

van Sironsen, J. V.

Открытие и значение периодической системы элементов

Organon 9, 243-259

1973

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Й. В. ван Спронсен (Голландия)

ОТКРЫТИЕ И ЗНАЧЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ

Факт, что периодическая система элементов была открыта 100 лет тому назад с одной стороны дает повод к ретроспективному взгляду на это открытие, с другой заставляет обратить внимание на его значение для химии на протяжении лет.

Открытие периодической системы элементов предшествовалось долгой историей, в то время как ее возникновение длилось едва десятилетие. Первый факт был вызван непрочностью химических теорий в области материи, а также разными интерпретациями химических вопросов. То, что с 1862 по 1870 г. независимо друг от друга были сделаны шесть открытий, частично объясняется недостаточными связями среди ученых и несовершенством распространения некоторых научных журналов, частично формой, в данном случае ясностью самых изданий. Химия стала научной дисциплиной в конце XVIII и начале XIX вв., несмотря на то, что Иммануэль Кант не хотел осознать это.

Будучи математиком он требовал применить математику в качестве дисциплины, признать её отраслью науки. Но как раз в его время случилось много блестящих примеров этого применения. Следует прежде всего назвать схемы арифметических и геометрических рядов Еремиаса Бенъямина Рихтера, кстати бывшего слушателя лекций Канта (ряды эти выражали отношения между количеством веса кислоты и его основанием в их общей реакции). В эти времена, а точнее говоря гораздо раньше, закон сохранения материи, законы Пруста и Дальтона — последний как результат его атомной теории — стали твердым доказательством, что математическая точность интерпретации химических экспериментов была не только желательным, но просто необходимым условием для объяснения химических процессов.

Многолетняя борьба между Прустом и Бертоллемом в связи с интерпретацией отношений веса реагирующих веществ и результатов реакции, а также в связи с существующим и несуществующим постоянным составом химических веществ, является схоластическим примером неполной точности. А эта точность как раз была необходимым условием для возникновения схемы перио-

дической системы элементов. Однако это не ведет к выводу, что периодическая система элементов опирается лишь на теоретические основы.

Возникновению ее содействовали результаты химических исследований, существенным фактором которых является атомный вес. Факта, что например Дальтон пришел к тому же выводу, исходя из своей теории атомного веса, нельзя считать решительным. Несколько ученых определяли атомный вес по своему и, независимо от теоретических рассуждений относительно связывания атомов в молекуле, достигли разных конечных результатов. Стоит отметить здесь первоначальную неизвестность гипотезы Авогадро, ее позднейшее отрицание и борьбу с ней.

На первом международном конгрессе в Карльсруэ в 1860 г. неопровержимо была доказана применимость гипотезы Авогадро. Одновременно были определены основные понятия теоретической химии как молекула, атом или валентность, а также такие понятия практической химии как атомный, эквивалентный и молекулярный веса при возможности недвуммысленного числового их определения. Открыли значительное число новых элементов, исследовали их свойства и тогда наступило время для открытия периодической системы элементов.

ПОДГОТОВКА ОТКРЫТИЯ

Прежде чем согласиться с разными аспектами открытия, следует подчеркнуть усилия исследователей описать связи между качественными свойствами химических элементов и их количественными описательными величинами.

Обобщая, начало возникновения первой системы элементов можно отнести к 1817 г. В этом году Деберейнер начертил первую триаду элементов с аналогичными свойствами (Ca, Sr, Ba), у которых атомный вес центрального элемента равен среднему арифметическому атомного веса обоих крайних элементов. Называя эту дату мы должны однако помнить, что вопрос классификации элементов был предметом исследований уже раньше, и что классификация химических соединений имела уже количественный характер.

Прежде, чем говорить о других результатах поисков триад и развитии рядов элементов, следует подвергнуть обсуждению разницу: „элемент — простая материя”. Поражает, что уже Деберейнер классифицировал не простые вещества, но элементы т. е. элементы в аналогичных соединениях, в случае первой триады оксиды кальция, стронция и бария. Известно было с самого начала, что химические свойства простых веществ лучше всего обнаруживаются в аналогичных соединениях, а еще лучше в случае недавно изолированных щелочных земель. Надо тоже отметить, что Деберейнер, как впрочем большинство ученых, немедленно пользовался результатами химических исследований других. Таким образом щелочные земли были открыты несколько лет раньше, а атомный вес определен в большем масштабе только в 1815 г.

Однако не назрело еще время для открытия триад, о чем свидетельствует факт, что никто из ученых не считал этого открытия полным и, что сам Де-

берейнер был в состоянии пополнить свое открытие только 12 лет спустя.

После нескольких попыток Леопольда Гмелина, между прочим в 1827 г. и 1843 г., в 1850 г. началось десятилетие быстро следующих друг за другом открытий. Надо назвать фамилии Петтенкофера, Гмелина, Кремерса, Гледстона, Кука, Ленссена, Дюсмаса и Одлинга. Двое последних — это ученые, заметившие связь между группами элементов с аналогичными общими свойствами. Это произошло в 1857 г. и в 1858 г.

