на аргона от Джон Уилям Рейли (John William Rayleigh) и Уилям Рамзи

(William Ramsay) през 1894 г. Оказало се, че аргонът е инертен и атомната му маса е 39,9, но за такъв елемент е нямало място в Таблицата. Първоначално Менделеев е смятал, че това се дължи на неточно определената атомна маса на елемента.

Две години по-късно Рамзи е открил хелий в минерала клеветит. (Първоначално хелият е открит в спектъра на Слънцето и затова е наименуван „хелиос“ – слънце.) След още няколко години били открити и други инертни газове: неон, криптон и ксенон. Тогава станало ясно, че тези елементи образуват самостоятелна група, съществуването на която не е било предвидено. Решение е намерено през 1900 г., когато Рамзи е предложил аргонът и аналозите му да бъдат разположени в Периодичната таблица като отделна (нулева) група между халогените и алкалните метали, тъй като проявяват нулева валентност. Менделеев е приел предложението и през 1902 г. е написал, че инертните газове са били „критичен тест“ за съществуването на Периодичната таблица. Новата група е придала завършен вид на Таблицата, тъй като е осигурявала плавно изменение на свойствата при преход от халогенния елемент на даден период към алкалния елемент на следващия период.

Последният елемент от групата – радон, е получен в чисто състояние от Рамзи през 1904 г. За изследванията си в областта на инертните газове Рамзи (химик) и лорд Рейли (физик) са получили Нобелова награда съответно по химия и физика за 1904 г.

Невъзможността да бъдат намерени места в Периодичната таблица на откритите в периода 1840 – 1907 г. лантаноиди, също било недостатък за системата. Те са четиринадесет, имат извънредно близки свойства и валентността им е равна на три. Поради това те би трябвало да бъдат поместени в една група на Периодичната таблица, но група, в която да бъдат включени 14 елемента, липсвала. От друга страна, атомните маси на лантаноидите се различават малко, което е характерно за елементите, заемащи даден период (атомните маси на елементите в групите се различават значително). По този признак те би трябвало да се намират в един период. Това би могло да бъде VI период, ако се допусне, че той включва по-голям брой елементи от IV и V период, които пък са по-големи от II и III период. Поради голямата близост в свойствата на лантаноидите (с номера 57 – 71) за тях е била определена една клетка в Периодичната таблица – клетката на La (№ 57). Лантанът се приема за родоначалник на семейството на лантаноидите. Тъй като в една клетка не могат да бъдат поместени символите на всички лантаноиди, те са били поместени в отделен ред под Таблицата. Предложението е на чешкия химик Бохуслав Браунер (Bohuslav Brauner) в 1901 г. (Spicín, 1958).

Някои актиноиди са били открити, преди Менделеев да състави Периодичната таблица. Например уранът е открит през 1781 г., а торият – през 1828 г. Актиният е открит през 1899 г., а протактиният – през 1913 г., но по-

вечето от елементите на групата с номера 93 – 103 са синтезирани през 40-те и 50-те години на XX век. Въпросът за мястото на актиноидите с номера 89 – 103 в Периодичната таблица също не е могъл да бъде решен дълго време. Според Сиборг (Glenn Theodor Seaborg) – създател на актиноидната хипотеза, по аналогия с La, който се приема за родоначалник на лантаноидите, родоначалник на актиноидите е Ac. Според хипотезата Ac е аналог на La, Th – на Ce, Pa – на Pr, U – на Nd, и т.н. Последният член на актиноидното семейство е Lr (№103), който е аналог на Lu. Сиборг счита, че съществува сходство между много химични и физикохимични свойства на актиноидите и лантаноидите. Все пак в двата реда не се наблюдава абсолютно строго подобие поради това, че тривалентното състояние, което би трябвало да бъде характерно за актиноидите, изобщо липсва при Th и Pa и става най-устойчиво състояние за елементите след Am. В съответствие с идеите на Сиборг актиноидите също за разположени в една клетка – клетката на техния родоначалник Ac (№89), и както лантаноидите, са разположени в отделен ред под тях.

