

УГЛЕРОД		АЗОТ		КИСЛОРОД		ФТОР		НЕОН	
14 28,086	Si КРЕМНИЙ	15 30,9738	P ФОСФОР	16 32,064	S СЕРА	17 35,453	Cl ХЛОР	18 39,948	Ar АРГОН
22 47,88	Ti ТИТАН	23 50,942	V ВАНАДИЙ	24 51,996	Cr ХРОМ	25 54,938	Mn МАРГАНЦ	26 58,933	Fe ЖЕЛЕЗО
32 72,59	Ge ГЕРМАНИЙ	33 74,9216	As МЫШЬЯК	34 78,96	Se СЕРНИЙ	35 78,96	Br БРОМ	36 79,904	Kr КРИПТОН
40 91,22	Zr ЦИРКОНИЙ	41 92,906	Nb НИОБИЙ	42 92,906	Mo МОЛИБДЕН	43 95,94	Tc ТЕХНЕЦИЙ	44 95,94	Ru РУДИЙ
50 118,69	Sn ОЛОВО	51 121,73	Sb СУРЬМА	52 127,60	Te ТЕЛУРИЙ	53 127,60	I ЙОД	54 127,60	Xe КСЕНОН
72 178,10	Hf ГАФНИЙ	73 180,948	Ta ТАНТАЛ	74 180,948	W ВОЛФРАМ	75 183,84	Re РЕЙЕНДИЙ	76 187,09	Os ОСМИЙ
82 207,19	Pb СВИНЕЦ	83 208,980	Bi ВИСМУТ	84 208,980	Po ПОЛОНИЙ	85 208,980	At АСТАТ	86 208,980	Rn РАДОН
104 (241)	Ku КУРЧАТОВИЙ	105							



6р 21903/2
54
9р498

Н. А. ФИГУРОВСКИЙ
ОТКРЫТИЕ
И УТВЕРЖДЕНИЕ
ПЕРИОДИЧЕСКОГО
ЗАКОНА
Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

1969-СЕРИЯ
 Новое в жизни

 наука и техника
 3
ХИМИЯ

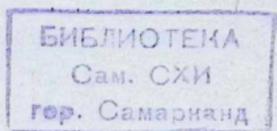
Н. А. ФИГУРОВСКИЙ,

доктор химических наук

54(09)
Ф 498

ОТКРЫТИЕ
И УТВЕРЖДЕНИЕ
ПЕРИОДИЧЕСКОГО
ЗАКОНА
Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

140
2/1006/2p9



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1969

0111 010



Я люблю свою страну, как мать,
а свою науку — как дух, который
благословляет, освещает и объеди-
няет все народы для блага и мирно-
го развития духовных и материаль-
ных богатств.

Дм. МЕНДЕЛЕЕВ

По окончании Нижегородского университета (г. Горький) в 1930 г. ФИГУРОВСКИЙ Николай Александрович вел преподавательскую работу по общей и физической химии, а также исследования в области физико-химии дисперсных систем. В 1933 г. защитил кандидатскую диссертацию, с 1934 г. — доцент. С 1936 г. продолжал исследования в Академии наук СССР (Коллоидо-электрохимический институт) и преподавал в московских высших учебных заведениях. В 1940 г. защитил диссертацию на степень доктора химических наук. В послевоенные годы наряду с экспериментальными исследованиями вел исследовательскую и научно-литературную работу по истории химии. Опубликовал около 20 монографий и отдельных изданий как в области физико-химии дисперсных систем («Седиментометрический анализ»), так и по истории химии, в том числе несколько биографических очерков (о Менделееве, Зинине, Аррениусе, Бородине, Кистяковском, Ловице и других). Кроме того, опубликовал свыше 250 статей и сообщений в журналах и сборниках. Некоторые из всех этих работ переведены на иностранные языки.

Н. А. Фигуровский — действительный член Международной академии по истории науки (Париж), член Германской академии естествоиспытателей «Леопольдина» и других советских и зарубежных обществ. Награжден золотой медалью Итальянского Химического Общества в память 100-летия «закона атомов» С. Канниццаро.

В настоящее время — старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР и профессор Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

Введение

В марте 1969 г. советская и мировая научная общественность отмечает знаменательную дату — 100-летие открытия великим русским ученым Д. И. Менделеевым периодического закона химических элементов.

В нашу эпоху 100 лет — огромный исторический срок. Немало крупных событий пережило человечество за это время. В нашей стране, на родине Д. И. Менделеева, свершилась Великая Октябрьская социалистическая революция. Мир стал совершенно иным, чем 100 лет назад. Наука и техника сделали за этот период гигантский скачок вперед.