Открытие настоящей периодической системы элементов имело место только в 1862 г., из-за отсутствия единомышля относительно так обязательного фактора, как атомный вес. Достоин внимания тоже факт, что первое совершил не химик, а минералог и геолог Бегье де Шанкуртуа, не принимавший участия в конгрессе в Карльсруэ. Взгляды трех следующих исследователей Одлинга, Мейера и Менделеева, несмотря на их участие в конгрессе, созрели только после 1860 г.

ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подлинную историю исследований периодической системы лучше всего рассматривать с помощью очередных таблиц.

Система Бегье де Шанкуртуа (рис. 1) — это в сущности графическое представление, в котором атомный вес элементов представлен при помощи так называемых характерных чисел, составляющих атомный вес, образцом которого является $(1/16)$ атомного веса кислорода или кратное этого числа. И так стало ясным, что элементы с аналогичными химическими свойствами и в числовом отношении соответствуют друг другу.

В верхней части так называемой *Vis tellurique* де Шанкуртуа видны первые члены нескольких групп элементов, что подтверждает вышеуказанное. Это: литий и натрий, бериллий (названный де Шанкуртуа глюкюмом) и магний, кислород и сера, и т. д. Элементы эти параллельны с ординатой графики. Однако большая группа элементов состоит больше чем из двух элементов, что видно из направленной вниз части *Vis tellurique*.

Факт, что не была представлена полная система, вызван печатно-техническими трудностями, повлиявшими на то, что система де Шанкуртуа не была помещена в его публикации в „*Comptes Rendus*”. Год спустя, в 1863 г. де Шанкуртуа издал брошюру, в которую включил разные формы своей системы. Так как автор системами пытался доставить все возможные сведения и поместил в них не только элементы, но и, например, радикалы, *Vis tellurique* в большой степени потеряла свою ясность.

Третью причину, почему система де Шанкуртуа не была отмечена современными учеными, можно разыскивать в области математики. Невозможно поместить атомный вес в несломные математические формулы, что необходимо при составлении графики, если хотим, чтобы группы аналогичных элементов в графике образовали легко узнаваемую группировку. Если даже на-

пример флуор и хлор, и бром и йод, как пара удовлетворяют это требование, четверка эта в *Vis tellurique* вовсе не создает единицу.

Во всяком случае мы должны признать первенство де Шанкуртуа в открытии периодической системы элементов и не сомневаться, что он сам верил в свою систему, хотя к ней болше не возвращался. Нельзя забывать, что де Шанкуртуа не был химиком и не мог, как позже Менделеев и Мейер, указать студентам на ее пользу для химии.

Таб. 1. „Law of octaves” Ньюлендса (1865 г.)

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co&Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt&Ir 50	
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Tl 53	
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 25	Sr 31	Cd 38	Ba&V 45	Pb 54	
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 24	Ce&La 33	U 40	Ta 46	Th 56	
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Hg 52	
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di&Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55	
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro&Ru 35	Te 43	Au 49	Os 51	

Нюлендс открыл периодическую систему в 1864 г. В этом году ему удалось включить в систему несколько связанных групп. В следующем году он смог классифицировать свыше 50 элементов в семи группах (таб. 1). В связи с повторением свойств после семи элементов он назвал свою систему „законом октав”. Нюлендс ввел тоже понятие атомного числа, назвал его порядковым числом и искал связь между этими числами и атомным весом элементов.

Таб. 2 Периодическая система Одингга (1864 г.)

				Ro 104	Pt 197
				Ru 104	Ir 197
				Pd 106,5	Os 199
H 1			Zn 65	Ag 108	Au 196,5
„			„	Cd 112	Hg 200
L 7			„	„	Tl 203
G 9			„	„	Pb 207
B 11	Al 27,5		„	U 120	„
C 12	Si 28		„	Sn 118	„
N 14	P 31	As 75		Sb 122	Bi 210
O 16	S 32	Se 79,5		Te 129	Pb
F 19	Cl 35,5	Br 80		I 127	„
Na 23	K 39	Rb 85		Cs 133	„
Mg 24	Ca 40	Sr 87,5		Ba 137	„
	Ti 50	Zr 89,5		Ta 138	Th 231,5
	„	Ce 92		„	
	Cr 52,5	Mo 96		{V 137	
	Mn 55			{W 184	
	Fe 56				
	Co 59				
	Ni 59				
	Cu 63,5				

Система Ньюлендса страдает и тем, что точно говоря, две группы элементов с аналогичными свойствами постоянно путаются. Это группы отдельных рядов — главного и подчиненного.

Только Одлинг был в состоянии разделить эти группы. Это состоялось уже в 1864 г. Замечательный результат, достигнутый этим ученым, представлен на следующих таблицах (таб. 2).

Теперь щелочные металлы отделены от металлов группы серебра, металлы щелочных земель от группы цинка и т. д., когда элементы классифицированы согласно атомному весу. Недостатки однако доказуемы. Таким образом были изолированы лютеций, а также медь, образуя переходную группу. Fe, Co, Ni, Ru, Pd, Pt, Ir, Os не создают единицу. Однако эта система, открытая когда-то Одлингом, в которой Мейер смог классифицировать по атомному весу только несвязные группы, а Менделеев не принялся еще за ее изучение, имела особенно большое значение.