По времето на Менделеев не е могло да бъде намерено обяснение за голямото сходство в свойствата на лантаноидите. Това станало възможно едва през 20-те години на XX век, когато била създадена квантовата механика.

Наличието на изключения в Периодичния закон подсказвало, че периодичното изменение, в свойствата на елементите се дължи не на атомната им маса, а на някакво друго свойство на атомите, свързано с техния строеж. Най-голяма заслуга за решението на този въпрос имат Антониус ван ден Брук (Antonius van den Broek) и Хенри Мозли (Henry Moseley).

През 1911 г. Ван ден Брук, който бил юрист и се занимавал с наука като любител, изказал хипотезата, че броят на възможните елементи е равен на броя на възможните постоянни заряди от всеки знак в атома. В 1913 г. в един брой на списанието *Philosophical Magazine* са публикувани статиите на Нилс Бор и Ван ден Брук. По теоретичен път Бор е определил броя на електроните в атома, а в публикацията си Ван ден Брук е направил извод, че на всеки елемент съответства вътрешен заряд, равен на поредния му номер, т.е. на n -тия елемент съответстват n вътрешни заряда от всеки знак, понеже зарядите са цели единици, а не части от нея.

Хипотезата на Ван ден Брук била потвърдена експериментално от Хенри Мозли. Той се е занимавал с наука малко повече от 3 години, тъй като е загинал по време на Първата световна война. Мозли е доказал, че атомният номер на елементите е по-важна характеристика от атомната им маса и че в Периодичната таблица химичните елементи са подредени по нарастване на положителните заряди на атомните им ядра. Това се спазвало и за елементите Co и Ni, Te и I, Ag и K, които не били подредени по нарастване на атомните им маси. Те запазили местата, определени от Менделеев.

В резултат на изследванията на Мозли Периодичният закон получил нова формулировка: *Свойствата на химичните елементи и техните съединения са в периодична зависимост от техните поредни номера.*

Потвърдената от Мозли хипотеза на Ван ден Брук, че природната система на елементите е непрекъснат ред от нарастващи ядрени заряди и че всеки следващ елемент, чийто номер е по-голям с единица, увеличава положителния си заряд с единица, е позволила да бъдат определени местата на неоткрити елементи. Водородът има един положителен заряд в ядрото си, а хелият – два. Следователно между тях не може да бъде разположен друг елемент, но понеже Мо се различава от Ru с два заряда, между тях може да бъде разположен още един елемент. Мозли е определил атомните номера на елементите 43, 61, 72, 75, 85, 87 и 91, които не са били открити по това време. Те са били открити в продължение на около три десетилетия.

Квантовомеханичните представи са дали възможност да бъде установена електронната конфигурация на атомите. Станало ясно, че периодичното изменение на свойствата на химичните елементи се дължи на периодичното изменение на електронните конфигурации на атомите. С нарастване на заряда на атомните ядра се запълват с електрони енергетичните им слоеве. Слоевете могат да включват s-, p-, d- и f-подслоеве. S-подслой може да включва 1 или 2 електрона, p-подслой – от 1 до 6 електрона, d-подслой – от 1 до 10 електрона, и f-подслой – от 1 до 14 електрона. Прието е елементи, при които се запълва s-подслой, да се наричат s-елементи, а тези, при които се запълват p-, d- и f-подслой, да се наричат съответно p-, d- и f-елементи.

След създаването на Периодичната таблица били предложени стотици варианти с цел да бъде намерено по-добро решение на някои въпроси (разположение на водорода, благородните газове, лантаноидите и др.). По данни на Сцери (Scerri, 2007: 20) са публикувани повече от 700 версии на Таблицата. В продължение на дълги години най-популярни са били 8-груповият вариант, предложен от Менделеев, и 18-груповият вариант, също предложен от Менделеев и усъвършенстван от А. Вернер. Те са нагледни и удобни за използване. И двата варианта на Периодичната таблица са изградени от периоди и групи.