Казалось бы естественным и исторически закономерным, что за такой огромный отрезок времени значение периодического закона Д. И. Менделеева должно было потускнеть перед грандиозными достижениями человеческой мысли. Однако сегодня мы можем констатировать, что время несколько не умалило открытия Д. И. Менделеева. Напротив, периодический закон химических элементов представляется в наши дни рельефнее и значительнее, чем 100 лет назад.

Уже через несколько лет после опубликования Д. И. Менделеевым первых сообщений об открытом им периодическом законе стало очевидным его исключительно большое научное значение как одного из универсальных законов природы. В исторической перспективе открытие периодического закона ознаменовало собой наступление новейшего периода в развитии химии и физики, характеризующегося глубоким проникновением человеческого ума в тайны строения материи, чрезвычайно быстрым развитием наших знаний о скрытых, недоступных непосредственному наблюдению, химических и физических процессах и явлениях в микрокосмосе.

Периодический закон химических элементов стал основой современного естествознания. Обобщив огромный теоретический и экспериментальный материал в области химии и физики, добытый человечеством в течение столетий, периодический закон в форме периодической системы химических элементов предопределяет строение их атомов, их химические и физические свойства.

Периодический закон химических элементов Д. И. Менделеева служит важнейшим инструментом научного исследования. С неизменным успехом он применялся и применяется как в познании закономерностей поведения атомов, молекул и элементарных частиц материи, так и при изучении макрокосмоса — в установлении химического состава нашей планеты и космических тел. Периодическим законом каждодневно руководствуются в своих исследованиях химики, физики, геологи, геохимики, почвоведы, астрономы, биологи и представители других естественных наук.

На основе периодического закона были совершены величайшие открытия. Со времени знаменитых предсказаний Д. И. Менделеевым свойств еще неизвестных элементов было открыто и изучено более 40 новых элементов. Были получены сотни тысяч новых химических соединений с самыми разнообразными свойствами. Использование всех этих веществ в промышленности, в сельском хозяйстве и в быту произвело настоящую революцию в условиях жизни людей.

Периодический закон химических элементов Д. И. Менделеева и сделанные на его основе крупнейшие научные открытия в различных областях естествознания ознаменовали подлинное торжество материалистической диалектики и марксистско-ленинского мировоззрения. Вместе с тем открытие и утверждение периодического закона явились блестящим достижением передовой творческой науки и продемонстрировали перед всем миром силу и величие русского гения.

Предшественники Д. И. Менделеева

В истории каждого обобщающего научного открытия можно различать два этапа: первый этап — появление смутных предчувствий и установление частных закономерностей, и второй (решающий!) — сам акт открытия и признание этого открытия. Д. И. Менделеев в связи с этим писал: «...Нет ни одного, сколько-либо общего закона природы, который бы основался сразу; всегда его утверждению предшествует много предчувствий, а признание закона наступает не тогда, когда зародилась первая о нем мысль, даже не тогда, когда он вполне сознана во всем его значении, а лишь по утверждении его следствий опытами, которые естествоиспытатели должны признавать высшею инстанциею своих соображений и мнений».

Открытию периодического закона химических элементов также предшествовал длительный этап предчувствий. У Д. И. Менделеева было много предшественников, предлагавших свои таблицы и графики элементов и даже подметивших отдельные частные закономерности в соотношениях свойств элементов. Некоторые из предшественников Д. И. Менделеева вскоре после открытия и утверждения периодического закона выступили с претензиями на первенство открытия. В связи с этим целесообразно кратко рассмотреть главные идеи предшественников открытия периодического закона.

Первые попытки классификации элементов были связаны с теми представлениями об элементах и простых телах, которые имели хождение в первой половине и в середине XIX в. Эти представления базировались на определении, данном Лавуазье в 1789 г., которое благодаря его авторитету удержалось в науке вплоть до 60-х годов XIX в. Лавуазье считал понятие «элемент» чисто условным понятием. По его мнению, нельзя ничего сказать ни о числе, ни о природе элементов. «Если... — писал он, — названием элемент обозначить простые и неделимые молекулы, составляющие тела, то, вероятно, мы их не знаем; если же, напротив, мы свяжем с названием элементов или принципов тел представление о последнем пределе, достигаемом анализом, то все вещества, ко-

торые мы еще не смогли никоим образом разложить, являются для нас элементами».

Это определение с незначительными оговорками и добавлениями было принято всеми виднейшими химиками первой половины XIX в. (Дальтон, Дэви, Фарадей, Дюма, Берцелиус и др.). Либих также повторил это основное определение Лавуазье. Таким образом, все эти авторы не различали понятий **простое тело и элемент**.