Замечательно, что периодическая система была открыта в самых важных странах Европы: де Шанкуртуа — это француз, Ньюлендс и Одлинг — англичане, Мейер — немец, а Менделеев — русский. В Соединенных Штатах тоже были совершены самостоятельные открытия. В 1867 г. Гинрихс составил спиральную систему (рис. 2).

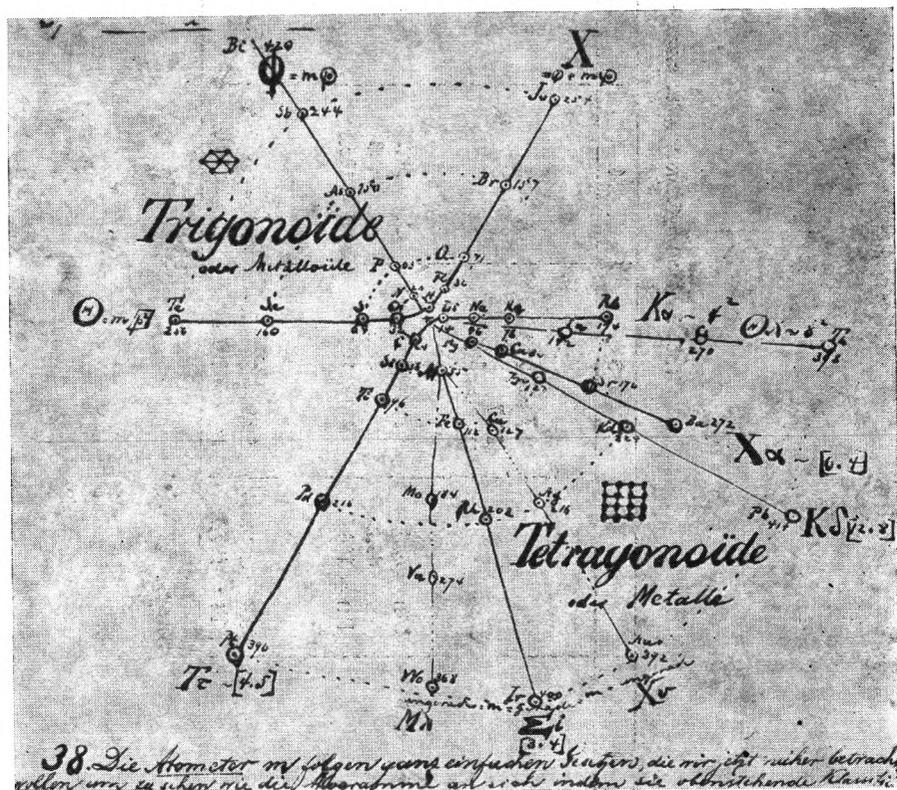


Рис. 2. Спиральная система Гинрихса (1867 г.)

Таб. 3 Не опубликованная система Мейера (1868 г.)

1	2	3	4	5	6	7	8
Cr = 52,6	Mn = 55,1 49,2 Ru = 104,3 92,8 = 2×46,4 Pt = 197,1	Al = 27,3 28,7 <u>2</u> = 14,3 Fe = 56,0 48,3 Rh = 104,3 92,8 = 2×46,4 Ir = 197,1	Al = 27,3 Co = 58,7 47,3 Pd = 106,0 93 = 2×46,5 Os = 199,0	Ni = 58,7	Cu = 63,5 44,4 Ag = 107,94 88,8 = 2×44,4 Au = 196,7	Zn = 65,0 46,9 Cd = 111,9 88,3 = 2×44,15 Hg = 200,2	C = 12,00 16,5 Si = 28,5 <u>89,1</u> <u>2</u> = 44,55 <u>89,1</u> <u>2</u> = 44,55 Sn = 117,6 89,4 = 2×44,7 Pb = 207,0

9	10	11	12	13	14	15
			Li = 7,03 16,02	Be = 9,3 14,7		
N = 14,04 16,96	O = 16,00 16,07	Fl = 19,00 16,46	Na = 23,05 16,08	Mg = 24,0 16,0		
P = 31,0 44,0	S = 32,07 46,7	Cl = 35,46 44,51	K = 39,13 46,3	Cu = 40,0 47,6	Ti = 48 42	Mo = 92 45
As = 75,0 45,6	Se = 78,8 49,5	Br = 79,97 46,8	Rb = 85,4 47,6	Sr = 87,6 49,5	Zr = 90 47,6	Vd = 137 47
Sb = 120,6	Te = 128,3	J = 126,8	Cs = 133,0	Ba = 137,1	Ta = 137,6	W = 184
87,4 = 2 × 43,7 Bi = 208,0			71 = 2 × 35,5 ?Tl = 204?			

Хотя этот американец, рожденный в Дании, подошел к химии с неоплатонической точки зрения (он опубликовал сначала статьи о регулярностях в расстояниях планет) и поддерживал атомную теорию, основную для объяснения весовых отношений, его система является результатом эмпирической комбинации достижимых числовых данных химических материалов.

В системе элементов, которую Гинрихс считал естественной классификацией, элементы действительно выступают согласно возрастающему атомному весу. Элементы с аналогичными химическими свойствами мы находим на радиусах. Бросается в глаза исключительное положение группы азота, помещенной между группой кислорода и галогенов.