Периодът е хоризонтален ред от елементи, чиито химични свойства се изменят закономерно с изменение на поредния номер. Всеки период, с изключение на първия, започва с алкален метал и завършва с благороден газ. В периодите се забелязва постепенно отслабване на металните и засилване на неметалните свойства. Благородните газове разделят типичните неметали от типичните метали. Известните досега химични елементи запълват седем периода.

Групата е вертикален ред от елементи със сходни свойства. Общите свойства на елементите в групите са резултат от еднаквата конфигурация

на външния електронен слой при различни стойности на главното квантово число. Броят на групите в двата варианта на Периодичната система е различен.

8-груповият вариант се базира на II и III период на Таблицата, в които са включени по 8 елемента (фиг. 4). Вариантът се състои от 8 групи.

В първи период са включени два елемента, във втори и трети – по осем, в четвърти и пети – по осемнадесет, и в шести и седми – по тридесет и два. Първите три периода се наричат малки и заемат по един ред в системата. Останалите периоди се наричат големи. Състоят се от два реда. В четвърти и пети период освен два s- и шест p-елемента са включени и по 10 d-елемента, а в шести и седми период – и по 14 f-елемента, образуващи семействата на лантаноидите и актиноидите. Лантаноидите и актиноидите заемат два реда под Таблицата.

Наличието на d- и f-елементи обуславя по-сложния начин на изменение на свойствата на елементите от големите периоди в сравнение със свойствата на елементите от втори и трети период.

Всяка от групите на този вариант се състои от две подгрупи: главна и вторична. До 1962 г. He, Ne, Ar, Kr, Xe и Rn са били наричани инертни газове и са били включени в нулевата група на Периодичната система, понеже техни съединения не са били познати и се е приемало, че те проявяват само нулева валентност. В VIII група на системата са били включени триадите на Fe, Ru и Os. След като са били синтезирани съединения на Kr, Xe и Rn, включително и в VIII степен на окисление, по предложение на IUPAC те получават название „благородни газове“. Решено е те да бъдат включени в главната подгрупа на VIII група, а трите триади (Fe, Co, Ni; Ru, Rh, Pd; Os, Ir, Pt) да образуват вторичната подгрупа. Групите се обозначават с римски цифри, като за главните групи към римската цифра се добавя буква „А“, а за вторичните – буква „Б“.

Недостатък на варианта е, че в някои групи елементите от главната и вторичната подгрупа се различават по свойствата си. Например в седма група Mn, Tc и Re се различават от халогенните елементи, а в шеста група Cr, Mo и W – от халкогенните елементи. Недостатък на този вариант е и особената структура на осма група.

18-груповият вариант се базира на IV и V период на Периодичната таблица, включващи по 18 елемента. Този вариант е по-малко компактен от късопериодния, но в него групите на s-, p-, d- и f-елементите са ясно очертани. Групите отново са били номерирани с римски цифри от I до VIII, но в Съединените щати и Европа групите на s-, p-, d-елементите са отбелязвани по различен начин с букви „А“ и „Б“. Поради това през 1988 г. IUPAC препоръча да бъде изоставено делението на групите в Периодичната таблица на „А“ и „Б“. В новия вариант групите са номерирани с арабски цифри от 1 до 18. Група 1 и 2 включват s-елементите, групите от 3 до 12 – d-елементите, и групите от

13 до 18 – р-елементите. Лантаноидите и актиноидите, които са f-елементи, заемат по 14 неномерирани клетки.

В разглеждания вариант всички 22 неметала заемат горната дясна част на системата. Те са р-елементи, с изключение на водорода и хелия, които са s-елементи. Металите заемат останалата част от Таблицата. Метали са всички s-, d- и f-елементи и част от р-елементите.