Только после Международного химического конгресса в Карлсруэ (1860 г.) была, наконец, осознана необходимость в точных определениях основных химических понятий и, в частности, в разграничении понятий элемент и простое тело. Заслуга научного определения обоих понятий принадлежит Д. И. Менделееву (1871 г.), который в отличие от своих предшественников создал систему элементов, а не простых тел или эквивалентов. «Разнообразные периодические отношения, — писал он, — принадлежат элементам, а не простым телам, и это весьма важно заметить, потому что периодический закон относится к элементам, так как им свойственен атомный вес, а простым телам, как и сложным, молекулярный вес».

Между тем все предшественники Д. И. Менделеева в своих классификациях пользовались весьма расплывчатыми понятиями элемента и простого тела и в своем большинстве оперировали не с истинными атомными весами, а с эквивалентами.

В начале XIX в. основатель химической атомистики Дж. Дальтон ввел важнейшую характеристику элементов — относительный вес их атомов или атомный вес. С введением этого понятия химия получила в свое распоряжение важнейшее средство для изучения количественного состава сложных тел. Не удивительно, что виднейшие химики первой половины XIX в. настоятельно искали пути и критерии для установления точных атомных (и молекулярных) весов. Известно, что для проверки точности атомных весов, установленных путем химического анализа соединений, в это время применялись закон реагирующих газов Гей-Люссака (более строго сформулированный А. Авогадро), закон теплоемкостей Дюлонга и Пти, правило Митчерлиха об изоморфной кристаллической структуре сходных соединений различных элементов и др. Дюма предложил для определения «атомных весов» сложных атомов (молекулярных весов) метод, основанный на определении плотности пара и т. д.

В том же направлении поисков новых критериев для установления точных атомных весов велись и другие исследования, в частности сопоставлялись атомные веса групп химически сходных элементов, с целью расчета значения атомного

веса как средней величины из атомных весов всех сходных элементов.

Первым, кто применил такой путь расчета атомных весов, был Деберейнер (1829 г.). Он установил так называемый «закон триад», т. е. троек сходных элементов, на основе которого атомный вес среднего в триаде элемента вычислялся как полусумма атомных весов крайних элементов. Закон триад привлек к себе широкое внимание химиков, и у Деберейнера оказалось много последователей. Некоторые из них (Л. Гмелин, Глэдстон, Ленсен и др.) расширили применение закона триад, а также стали пользоваться для расчетов группами из четырех сходных элементов (тетрады), из пяти — (пентады) и даже из девяти элементов, т. е. из трех триад (эпнеады Ленсена).

Подобно этому, отыскивали критерии для установления точных атомных весов, развили свои исследования М. Петтенкофер (1850 г.) и Ж. Б. Дюма (1857 г.), установившие закономерности в разнице между атомными весами сходных элементов. Было установлено, в частности, что такие разницы в значениях атомных весов чаще всего выражаются числами, кратными 8 и 18.

Исследования Петтенкофера, и особенно Дюма, приведшие к составлению эмпирических уравнений для расчета атомных весов, имели и другое значение. В середине XIX в. были открыты гомологические ряды органических соединений (углеводородов, спиртов и др.). В связи с этим возникло предположение, что атомы более тяжелых элементов представляют собой нечто подобное гомологам органических соединений и составлены из атомов более легких элементов. Дюма высказал даже идею о существовании «субатомов» — легких атомов, из сочетания которых получаются все известные атомы. Эта идея авторитетного химика своего времени была тотчас же подхвачена некоторыми левоверными учеными, увидевшими в ней ключ к превращению элементов. На некоторое время даже возобновились алхимические поиски путей трансмутации, т. е. превращения металлов с целью получения искусственного золота.

В условиях путаницы понятий атомный вес, молекулярный вес, эквивалент многие химики, занимавшиеся расчетами атомных весов на основе триад, тетрад и т. д., а также поиском закономерностей в разнице атомных весов, пользовались величинами, значительно отличавшимися от истинных. При этом они нередко произвольно округляли атомные веса, с тем чтобы нагляднее показать закономерности, чаще всего — мнимые. Естественно, что замеченные ими некоторые действительные закономерности можно рассматривать лишь как предчувствия существования какой-то внутренней связи между физическими и химическими свойствами элементов.

В 60-х годах XIX в. попытки сопоставлений химически сходных элементов приняли несколько иной характер. К этому времени стало известно уже 62 элемента и возникла мысль о сопоставлении их свойств. Вначале это делалось число механически. Так, в 1857 г. видный английский химик У. Одлинг выписал все известные триады, тетрады, пентады элементов и даже несколько монад. В дальнейшем эти попытки классификации элементов выражались в виде таблиц и графиков.