Что еще касается этого открытия — то и Гинрихсу было суждено быть забытым, несмотря на то, что он много раз, но только в своих учебниках, указывал на эту систему.

Лотар Мейер открыл систему за год до Менделеева (таб. 3), но опубликовал свое открытие только в 1870 г., год позже, чем русский ученый. Случилось так потому, что Мейеру во время подготовки второго издания его книги „Die modernen Theorien der chemie” удалось поместить все элементы в одну систему. Мейер стремился к этому и, как Менделеев, хотел создать систему, соответствующую выводу к систематике химии. Второе издание было готово к печати в 1872 г., но тогда Мейер сделал уже свое открытие известным в мире.

Также и система Мейера содержит элементы главного и подчиненного рядов так, что следовало вместить в нее 17 групп. Система однако имеет только 15 групп, потому, что отсутствуют две группы с трехвалентными элементами, так как скандий и галлий не были еще открыты (нет тоже ванадия, а вместо этого группа хрома разделена на две части). Отсутствие других элементов было вызвано некоторыми пробелами, частично из-за неправильной интерпретации аналогии, что содействовало ошибочному распределению элементов.

Также Менделеев открыл свою систему эмпирически. Подтверждает это факт, что выписал он названия элементов на карточках и пробовал их логически приспособить. И здесь результатом исследования является система, в которой элементы выступают в зависимости от возрастающего атомного веса, и которая указывает группы элементов с аналогичными свойствами. Менделеев заметил в своей системе закон периодичности. Он испробовал многие периодические классификации, но больше всего подходила система с выступающими тремя периодичностями.

Несовершенство этой системы — результат выше приведенных фактов. Надо однако добавить, что кроме еще неоткрытых многих элементов, не все из известных были изучены в одинаковой степени.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ВЗГЛЯД НА ОТКРЫТИЕ

Желательно здесь подчеркнуть, что открытие системы элементов было совершено всеми шестью приведенными исследователями. Нельзя тоже соглашаться с Кедровым, или, между прочим с Лейцестером, считающими создате-

лем открытия одного Менделеева, из-за того, что единственно он применил индуктивный принцип или потому, что предвидел существование неоткрытых еще элементов благодаря наиболее последовательной разработке своего открытия.

Нюлендс и Мейер (после 1870 г.) тоже предвидели элементы, хотя предвидения Менделеева были более глубокими. Трудно ожидать, чтобы де Шанкуртуа — не химик — ставил систему элементов в центр своих исследований и обсуждал все последствия в равной степени, как профессора химии (каждый со своими учебниками). Другие же исследователи достойны большей чести, чем считаться единственно предшественниками Менделеева.

По нашему мнению Кедров не в состоянии, хотя и очень старается, доказать, что Менделеев пользовался в своем открытии другим научным методом, чем обыкновенный индуктивный метод, применяемый в естественных науках с XVII столетия. Другие исследователи тоже дошли к составлению своих систем путем индукции многих, будущих в их распоряжении химических явлений. То, что один из ученых путем дедукции объяснил или предсказал новые факты на основании своей системы, менее интересно, хотя предвидение новых элементов Менделеевым достойно высочайшего признания. В этом отношении можно сравнить открытие периодической системы с другими открытиями в естествознании, когда исследователи были не полностью правы. Не думал ли Коперник, открывший гелиоцентрическое управление миром, о неподвижных звездах и круглых орбитах планет? Или Лавуазье, разве не зачислил он элементов к „импондерабиям” — теплоте и электричеству? А Дальтон, пионер учения об атомном весе, не определил ли его довольно плохо? И не было ли когда-то другого представления о нейтроне, чем у позднейших исследователей?

Когда следим за теоретической стороной классификации элементов, на первом месте встречаем гипотезы, связанные со структурой атомов, затем попытки объяснения отношений среди элементов. Эти гипотезы нельзя считать достижениями науки, так как ученые пользовались ими для объяснения своих систем. Менделеев однако решительно держался в стороне от этих спекуляций. Де Шанкуртуа склонялся принять атомную теорию, когда Одлинг относился к ней скептически. Гинрихс и в меньшей мере Мейер считали, что им не обойтись без возможности метафизической интерпретации атомного веса. Они утверждали, что числовые отношения между атомным весом родственных элементов можно свести к простым отношениям внутренних частей атома. Вильгельм Оствальд доказывал, что возможно полностью эмпирическое трактование химии, получение положительных результатов без существования атомов.

Атомная теория Дальтона, в которой атомы рассматриваются как реальности, непосредственно почти не влияет на систематизацию элементов. В связи с этим стоит заметить, что эмпиризм и позитивизм воздействовали в такой степени на естествоведов, что только немногочисленные ввели метафизический

аспект в свои рассуждения. Интересно, что к этой небольшой группе к концу своей жизни зачислился Менделеев.