В продължение на няколко десетилетия IUPAC положи значителни усилия за утвърждаване и осъвременяване на Периодичната таблица. Последният, най-пълен вариант, на Периодичната таблица включва всички 32 елемента от VII период на Таблицата (фиг. 5). Получаването на последните елементи от периода с номера 113, 115, 117 и 118, след представяне на необходимите доказателства, беше утвърдено въз основа на доклад на обединена работна група от експерти на IUPAC и IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) на 28.11.2016 г. Наименованията и символите на елементите са съобразени с критериите на IUPAC (Koppenol, 2002; Koppenol et al., 2016; Öhrström & Reedijk, 2016). Подробно описание на процедурите, включващо приемане на доказателства, признаване на приоритет, предлагане и утвърждаване на имена и символи на елементи 113, 115, 117 и 118, е дадено в публикация на Dukov (2017).

В разглеждания вариант всички 22 неметала заемат горната дясна част на системата. Те са р-елементи, с изключение на водорода и хелия, които са s-елементи. Металите заемат останалата част от Таблицата. Метали са всички s-, d- и f-елементи и част от р-елементите.

Последният, най-пълен вариант, на Периодичната таблица е от 28.11.2016 г. и включва всички 32 елемента от VII период на Таблицата (фиг. 5). Получаването на последните елементи от периода с номера 113, 115, 117 и 118, след представяне на необходимите доказателства, е утвърдено въз основа на доклад на обединена работна група от експерти на IUPAC и IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics). Наименованията и символите на елементите са съобразени с критериите на IUPAC (Koppenol, 2002; Koppenol et al., 2016; Öhrström & Reedijk, 2016). Подробно описание на процедурите, включващо приемане на доказателства, признаване на приоритет, предлагане и утвърждаване на имена и символи на елементи 113, 115, 117 и 118, е дадено в публикация на Дуков (2017).

7s-подслоят на VII период включва елементите с номера 87 и 88 (Fr и Ra). При елемент 89 (Ac) се появява първият електрон на 6d-поднивото, а при следващите елементи с номера 90 – 103 (Th - Lr) се запълва 5f-подслоят. Торият с конфигурация на последния електронен слой $6d^2 7s^2$ би трябвало да бъде причислен към d-елементите, но трябва да се има предвид, че 5f- и 6d-подслоевите имат близки енергии и преход на електрони между тях се осъществява лесно. Аналогията в химичните свойства на актиноидите и лантаноидите про-

личава едва след Am (№ 95). След запълване на 5f-подслоя при елементите с номера 104 – 112 (Rf – Cn) продължава запълването на 6d-подслоя, поради което те са аналози на елементите от № 72 (Hf) до № 80 (Hg).