Тот же самый Одлинг опубликовал в 1865 г. в своем «Курсе практической химии», вышедшем в русском переводе в 1867 г., таблицу, озаглавленную «Атомные веса и знаки элементов» и внешне сходную с первой таблицей Д. И. Менделеева. Ф. Н. Савченков — переводчик книги Одлинга обратил внимание Д. И. Менделеева на эту таблицу в марте 1869 г. Однако сходство оказалось чисто внешним, и Д. И. Менделеев справедливо указал: «Одлинг ничего не говорит о смысле своей таблицы и, сколько мне известно, нигде о ней не упоминает». Вскоре после опубликования Д. И. Менделеевым первого сообщения о периодическом законе некто Герстль, бывший корреспондентом Немецкого Химического Общества при Лондонском Химическом Обществе, также выступил с указанием на таблицу Одлинга, как более раннюю сравнительно с опубликованной Д. И. Менделеевым в 1869 г. Из ответа Д. И. Менделеева на это выступление очевидно, что Герстль своим выступлением преследовал лишь одну цель — всячески умалить открытие великого русского ученого. Впрочем, сам Одлинг, проживший до 1921 г., никогда не высказывал претензий на открытие периодического закона.

В тесной связи с таблицами Одлинга стоят и многочисленные таблицы, с которыми выступал в 60-х и 70-х годах Дж. А. Ньюлэндс (работавший в сахарной промышленности). Некоторые таблицы Ньюлэндса имеют особенности. Одна из них была названа автором «законом октав» (1863 г.). Ньюлэндс нашел, что если сходные элементы расположить друг под другом, то каждый восьмой элемент в ряду располагается под первым; свойства элементов повторяются, таким образом, подобно октавам в музыке.

Кроме того, Ньюлэндс, затратив, по-видимому, немало труда на составление многочисленных таблиц, требовавших воспроизведения для каждого элемента его эквивалентного веса, внес упрощение. Он заменил эквивалентные веса номерами для каждого элемента. Это нововведение дало повод некоторым историкам науки в новейшее время неправильно приписать Ньюлэндсу приоритет в открытии атомного номера, введенного, как известно, Мозелем в 1913 г. В таблице Ньюлэндса множество несообразностей, и они носят характер обычных спекуляций с эквивалентами элементов.

В отличие от Одлинга Ньюлэндс вскоре после открытия Д. И. Менделеева выступил с настоятельными претензиями на приоритет этого открытия. Неосновательность этих претензий была очевидна, и Лондонское Химическое Общество отказалось его поддержать. Однако Ньюлэндсу удалось впоследствии (1887 г.) добиться от Королевского общества (Академии наук Англии) присуждения ему за мнимое открытие медали Дэви. Д. И. Менделеев, упоминая о законе октав Ньюлэндса в своей Фарадеевской лекции, а также и в «Основах химии», указывает на несообразности в конструировании Ньюлэндсом октав, хотя и замечает, что в его таблице имеются «некоторые зародыши периодического закона».

Французский ученый Э. Д. де Шанкуртуа в 1862 г. выступил с системой элементов, представленной в виде графика. Это так называемая «винтовая линия» Шанкуртуа. На боковой поверхности цилиндра, разделенной на 16 частей, построена под углом в 45° прямая, на которой в соответствующем масштабе нанесены значения атомных весов простых тел. Если развернуть образующую цилиндра, то на плоскости получается ряд отрезков прямых с отмеченными точками значений атомных весов. Хотя, как указал в свое время Л. А. Чугаев (1913 г.), в системе Шанкуртуа можно заметить зародыш периодической системы, она включает в себе столько несообразностей, что «дает обширный характер произволу». Заметим, что после триумфа периодического закона в 70—80-х годах XIX в. соотечественники Шанкуртуа пытались приписать ему приоритет открытия периодического закона.

Совсем недавно в литературе появились сведения еще об одной графической системе элементов, предложенной Г. Д. Гинрихсом, о которой до сих пор было мало известно. Гинрихс работал в университете Иова в США и в 1867 г. опубликовал на немецком языке в литографированном (фактически недоступном) издании график системы элементов. Несмотря на некоторые небезынтересные сопоставления, график этот не дает никакого отражения периодического закона, и сам Гинрихс, проживший до 1923 г., никогда не выступил ни с дальнейшими попытками усовершенствовать свой график, ни с претензиями на первенство в открытии периодического закона. Тем не менее в последнее время некоторые историки науки капиталистических стран, откопав эту забытую и совершенно случайную спекуляцию, пытаются показать, что Гинрихс является будто бы автором периодической системы.

Наконец, остановимся кратко еще на одной таблице элементов, составленной немецким химиком Л. Мейером. Она появилась в его книге «Современные теории химии и их значение для химической статистики», вышедшей в 1864 г. В таблице Мейера 44 элемента (из 62 известных в то время) представлены в шести столбцах по признаку валентности элемен-

тов по водороду. Явной целью таблицы было показать закономерности в разницах атомных весов элементов в таких группах. Иначе сказать, Мейер шел по пути своих предшественников, и прежде всего М. Петтенкофера. Таблица эта никакой периодичности свойств элементов не выражает.