Под влиянием эмпиризма гипотеза Праута мало воздействовала на открытие системы элементов*, хотя некоторые исследователи, сотрудничавшие в ее создании, как например Дюма или Крукс, были сторонниками гипотезы Праута. Берзелиус ничего не хотел знать об этой гипотезе. Исследование атомного веса с целыми числами назвал „лихорадкой кратных” несмотря на то, что целых чисел значительно больше, чем указывает теория вероятности. Если речь идет о влиянии, то существовало оно уже в прошлом, когда главным образом разыскивали связи в сфере атомного веса. Влияние эмпиризма было так значительно, что большинство выдающихся химиков XIX в. не придавало большего значения простым числовым отношениям между атомным весом родственных элементов, считая их случайными явлениями. Так, кроме Берзелиуса, делали на пример Стас и Кэкуле, содействовавшие в большей степени определению атомного веса. К исключениям принадлежат: Леонид Гмелин, Фарадей и Дюма, последний вместе с Одлингом ставший важным предшественником периодической системы.

Периодическая система, охватывающая все элементы, возникла в результате последовательного соединения частичных числовых отношений между атомным весом элементов с аналогичными свойствами.

Метод приближенных вычислений — индуктивен, и система — единственно возможная естественная система.

Уже во время наблюдений за триадами и более распространенными группами элементов можно было надеяться на более глубокую связь элементов и их атомов, малотипичную для существования аналогии. Удивительно, что некоторые ученые сравнивали ряды элементов и гомологических органических соединений и таким образом решались на осложнения атомов.

Пока однако атом, не противостоя этому странному параллелизму, оставался неделимым, не имело смысла больше говорить о гомологии вместо аналогии. Методы, применяемые при открытии самой системы элементов, были в сущности прагматические. Результат — это доказательство точности раньше открытых отношений между элементами, подтверждающее правильность признания конечного продукта химического анализа элементом. Вследствие „практический” элемент отождествляется с теоретическим.

ВЗГЛЯД НА ВРЕМЯ, ПРЕДШЕСТВУЮЩЕЕ ОТКРЫТИЮ

Заметно большое влияние краткого периода с 1816 г. по 1820 г. на открытие периодической системы и предшествующее время, оно гораздо больше влияния первого десятилетия XIX в., в общем так важного для развития химии.

* Открытие аргона Рэли и Рамзеем произошло вследствие исследования правильности гипотезы посредством определения плотности газовых паров.

Атомная теория Дальтона, во всяком случае его закон, закон Гай-Люссака, закон Пруста или гипотеза Авогадро, открывающие это десятилетие, были менее интересны по сравнению с первым определением атомного веса Берзелиусом в 1816 г., законом Дюлонга и Петита или законом Мичерлиха, обоим с 1819 г., а также открытием первых триад Деберейнером в 1817 г. В подготовительном периоде мы должны обойтись без гипотезы Авогадро.

В то время существенны были простые числовые отношения между элементами с аналогичными свойствами и такой же валентностью, так, что ошибочный фактор 2 или 4 в атомном весе этих элементов не имел никакого влияния. Также недооценка гипотезы Авогадро основывается на факте, что большинство исследователей природы разрешало преобладать фактам над связанными с ними теориями, особенно сомнительными, как теории соединений и связываний или гипотеза молекул (дуалистические, замещающие и объединяющие теории).

На основании закона Дюлонга и Петита нельзя точно определить атомный вес, можно однако установить очередность их величины, что часто было достаточно чтобы поместить элемент в одну или другую группу гомологических элементов. Расширение Нойманом этого закона на соединения в 1831 г. дополнительно содействовало определению атомного веса нескольких элементов. Все-таки законы Дюлонга и Петита, а также Ноймана, даже учитывая многочисленные проверки атомного веса вследствие похожего определения теплоемкости Рэнетом в 1856 г., не могли передвинуть открытие обратно в сороковые или пятидесятые годы. Основной причиной является факт, что в то время известно было слишком малое количество элементов — менее 60-ти, чтобы совершить их периодическую классификацию. Кроме того, только у небольшой группы элементов был точно определен атомный вес.

В 1817 г. в распоряжении Деберейнера было только 8 точных определений атомного веса. Несмотря на это можно было найти триады меньше на фактор 2. В 1826 г. доступных было уже 30 точных величин атомного веса (Берзелиус), а в 1828 г. — 36 (Дюма).

Закон изоморфизма Мичерлиха занимал в предшествующий открытие период главное место, особенно определяя атомный вес элементов, все из которых, за исключением фактора 2 или 4, были уже определены.

Как Берзелиус так и Дюма пользовались им, составляя свои списки атомного веса элементов. Когда же атомный вес был уже окончательно установлен, принцип изоморфизма стал служить в сомнительных случаях относительно места элемента в открытой тем временем системе элементов. Надо упомянуть Менделеева, ученого потедовательно введившего этот принцип. Относился он к этому предмету уже раньше в своей диссертации с 1855 г. Однако не во всех спорных случаях пользовались этим законом правильно. Ретгерс судил позже, что на основании изоморфизма калия теллурата с калием осмиата должен был поместить элемент теллур в восьмую (переходную) группу, в то время, как атомный вес этого элемента больше веса йода, что способствовало усилению трудностей классификации.

СУЩНОСТЬ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Потребность в системе, охватывающей все элементы, возникла после введения современной дефиниции элемента Лавуазье. Раньше разыскивали систему веществ, посредством которой нельзя было решительно различить соединения и элементы. Систематизация материи имеет длинную историю, не короче истории наук. Систематика — это начало науки. Классификация в ботанике и зоологии стала очень распространенной в XVIII и XIX вв. Периодическая систематика отчасти совсем другого рода.