период	ГРУПИ																VIII		Б	
	A I Б	A II Б	A III Б	A IV Б	A V Б	A VI Б	A VII Б	A	B	A	B	A	B	A	B					
1	H 1 1.00794 ВОДОРОД 1s ¹																He 2 4.00260 ГЕЛИЙ 1s ²		АТОМНА МАССА АТОМЕН НОМЕР U 238.028 92 УРАН разпределение на електроните в последните заети състояния	
2	Li 3 6.941 ЛИТИЙ 2s ¹	Be 4 9.01218 БЕРИЛИЙ 2s ²	B 5 10.811 БОР 2s ² 2p ¹	C 6 12.011 ВЪГЛЕРОД 2s ² 2p ²	N 7 14.0067 АЗОТ 2s ² 2p ³	O 8 15.9994 КИСЛОРОД 2s ² 2p ⁴	F 9 18.9984 ФЛУОР 2s ² 2p ⁵	Ne 10 20.179 НЕОН 2s ² 2p ⁶												
3	Na 11 22.98977 НАТРИЙ 3s ¹	Mg 12 24.305 МАГНЕЗИЙ 3s ²	Al 13 26.9815 АЛУМИНИЙ 3s ² 3p ¹	Si 14 28.085 СИЛИЦИЙ 3s ² 3p ²	P 15 30.97376 ФОСФОР 3s ² 3p ³	S 16 32.06 СЕРА 3s ² 3p ⁴	Cl 17 35.453 ХЛОР 3s ² 3p ⁵	Ar 18 39.948 АРГОН 3s ² 3p ⁶												
4	K 19 39.0983 КАЛИЙ 4s ¹	Ca 20 40.078 КАЛЦИЙ 4s ²	Sc 21 44.9559 СКАНДИЙ 3d ¹ 4s ²	Ti 22 47.88 ТИТАН 3d ² 4s ²	V 23 50.9415 ВАНАДИЙ 3d ³ 4s ²	Cr 24 51.9961 ХРОМ 3d ⁵ 4s ¹	Mn 25 54.938 МАГНАН 3d ⁵ 4s ²	Fe 26 55.847 ЖЕЛЕЗО 3d ⁶ 4s ²	Co 27 58.932 КОБАЛТ 3d ⁷ 4s ²	Ni 28 58.69 НИКЕЛ 3d ⁸ 4s ²										
5	Rb 37 85.468 РУБИДИЙ 5s ¹	Sr 38 87.62 СТРОНЦИЙ 5s ²	Y 39 88.9059 ИТРИЙ 4d ¹ 5s ²	Zr 40 91.224 ЦИРКОНИЙ 4d ² 5s ²	Nb 41 92.906 НИОБИЙ 4d ⁴ 5s ¹	Mo 42 95.94 МОЛИБДЕЙ 4d ⁵ 5s ¹	Tc 43 97.907 ТЕХНЕЦИЙ 4d ⁵ 5s ²	Ru 44 101.07 РУТЕНИЙ 4d ⁷ 5s ¹	Rh 45 102.905 РОДИЙ 4d ⁸ 5s ¹	Pd 46 106.42 ПАЛАДИЙ 4d ¹⁰ 5s ⁰										
6	Cs 55 132.905 ЦЕЗИЙ 6s ¹	Ba 56 137.327 БАРИЙ 6s ²	La 57 138.905 ЛАНТАН 5d ¹ 6s ²	Hf 72 178.49 ГАФНИЙ 5d ² 6s ²	Ta 73 180.947 ТАНАЛ 5d ³ 6s ²	W 74 183.85 ВОЛФРАМ 5d ⁴ 6s ²	Re 75 186.207 РЕНИЙ 5d ⁵ 6s ²	Os 76 190.23 ОСМИЙ 5d ⁶ 6s ²	Ir 77 192.22 ИРИДИЙ 5d ⁷ 6s ²	Pt 78 195.08 ПЛАТИНА 5d ⁹ 6s ¹										
7	Fr 87 223.021 ФРАНЦИЙ 7s ¹	Ra 88 226.025 РАДИЙ 7s ²	Ac 89 227.033 АКТИНИЙ 6d ¹ 7s ²	Rf 104 261.101 РУФОРДОВИЙ 6d ² 7s ²	Db 105 261.101 ДУБИНИЙ 6d ³ 7s ²	Sg 106 266.118 СЕБЕРГОВИЙ 6d ⁴ 7s ²	Bh 107 264.118 БОРХОВИЙ 6d ⁵ 7s ²	Hs 108 261.101 ХЕСИЙ 6d ⁶ 7s ²	Mt 109 269.101 МАЙТЕНЕРИЙ 6d ⁷ 7s ²											
* ЛАНТАНИДИ																				
Ce 58 140.12 ЦЕРИЙ 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	Pr 59 140.907 ПРАЗЕОДИЙ 4f ² 5d ¹ 6s ²	Nd 60 144.24 НЕОДИМ 4f ³ 5d ¹ 6s ²	Pm 61 144.912 ПРОМЕТИЙ 4f ⁴ 5d ¹ 6s ²	Sm 62 150.36 САМАРИЙ 4f ⁵ 5d ¹ 6s ²	Eu 63 151.96 ЕВРОПИЙ 4f ⁶ 5d ¹ 6s ²	Gd 64 157.25 ГАДОЛИНИЙ 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	Tb 65 158.925 ТЕРБИЙ 4f ⁹ 5d ¹ 6s ²	Dy 66 162.50 ДИСПРОСИЙ 4f ¹⁰ 5d ¹ 6s ²	Ho 67 164.930 ГОЛМИЙ 4f ¹¹ 5d ¹ 6s ²	Er 68 167.26 ЕРЕНИЙ 4f ¹² 5d ¹ 6s ²	Tm 69 168.934 ТУЛЗИЙ 4f ¹³ 5d ¹ 6s ²	Yb 70 173.04 ИТЕРБИЙ 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	Lu 71 174.967 ЛУТЕЦИЙ 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²							
** АКТИНИДИ																				
Th 90 232.0381 ТОРИЙ 6d ² 7s ²	Pa 91 231.0369 ПРОТАКТИНИЙ 5f ² 6d ¹ 7s ²	U 92 238.0289 УРАН 5f ³ 6d ¹ 7s ²	Np 93 237.0481 НЕПУТНИЙ 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	Pu 94 244.0642 ПЛУТОНИЙ 5f ⁶ 6d ¹ 7s ²	Am 95 243.0614 АМЕРИЦИЙ 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	Cm 96 247.0703 КУРИЙ 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	Bk 97 247.0703 БЕРКЛИЙ 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	Cf 98 251.0776 КАЛИФОРНИЙ 5f ¹⁰ 6d ¹ 7s ²	Es 99 252.0829 АЙНШТЕЙНОВИЙ 5f ¹¹ 6d ¹ 7s ²	Fm 100 257.0951 ФЕРМИЙ 5f ¹² 6d ¹ 7s ²	Md 101 288.086 МЕНДЕЛЕВИЙ 5f ¹³ 6d ¹ 7s ²	(No) 102 259.1009 (НОБЕЛИЙ) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	(Lr) 103 260.104 ЛЮТЕНЦИЙ 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²							