В 1868 г. Л. Мейер составил еще одну таблицу, в принципе мало отличающуюся от первой. Он не опубликовал ее, и она увидела свет только после смерти ее автора в 1895 г.

После появления первого сообщения об открытии периодического закона Д. И. Менделеевым Л. Мейер в 1870 г. выступил со статьей, в которой была приведена новая таблица элементов и график периодической зависимости атомных объемов. В этой статье Мейер утверждал, между прочим, что он раньше Менделеева пришел к периодической системе. Это утверждение, однако, он сам как будто бы опровергает, сопровождая публикуемую таблицу следующим замечанием: «Благодаря более правильному определению атомных весов различных элементов, сделалось возможным все достаточно известные элементы расположить в одну систему. Недавно Менделеев показал, что подобное расположение можно получить, просто расположив все атомные веса в ряд без какого-либо произвольного выбора в порядке их возрастания, затем разбив этот ряд на отрезки и присоединив последние друг к другу без изменения порядка. Следующая таблица в существующих чертах тождественная той, которую дает Менделеев».

Менделеев, не любивший приоритетных споров, принужден был, однако, отвечать на претензии Мейера. В «Основах химии» (пятое и последующие издания), а также в нескольких статьях и заметках Д. И. Менделеев однозначно показал полную неосновательность аргументов Мейера, как претендента на соавторство в открытии периодического закона.

Тем не менее и в наши дни в зарубежных учебниках химии и в историко-химических сочинениях нередко можно встретить утверждение, будто бы периодический закон был открыт одновременно и независимо друг от друга Д. И. Менделеевым и Л. Мейером. Некоторые историки науки — буржуазные националисты — настойчиво пропагандируют эту версию. «Правовой основой» такой пропаганды считается одновременное присуждение Лондонским королевским обществом Л. Мейеру и Д. И. Менделееву медали Дэви за открытие периодического закона (1882 г.). Решение Королевского общества было вызвано, несомненно, случайными причинами и в принципе неправильно, тем более, что большинство крупнейших английских химиков всегда считали Д. И. Менделеева единственным автором периодического закона.

Долг советских историков науки до конца разоблачить неправильность и неосновательность утверждения об участии Л. Мейера в открытии периодического закона.

Как был открыт периодический закон

После блестящих триумфов периодического закона друзья, знакомые, журналисты нередко спрашивали Д. И. Менделеева, каким путем он пришел к открытию? Обычно Дмитрий Иванович отшучивался, избегал отвечать на прямо поставленный вопрос, а иногда и сердился. Естественно, даже автору такого крупного открытия трудно ответить на подобный вопрос, если дело идет не об интуиции и не о счастливой догадке, а об упорном исследовательском труде в течение многих лет.

В сочинениях самого Д. И. Менделеева и в некоторых свидетельствах его современников сохранились, однако, некоторые данные, позволяющие восстановить картину творческого акта открытия периодического закона.

Оставляя в стороне легенды и фантазии различных авторов книг, излагавших историю открытия периодического закона и подробно рассмотренных Б. М. Кедровым¹, мы ограничимся здесь лишь изложением главнейших фактов, подтвержденных в различное время самим Д. И. Менделеевым.

Известно, что за 14 лет (после окончания Главного педагогического института и до 1869 г.) Д. И. Менделеев выполнил гигантскую работу как исследовательского характера, так и научно-литературную. В центре его внимания в эти годы была проблема связи химических свойств веществ с их физической структурой. Еще в студенческие годы он написал кандидатскую работу: «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу». Будучи учителем физики и химии в Ришельевской гимназии в Одессе (1855—1856 гг.), Д. И. Менделеев, несмотря на занятость учебной работой, в короткий срок подготовил магистерскую диссертацию «Удельные объемы» и блестяще защитил ее в Петербургском университете. Вскоре состоялась еще одна защита — новой ра-

¹ Б. М. Кедров, *День одного великого открытия*. М., Соцэкгиз, 1958, стр. 458 и далее.

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ 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	Ru = 104,4	Ir = 198	
		Ni = Co = 59	Pt = 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	U = 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?		

Д. Менделѣевъ

Рис. 1. Периодическая система элементов (1869 г.).

боты, представленной «на право преподавания» в университете: «О строении кремнеземистых соединений».