Во-первых числовые отношения среди классифицированных величин играют большую роль, а во-вторых простые вещества — не единицы, для которых найдена периодическая система в качестве классификации, но абстракции, элементы, существующие в химических соединениях простых веществ. Систематика в минералогии, последовательная классификация минералов, может совершаться двойственно: по крайним свойствам, например по форме кристалла, а также по внутренним свойствам, между прочим по химическому составу минералов, получаемых чаще всего в чистой кристаллической форме, что остается однако лишь единичной классификацией. Разница взгляда на конкретные единицы или на абстрактные свойства единиц — очень стара. Со времен Эмпедокла и Аристотеля каждый, кто проник глубоко в сущность вещей, должен был с ней общаться. Эта разница не была новостью и тогда, когда Бойль и Лавуазье определили химические элементы и стали исследовать их взаимные отношения. Уже Деберейнер, составив свою первую триаду, сравнивал элементы в их соединениях. Большим затруднением исследований было неполное соответствие простых числовых отношений среди величин атомного веса, хотя, имея ввиду сомнительную точность разных величин атомного веса, многие исследователи придерживались мнения, что простые формулы этих величин действительно существуют.

ТРУДНОСТИ

В промежутке времени между открытием периодической системы и ее подтверждением атомной теорией Бора и разработкой ее в первые десятилетия нашего века, исследователи, желавшие сделать первые выводы, встречались с разными трудностями.

На первом месте следует назвать исключения из принципа, говорившего о том, что элементы должны быть классифицированы согласно их возрастающему атомному весу. Хотя в самом начале известны были единственно 2 исключения (Fe—IuCo—Ni), последнее из которых из-за небольшой разницы приписывали измерительной ошибке, первое наделало много шума, так, что некоторые ученые стали даже сомневаться в ценности периодической системы.

Сам Менделеев легко принимал это исключение. Он думал, что лучшие способы определения атомного веса или лучшие методы очищения удалили бы эту разницу. Когда однако в 1899 г. открыли аргон и нельзя было найти

в системе логически основанное место для его атомного веса, равного 40, многим ученым (между прочим потому, что хотели выравнить аргон с молекулой N_3) среди них и Менделееву пришлось изворачиваться, чтобы решить этот вопрос. Эта замена аргона и калия была очень проблематична, так как аргон был первым изученным благородным газом, а для этих газов надо было в периодической системе образовать потом новую колонну. Одноатомности этих газов никак не предполагали, так как известные элементарные газы были двухатомными. Появились предложения, чтобы поместить аргон между флуором и натрием. Аннулировали это решение с открытием неона, который следовало поместить на то же место.

Редкие земли были препятствием в значительно меньшей степени. Однако для исследователей периодической системы это не было заметно. Лантаниды очень трудно различить по их химическим свойствам, а следовательно химически изолировать. В период открытия периодической системы элементы лантан, церий, тербий, эрбий были только что изолированы, а элемент иттрий, как и лантан, вследствие своих свойств был причислен к редким земным металлам, хотя по своей атомной структуре не составлял его части.

Атомная структура этих редких земель — у всех один или больше электронов на глубоко внутри расположенной орбите $4f$ — объясняла позже их свойства, а вместе с ними их исключительное положение среди других элементов. Если бы все 14 редких земных металлов были известны до 1869 г., эти исключительные элементы, не находя места ни в главных ни в подчиненных рядах периодической системы, передвинули бы наверно открытие системы до более позднего времени, когда уже почти все элементы (не искусственные) были бы открыты. 14 элементов составляли бы слишком большую группу, чтобы выдвинуть закономерности свойств остальных 60 элементов.

Когда появилась периодическая система только с несколькими редкими земными металлами и Бейли и Томсен уяснили себе исключительное положение открываемых по очереди редких земель, начали постепенно признавать их существование как полноценных элементов. Таким образом не пришлось исправлять периодическую систему. Она подтвердилась последовавшими открытиями, несмотря на преждевременное открытие лантанидов, которое могло подорвать систему.

Наконец открытие радиоактивности в конце прошлого века встряхнуло периодической системой. Открытие это влекло за собой большое количество, радиоактивных продуктов разложения, для которых в системе оставалой лишь несколько мест. В действительности, после нескольких научных стычек, радий, радон, полоний и актиний получили свои места, нельзя было однако избавиться от хлопот с многими новооткрытыми элементарными веществами. Только, когда в 1913 г. атомная теория Бора принесла объяснение периодической системы, создаваемой до тех пор эмпирически, а Содди ввел понятие изотопа. Трудности исчезли, как снег под влиянием солнца, а атомный все протактиния, открытого в 1918 г., бывший меньше атомного веса тория, больше не нуждался в исключительном положении.

ПОДХОД УЧЕНЫХ К ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ И ЕЕ ОТКРЫТИЮ

Из выше сказанного видно, что периодической системе приходилось иногда переносить сильные потрясения, несмотря на то, что ученые принимали систему как единственную возможность классификации элементов. И, конечно, многие ученые, в большинстве химики, успешно пользовались ее основательной структурой для классификации химических фактов, количество которых постоянно увеличивалось. Кроме ученых, наблюдавших за развитием периодической системы более или менее пассивно, были также активно участвовавшие в ее составлении. Это конечно, кроме самих Менделеева и Мейера, те, которых заслугами считают решение определенных трудностей. Такими исследователями были Джулиус Томсен, Вернер и Браунер. Характерно для них решительное мнение насчет проблемы редких земель, а для последнего из них ясное представление относительно так называемого вопроса инверсии элементов, как теллур и йод.