Фигура 4. 8-групов вариант на Периодичната таблица

При елементите с номера 113 – 118 (Nh, Fl, Mc, Lv, Ts, Og) се запълва 7p-подслоят. Елементът № 118 е благороден газ, аналог на Rn.

За първи път, откакто съществува Периодичната таблица, всички елементи от първи до седми период включително, имат утвърдени имена.

Включените в VII период на Таблицата свръхтежки елементи (трансактиноиди) 104 – 118 са получени чрез бомбардиране на подходящи мишени с тежки йони. Реакциите протичат с малка скорост. Получаването им се доказва трудно поради малките им периоди на полуразпад и наличие на странични продукти, получавани при ядрените реакции. Влияние върху свойствата на свръхтежките елементи оказват релативистичните ефекти. В резултат на спин-орбитално разцепване 7s-електронната двойка е много инертна и не участва в образуване на химични връзки, а 7p-подслоят се разцепва на една орбитала с

по-малка енергия и две орбитали с по-голяма енергия. Изчисления са показали, че при наличие на два електрона на 7p-орбиталите те заемат орбиталата с по-малка енергия и имат антипаралелни спинове, т.е. правилото на Хунд не се спазва. Тези електрони също проявяват малка склонност да образуват химични връзки. 6d-подслоят също се разцепва на две орбитали с по-малка енергия и три – с по-голяма енергия. Установено е, че релативистичната стабилизация на ns-орбиталите има максимум при елемент 112 (коперниций, Cn). Релативистичната дестабилизация на орбиталите от 6d-подслоя и стабилизацията на 7s-орбиталата причинява инверсия на енергията на 7s и трите 6d-орбитали с по-голяма енергия на Cn. Поради това най-малка йонизационна енергия имат тези три 6d-орбитали, а не 7s-орбиталата, както е при Hg.

IUPAC Periodic Table of the Elements

Key:
 atomic number
 Symbol
 Name
 standard atomic weight
 standard atomic weight

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

For notes and updates to this table, see www.iupac.org. This version is dated 28 November 2016.
 Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.