С 1857 г. Д. И. Менделеев начал чтение лекций по общей химии в Петербургском университете, а с осени того же года стал читать органическую химию. Его интерес к общим проблемам химии выразился, в частности, в его докладе в Академии наук: «О связи некоторых физических свойств тел с их химическими реакциями». Командированный в 1859 г. за границу для научных занятий Д. И. Менделеев выполнил в Гейдельберге в организованной им домашней лаборатории серию исследований, посвященных капиллярным явлениям и внутреннему сцеплению в жидкостях, вскоре опубликованных в русских и зарубежных журналах. Одним из результатов этих исследований было открытие «абсолютной температуры кипения», т. е. критической температуры. В его статьях, посвященных внутреннему сцеплению в жидкостях, в центре внимания та же идея о связи физических свойств веществ с массой их молекул.

Возвратившись в 1861 г. в Петербург, Д. И. Менделеев в удивительно короткий срок (три месяца) выпускает первый оригинальный русский курс Органической химии (1861 г.), одновременно ведет огромную научно-литературную работу. Вскоре он вновь получает доцентуру в Петербургском университете и приступает к чтению лекций, одновременно напряженно работая над статьями по вопросам технологии различных производств (для «Технической энциклопедии»). Его привлекает в эти годы проблема добычи и переработки нефти в России, в связи с чем в 1863 г. он едет в Баку.

В 1864 г. Д. И. Менделеев — профессор кафедры технологии в Технологическом институте. Будучи занят по должности и продолжая научно-литературную деятельность, он опубликовал обширное экспериментальное исследование «О соединении спирта с водою», в теоретической части посвященное проблеме структуры растворов. После успешной защиты этой работы он получает степень доктора и назначается профессором технической химии в университете (совмещая эту должность с работой в Технологическом институте).

С уходом профессора А. А. Воскресенского в 1867 г. Д. И. Менделеев получил кафедру химии в университете и с этого времени на долгие годы сосредоточил здесь свою деятельность.

Таким образом, уже к 33 годам жизни Д. И. Менделеев занял ведущую в то время в России кафедру химии. Со свойственной ему энергией он прежде всего реорганизовал преподавание химии, добившись перевода А. М. Бутлерова из Казани на вновь созданную кафедру органической химии и назначения Н. А. Меншуткина на новую кафедру аналитиче-

ской химии. По инициативе и при участии Д. И. Менделеева в Петербурге было организовано осенью 1868 г. Русское Химическое Общество.

Оценивая главное направление исследований Д. И. Менделеева в эти годы, следует сказать, что его интересовали прежде всего центральные проблемы, стоявшие перед химией в то время, — структура и химические свойства веществ (жидкостей, растворов и кристаллов) в их взаимосвязи и соотношении химической активности веществ с их физическими свойствами. Именно разработка этих проблем и подготовила Д. И. Менделеева к открытию периодического закона. Широкообразованный химик-философ, он работал над важнейшими вопросами химии, непосредственно связанными с их атомно-молекулярным строением. Эти вопросы в те годы составляли передовой край фронта науки, вытекая из новаторских идей Лорана, Жерара, Авогадро и Канницаро.

В 1860 г. Д. И. Менделеев принял участие в работах Международного химического конгресса в Карлсруэ и дал в письме к А. А. Воскресенскому превосходный отчет о работах Конгресса и научном значении обсуждавшихся на нем проблем. Впоследствии в своей Фарадеевской лекции (1889 г.) Д. И. Менделеев писал о связи открытия периодического закона с идеями, высказанными на Конгрессе в Карлсруэ: «...В 1860 г. собирався съезд химиков всех стран в Карлсруэ именно для того, чтобы достичь какого-либо соглашения в отношении, если не идей, касающихся атомов, то по крайней мере их условного означения. Многие из присутствующих, вероятно, помнят, сколь напрасно было желание достичь конкордата и сколько почвы выиграли на этом съезде последователи унитарного учения, блестящим представителем которых явился Канницаро. Я живо помню впечатление его речей, в которых не было компромиссов, но слышалась сама истина, взявшая за исход понятия Авогадро, Жерара и Реньо, тогда еще далеко не всеми признававшиеся. И хотя конкордат не удался, но цель съезда была достигнута, потому что не прошло нескольких лет, как идеи Канницаро оказались единственными, могущими выдержать критику и дать понятие об атомах, как «наименьшем количестве элементов, входящих в состав частицы их соединения». Только такие истинные, а не какие-либо условные, атомные веса могли подлежать обобщению».

Каким же путем Д. И. Менделеев пришел к открытию периодического закона? В 1868 г. он выпустил небольшой литографированный курс лекций по неорганической химии и в том же году приступил к составлению своего замечательного труда «Основы химии». Со свойственной ему деловитостью Д. И. Менделеев уже в 1868 г. подготовил текст первых двух выпусков «Основ», увидевших свет весной 1869 г. Содержание обо-

их выпусков относится к общим проблемам химии и может быть характеризовано как введение в курс общей химии.