Среди ученых, которые открыли благородные газы, Ремзи и Рэли, а особенно первый, уделяли много внимания способу помещения этих элементов в периодическую систему. Мария Кюри, участвовавшая в такой значительной степени в открытии радиоактивных веществ, заботилась, как и Содди и Фаянс (с предшественником Рийдбергом), чтобы система элементов не рушилась вследствие более или менее хаотичного обзора химической информации. Нильсон сделал особенно много для правильного объяснения исключительных свойств бериллия.

К ученым, которые подчеркивали право существования системы, принадлежал, среди других, Лекок де Буабодран со своим открытием галлия, так замечательно предсказанным Менделеевым, хотя следует уточнить, что на первом месте французский ученый ставил работу своего земляка Бегуйе де Шанкуртуа.

Связь Вюрца с периодической системой началась с 1880 г., когда по поводу перевода на немецкий язык его книги „La théorie atomique” разгорелась борьба за первенство между Мейером и Менделеевым. Надо вспомнить об исследователях органических наук, а также физикохимиках Нернсте, Абегге, Вернере, Бильце, Клемме и Оствальде, последовательно пользовавшихся периодической системой в качестве ведущего принципа в их учении и постоянно подтверждавших ее со стороны. У Оствальда мы находим живое доказательство, что вера в атомную теорию не была необходима для извлечения всех выгод из периодической системы. Конечно можно указать ученых, равнодушно относившихся к периодической системе, или — несмотря на ее огромные достоинства — испытывавших другие системы, как это делал Муассон. Самыми резкими критиками периодической системы были Бунсен и Бертелот. Бунсен, кстати учитель как Менделеева так и Мейера, утверждал, что можно таким же образом классифицировать рыночные информации.

Бертелот называл периодическую систему вместе с гипотезой Праута, алхимией и греческими рассуждениями насчет материи, высказывание, которое побуждало Менделеева к бурной деятельности.

ПРИМЕНЕНИЕ И СЕГОДНЯШНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

Периодическая система нашла широкое применение. Прежде всего применяли ее Менделеев и Мейер, которые будучи преподавателями университетов, сильно содействовали введению системы в употребление. Между прочим, они использовали для этого свои учебники, соответственно „Die modernen Theorien der Chemie” и „Основы химии”, которые перепечатывались несколько раз. В этих учебниках рассматривались в свете периодичности как химические так и физические свойства элементов. Другие ученые (о нескольких мы уже упоминали раньше) усвоили некоторые точки зрения и добавили к ним новые. Периодическая система осталась фундаментом, на котором строилась крепость химического познания фактов. То, что это относилось главным образом к неорганической химии, не нуждается в доказательстве, так как эта отрасль естествознания занималась прежде всего увеличивавшимся количеством известных элементов.

Однако и органическая химия пользовалась открытием. Благодаря ему можно было по большей части объяснить исключительное положение элемента углерода. Замечательно также и то что многие сходства, общие элементам силицию и углероду, можно было предсказать на основании периодической системы, вследствие чего развитие химии силиция параллельно с химией углерода оказалось естественным. Также для химии органометаллических соединений, которая в последнее время так быстро развивается, выгодна классификация элементов, несмотря на конечное влияние совершенствующихся теорий — атомной и молекулярной.

Большой размах развития химии не оставил в стороне периодическую систему. Если даже сегодня можно услышать критические голоса относительно злободневности периодической системы, нельзя забывать, что у этой системы очень глубокие корни и, хотя некоторые не знают или не признают этого, нелегко ее истребить. Дело в том, что это дерево знаний постоянно родит новые плоды. Интересен случай с систематикой атомных ядер, насчет которой еще не сказано последнее слово. Однако внутренняя структура элементов оказывает только постороннее влияние на их химические свойства. Они определяются прежде всего внешней структурой атома, дающей на протяжении стольких лет теоретическое объяснение периодической системы, еще недавно подтвержденной свойствами синтезированного в последнее время элемента 104 (курбатовий), который был предсказан, как родственник элементу нечетного ряда гафнию.

Таб. 4 Первая периодическая система Менделеева (1869 г.)

H = 1			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	Pd = 106,6	Os = 199
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 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	J = 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?		

ПРОГНОЗЫ

Продолжительное время предполагалось, (со ссылкой на Сиборга, открывшего трансураны), что приближается конец периодической системы, так как все труднее становится синтезировать более тяжелые элементы. Теоретики, пришедшие к этому выводу предполагали, что при определенном числе электронов в одном атоме, электроны должны упасть на ядро, делая соответствующий элемент нестабильным. Однако более поздние теоретики, исходя из ядра, а именно из его состава из протонов и нейтронов, пришли к неожиданному заключению, что очень тяжелые атомы как раз стабильны. Уилер и Вернер говорят например об элементе 147, у которого могло появиться массовое число 500. Факт, что синтез похожих, очень тяжелых элементов, нуждается в помощи современной техники, для бомбардировки элементов атомами, как кальций, не требует подтверждения.