Фигура 5. Периодична таблица на елементите на IUPAC, включваща имена и символи на 118 химични елемента

При свръхтежките елементи енергията на спин-орбиталното разцепване е сравнима или даже по-голяма от типичната енергия на химичната връзка (Pershina, 2009). Поради влиянието на релативистичните ефекти свойствата на свръхтежките елементи не могат да бъдат изцяло предсказани от мястото им в групите на Периодичната таблица. Възможна е разлика в свойствата на тези елементи от свойствата на по-леките им аналози в групите. Изчисления са показали, че свръхтежките елементи е възможно да проявяват и някои необичайни степени на окисление, различни от степените на окисление на по-леките аналози (Schädel, 2015). Все пак проведени експерименти и предска-

зани въз основа на изчисления свойства на елементи 104 – 118 показват, че те трябва да бъдат разположени в групи 4 – 18 на Периодичната таблица, както е показано на фиг. 5, т.е. Таблицата остава подходяща схема за обяснение на свойствата и на свръхтежките елементи.

Бъдещето на Периодичната таблица е свързано със синтеза на нови елементи. От елемент № 119 трябва да започне изграждане на нов период (VIII) на Таблицата. Елементите с номера 119, 120 и 121 с конфигурации съответно $8s^1$, $8s^2$ и $8s^27d^1$ ще попаднат в 1, 2 и 3 група. Следователно с елемент № 121 започва изграждане на нова серия преходни елементи. Квантовомеханични пресмятания са показали, че при следващите елементи ще се осъществява смесено запълване на 7d-, 6f- и 5g-подслоя. Енергетичната разлика между тези подслоеве е малка, поради което би трябвало химията на тези елементи да бъде по-сложна и разнообразна от химията на техните по-леки аналози. При елемент № 153 (конфигурация $6f^{14}5g^{18}$) 6f- и 5g-подслой ще бъдат запълнени (5g-подслоят включва 18 електрона), а при елементите с номера 154 – 162 – и 7d-подслоят. При последните елементи от периода (№ 163 – № 168) ще бъде запълнен и 8p-подслоят. Следователно последният елемент от периода (№ 168) ще има електронна конфигурация $5g^{18}6f^{14}7d^{10}8s^28p^6$, т. е. VIII период ще включва 50 елемента. Тези разглеждания са резултат от квантовомеханични изчисления. Неотдавна беше отпечатана публикация (Roberto & Rykaczewski, 2017), чиито автори смятат, че при определени условия би могъл да бъде осъществен синтезът на елементи 119, 120 и 121. Елементи 119 и 120 биха могли да бъдат получени при бомбардиране на мишени от ^{249}Bk или ^{249}Cf с ^{50}Ti , а елемент 121 – при реакция на ^{254}Es с ^{50}Ti . Не е ясно докъде може да бъде разширена горната граница на Таблицата, тъй като съществуват много проблеми.

В последните години дейността на IUPAC е свързана с осъвременяването на Периодичната таблица. По-важни приноси са¹⁾: (а) критерии за откритие на нов елемент – IUPAC и IUPAP създадоха на критерии, които трябва да бъдат изпълнени, за да бъде признато откритието на нов елемент; (б) временни имена и символи – създадена е систематична номенклатура за временни имена и символи на елементи, за които има съобщение, че са открити, но откритието още не е признато; (в) оценка и утвърждаване на откритие на нов елемент – чрез технически доклади IUPAC и IUPAP преценяват доколко твърденията на научни лаборатории за откритие на нов елемент са в съответствие с приетите критерии; (г) наименоване на нов елемент – когато е признато откритие на нов елемент, лабораторията с приоритет се поканва да предложи име и символ на новия елемент, но крайното решение е на IUPAC. Името става официално след 5-месечен срок на публично обсъждане; (д) колективни имена на групи 1 – 18 – лантаноиди и актиноиди са колективни имена, препоръчани от IUPAC. Терминът лантаноиди (La – Lu) се предпочита пред лантаниди и макар че лантаноид означава „подобен на лантан“ и следователно групата не

би трябвало да включва La, лантанът е включен в групата на лантаноидите. Аналогично актиноидите включват елементите от Ac до Lr. Скандий, итрий и лантаноидите имат колективно име „редкоземни метали“.