В предисловии, приложенном ко второму выпуску, Д. И. Менделеев писал, в частности, о специальной цели книги: «Изложить вместе с выводами описание способов их добычи, ввести в одно систематическое целое возможно большее число данных, не вдаваясь, однако, в крайность полных сборников науки».

На обороте второго листка предисловия приведена таблица «Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве». Предисловие, как и таблица, датировано мартом 1869 г.

Желание Д. И. Менделеева о «систематическом целом» курса, естественно, возникло еще перед началом работы над «Основами химии», но оно получило реальную основу лишь в марте 1869 г.

История появления упомянутой таблицы «Опыт системы элементов» тесно связана с планами последующих выпусков «Основ». Второй выпуск заканчивается рассмотрением галогидов. В третьем и четвертом предстояло изложить сведения о группах других химически сходных элементов. Порядок рассмотрения химических свойств таких групп элементов, очевидно, и занимал внимание Д. И. Менделеева.

Д. И. Менделеев искал логическую основу для распределения материала второй части курса. Именно эти поиски и привели его к мысли сопоставить все группы сходных элементов. Метод, к которому он в конце концов пришел, по его собственному свидетельству, состоял в том, что символы элементов были написаны на карточках и эти карточки затем были расставлены так, что сходные элементы образовали горизонтальные ряды (группы). Д. И. Менделеев сразу же заметил, что, поставив такие группы друг под другом, можно получить таблицу, в которой все элементы расположены в порядке возрастания их атомных весов. При этом группа щелочных металлов расположилась под группой галогенов (рис. 1). Вот почему третий выпуск «Основ химии», вышедший лишь в 1871 г., начинается главой о щелочных металлах.

Таким образом, непосредственным результатом работы Менделеева над планом расположения материала во второй части «Основ химии» явилась первая его таблица элементов, озаглавленная им «Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве». В настоящее время установлено, что черновик этой таблицы был составлен Менделеевым 17 февраля (1 марта по новому стилю) 1869 г.

Менделеев сразу же понял, что его таблица не просто служит поставленной перед ней цели — обоснованию логического плана расположения материала курса и порядка рассмотрения групп элементов в их связи друг с другом, но и от-

6p2/903/2

ражает некий закон природы, устанавливающий тесную связь между всеми известными элементами. Это — «естественная система элементов», наглядно демонстрирующая периодичность в изменениях свойств элементов, расположенных в порядке возрастания их атомных весов. А так как атомный вес в то время представлял собой, по существу, единственную числовую характеристику элементов, у Менделеева возникла мысль о возможности использования таблицы для количественных оценок свойств отдельных элементов и их соединений на основе сопоставлений не только с химически сходными элементами, но и элементами, отличающимися друг от друга по химическим свойствам.

Вот почему Менделеев немедленно опубликовал таблицу и разослал ее многим русским и зарубежным химикам. Кроме того, он поместил эту таблицу на обороте предисловия к первой части «Основ химии», уже набранной в типографии и печатавшейся в марте 1869 г.

6(19) марта 1869 г. таблица, составленная Менделеевым, была продемонстрирована на заседании Русского Химического Общества, а некоторое время спустя в только что основанном «Журнале Русского Химического Общества» (выпуски 2-й и 3-й) была опубликована специальная статья Менделеева «Соотношение свойств с атомным весом элементов».

Эта статья — первое печатное сообщение Менделеева о его открытии представляет интерес во многих отношениях. Начало статьи посвящено обсуждению возможных путей систематизации элементов и критике расчета атомных весов, сделанных ранее некоторыми учеными. Затем Менделеев пишет: «Предприняв составление руководства к химии, названного «Основы химии», я должен был остановиться на какой-нибудь системе простых тел, чтобы в распределении их руководствоваться не случайными, как бы инстинктивными побуждениями, а каким-либо определенно точным началом. Выше мы видели почти полное отсутствие численных отношений в составлении систем простых тел; а всякая система, основанная на точно наблюденных числах, конечно, будет уже в том отношении заслуживать предпочтения перед другими системами, не имеющими численных опор, что в ней остается мало места произволу».

Обосновывая затем выбор атомного веса как такой «численной опоры» (характеристики элементов), Менделеев рассматривает различные сопоставления элементов, показывает, каким путем он пришел к своей таблице, и переходит к выводам. Мы приведем лишь некоторые из них:

«1. Элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную периодичность свойств...

...6. Должно ожидать открытия многих тел, например, сходных с Al и Si элементов с паем 65—75.

...Цель моей статьи была бы совершенно достигнута, если бы мне удалось обратить внимание исследователей на те отношения в величине атомного веса **неисходных** элементов, на которые, сколько то мне известно, до сих пор не обращалось почти никакого внимания».