Интересно, создается ли дальше периодическая система нерегулярным образом. У элемента 104 конфигурация $6d^2$ (таб. 5). С элемента 113 начинает заполняться орбита $7p$. На шестом благородном газе, элементе 118, кончается второй очень длинный период. У элементов 119 и 120 соответственно структура электронов — $8s^1$ и $8s^2$. Как выглядит дальнейшее развитие: соответственно — $7d^1$, $6f^1$, и будет ли это поворот орбиты $5g$ (с 18 электронами) у элемента 123, или впервые полностью построенная орбита $6f$ или возможно $7d$?

В первом случае орбита $6f$ элемента 141 заполнялась бы дальше 14 электронами элемента 153, после чего орбита $7d$ будет дальше заполняться до элемента

Таб. 5 Будущая периодическая система элементов

1s ¹ H 1	1s ² He 2																														
2s ¹ Li 3	2s ² Be 4																	2p ¹ B 5	2p ² C 6	2p ³ N 7	2p ⁴ O 8	2p ⁵ F 9	2p ⁶ Ne 10								
3s ¹ Na 11	3s ² Mg 12																	3p ¹ Al 13	3p ² Si 14	3p ³ P 15	3p ⁴ S 16	3p ⁵ Cl 17	3p ⁶ Ar 18								
4s ¹ K 19	4s ² Ca 20	3d ¹ Sc 21														3d ² Ti 22	3d ³ V 23	3d ⁵ Cr 24	3d ⁵ Mn 25	3d ⁶ Fe 26	3d ⁷ Co 27	3d ⁸ Ni 28	3d ¹⁰ Cu 29	3d ¹⁰ Zn 30	4p Ga 31	4p ² Ge 32	4p ³ As 33	4p ⁴ Se 34	4p ⁵ Br 35	4p ⁶ Kr 36	
5s ¹ Rb 37	5s ² Sr 38	4d ¹ Y 39														4d ² Zr 40	4d ⁴ Nb 41	4d ⁵ Mo 42	4d ⁵ Tc 43	4d ⁷ Ru 44	4d ⁸ Rh 45	4d ¹⁰ Pd 46	4d ¹⁰ Ag 47	4d ¹⁰ Cd 48	5p ¹ In 49	5p ² Sn 50	5p ³ Sb 51	5p ⁴ Te 52	5p ⁵ I 53	5p ⁶ Xe 54	
6s ¹ Cs 55	6s ² Ba 56	5d ¹ La 57	4f ¹ Ce 58	4f ³ Pr 59	4f ⁴ Nd 60	4f ⁵ Pm 61	4f ⁶ Sm 62	4f ⁷ Eu 63	4f ⁷ Gd 64	4f ⁹ Tb 65	4f ¹⁰ Dy 66	4f ¹¹ Ho 67	4f ¹² Er 68	4f ¹³ Tm 69	4f ¹⁴ Yb 70	4f ¹⁴ Lu 71	5d ² Hf 72	5d ³ Ta 73	5d ⁴ W 74	5d ⁵ Re 75	5d ⁶ Os 76	5d ⁷ Ir 77	5d ⁹ Pt 78	5d ¹⁰ Au 79	5d ¹⁰ Hg 80	6p ¹ Tl 81	6p ² Pb 82	6p ³ Bi 83	6p ⁴ Po 84	6p ⁵ At 85	6p ⁶ Rn 86
7s ¹ Fr 87	7s ² Ra 88	6d ¹ Ac 89	5f ⁰ Th 90	5f ² Pa 91	5f ³ U 92	5f ⁴ Np 93	5f ⁶ Pu 94	5f ⁷ Am 95	5f ⁷ Cm 96	5f ⁹ Bk 97	5f ¹⁰ Cf 98	5f ¹¹ Es 99	5f ¹² Fm 100	5f ¹³ Mv 101	5f ¹⁴ No 102	5f ¹⁴ Lw 103	6d ² Ku 104	6d ³ 105	6d ⁴ 106	6d ⁵ 107	6d ⁶ 108	6d ⁷ 109	6d ⁸ 110	6d ⁹ 111	6d ¹⁰ 112	7p ¹ 113	7p ² 114	7p ³ 115	7p ⁴ 116	7p ⁵ 117	7p ⁶ 118
8s ¹ 119	8s ² 120	7d ¹ 121	6f ¹ 122	5g ¹ 123	→ 5g ⁸							→ 6f ¹⁴					7d ² 154	7d ³ 155	7d ⁴ 156	7d ⁵ 157	7d ⁶ 158	7d ⁷ 159	7d ⁸ 160	7d ⁹ 161	7d ¹⁰ 162	8p ¹ 163	8p ² 164	8p ³ 165	8p ⁴ 166	8p ⁵ 167	8p ⁶ 168

162, потом от элемента 163 до 169, седьмого благородного газа, орбиты 8p. Предсказания в этой области не так легки, как предвидения Менделеева. Нельзя больше удовлетворяться наблюдениями за химическими свойствами элементов. Предвидения связанные со структурой атомов требуют работы счетных машин. Если предсказания исполнятся, периодическая система получит еще более открытую форму, значительно отличающуюся от старой, компактной формы времен ее открытия.