Елементите от група 1, 2 и 13 – 18 се наричат елементи от главните групи на Таблицата. Първите два елемента от групи 1 – 17 се наричат типични елементи.

БЕЛЕЖКИ

1. <http://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>

REFERENCES / ЛИТЕРАТУРА

- Dukov, I. L. (2017). IUPAC approved permanent names of the chemical elements 113, 115, 117 and 118: the seventh period of the periodic table of the chemical elements is completed. *Chemistry*, 26, 519 – 525 [In Bulgarian].
- Kedrov, B. M. (1977). *Prognози D.I. Mendeleeva v atomistike: I – neizvestnyie elementi*. Moskva: Atomizdat [Кедров, Б. М. (1977). *Прогнозы Д. И. Менделеева в атомистике. I. Неизвестные элементы*. Москва: Атомиздат].
- Koppenol, W. H. (2002). Naming of new elements. *Pure Appl. Chem.*, 74, 787 – 791.
- Koppenol, W. H., Corish, J., Garsia-Martinez, J., Meija, J. & Reedijk, J. (2016). How to name new chemical elements. *Pure Appl. Chem.*, 88, 401 – 405.
- Makarenya, A. A. & Rysev, U. V. (1977). *D. I. Mendeleev*. Moskva: Prosveshtenie [Макареня, А. А. & Рысев, Ю. В. (1977). *Д. И. Менделеев*. Москва: Просвещение].
- Öhrström, L. & Reedijk, J. (2016). Names and symbols of the elements with atomic numbers 113, 115, 117 and 118. *Pure Appl. Chem.*, 88, 1225 – 1229.
- Pershina, V. (2009). Electronic structure and chemical properties of super-heavy elements. *Russ. Chem. Revs*, 78, 1153 – 1177.
- Roberto, J.B. & Rykasczewsky, K.P. (2018). Discovery of element 117: super-heavy elements and the “island of stability”. *Sep. Sci. & Tech.*, 53, 1813 – 1819.
- Scerri, E.R. (2007). *The periodic table: its story and its significance*. Oxford: Oxford University Press.
- Schädel, M. (2015). Chemistry of super-heavy elements. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 373. art. No. 20140191

- Semishin, V.I. (1972). *Periodicheskaia sistema khimicheskikh elementov D. I. Mendeleeva*. Moskwa: Khimiya [Семишин, В. И. (1972). *Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева*. Москва: Химия].
- Spicin, V.I. (1969). *Sovremennoe sostoianie periodicheskogo zakona D. I. Mendeleeva*. Moskwa: Izd. AN SSSR [Спыцин, В.И. (1959). *Современное состояние периодического закона Д. И. Менделеева*. Москва: Изд. АН СССР].

THE PERIODIC TABLE OF CHEMICAL ELEMENTS: ITS HISTORY AND ITS UP-TO-DATE STATUS

Abstract. The history and the up-to-date status of the periodic table of the chemical elements are both examined. Only Mendeleev has been able to predict existence of new elements as well as to determine their chemical and physical characteristics. Later Antonius van den Broek and Henry Moseley have found that the chemical elements have been arranged in the Periodic Table according to their atomic number, not to their atomic mass as was the Mendeleev's statement. The determination of the electronic configuration of the atoms has shown that the periodical change of the properties of the elements is due to the periodical change of their electronic configuration. The role of the IUPAC in the updating of the Periodic Table has been commented, as well.

✉ **Prof. Ivan L. Dukov, DSc.**

University of Chemical Technology and Metallurgy
1756 Sofia, Bulgaria
E-mail: idukov@abv.bg