Однако первая таблица элементов Менделеева имела ряд недочетов. В некоторых случаях атомные веса не соответствовали месту элементов в системе, вследствие чего не укладывались в те закономерные отношения, которые вполне явственны для большинства элементов. Менделеев немедленно принялся за соответствующие исследования, с тем чтобы выяснить причины отклонений отдельных элементов от общего закона. В частности, он занялся определением точных атомных весов элементов — сомнительных по их месту в таблице.

Задача совершенствования периодической системы представлялась Менделееву настолько важной, что он отложил работу по завершению «Основ химии». Уже в августе 1869 г. в докладе на Втором съезде русских естествоиспытателей в Москве он демонстрировал новый вариант системы, в которой элементы были разбиты на восемь групп, сопоставленных в вертикальных колонках. В следующем году он выступил со статьей, посвященной кислородным соединениям элементов, и в результате анализа большого числа фактических данных пришел к важным выводам: «1) Естественное распределение элементов по группам на основании величины их атомного веса отвечает тому количеству кислорода, которое могут удерживать эти элементы в высших степенях своих соляных окислов... 2) Атомный вес элементов, определяя их сходство и многие свойства, дает возможность предвидеть и формы атомных соединений, которые они образуют. Химические свойства элементов суть периодические функции их атомного веса».

В 1870 г. Менделеев опубликовал еще одно сообщение, посвященное теоретическому обоснованию закона теплоемкостей Дюлонга и Пти и проанализировал причины отступлений некоторых элементов от этого закона.

Одновременно Менделеев выполнил ряд экспериментальных определений и расчетов с целью уточнения, а также изменения принятых атомных весов некоторых элементов, относительно места которых в периодической системе имелись сомнения. В конце 1870 г. в докладе Русскому Химическому Обществу он на основании полученных результатов указал место в периодической системе индия, церия, тория и урана и предсказал главные свойства некоторых еще неоткрытых элементов. Вскоре по этому поводу появилась специальная статья.

Занятый напряженной работой по завершению курса «Основы химии» и лекциями в университете, различными общественными делами, Менделеев интенсивно работал над совер-

шенствованием открытого им закона. В 1871 г. появились две его классические статьи о периодическом законе — одна на русском языке — «Естественная система элементов и применение ее к указанию свойств неоткрытых элементов» и вторая — на немецком языке в «Анналах Либиха» — «Периодическая законность химических элементов».

Обе статьи представляют собой обобщение огромной работы, проведенной Менделеевым по уточнению формулировки открытого им закона и важнейших следствий и выводов из него. Менделеев здесь смело называет свое открытие **периодическим законом**. Особое значение представляет вторая статья, подлинный русский текст которой был найден несколько лет назад в бумагах Менделеева. Впоследствии, оценивая эту статью, Менделеев писал: «Это лучший свод моих взглядов и соображений о периодичности элементов и оригинал, по которому писалось потом так много про эту систему».

Статья начинается с определений понятий «элемент» и «простое тело», которые лежат в основе современных определений этих понятий. Проанализировав затем основные характеристики элементов, на основе сопоставлений которых возможна их систематизация, Менделеев переходит к изложению сущности закона периодичности и формулирует закон в следующих словах: «Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел, **стоят в периодической зависимости ... от их атомного веса**».

В специальных параграфах далее рассмотрено применение закона периодичности к систематике элементов и к определению атомного веса малонисследованных элементов. Центральным в этой статье является параграф четвертый — «Применение закона периодичности к определению свойств неоткрытых еще элементов». Здесь Менделеев высказывает свои знаменитые предсказания о существовании ряда еще неоткрытых элементов, вводит временные обозначения этих элементов (экабор, экаалюминий, экакремний и др.) и описывает рассчитанные на основании периодического закона их главные свойства. Последние два параграфа посвящены важным вопросам об исправлении атомных весов некоторых элементов и о расширении сведений о формах их химических соединений на основе закона.

Обосновывая свои смелые выводы из периодического закона, Менделеев писал: «Каждый естественный закон ... только тогда приобретает особое научное значение, когда из него есть возможность извлекать практические, если можно так выразиться, следствия, то есть такие логические заключения, которые объясняют не объясненное еще, указывают на явления, до тех пор не известные, и, особенно, когда он дает возможность делать такие предсказания, которые возможно под-

твердить опытом. Тогда очевидна становится польза закона и получается возможность испытать его справедливость».

Обе названные статьи Менделеева в основном завершили его работу по периодическому закону. В 1871 г. и в последующие годы Менделеев еще неоднократно выступал в печати по поводу своего открытия, в частности, он опубликовал две заметки по вопросу претензий на приоритет открытия, с которыми выступили отдельные ученые, и прежде всего Л. Мейер. Однако крупных исследований, посвященных периодическому закону, Менделеев уже не предпринимал, будучи до предела занят самыми разнообразными теоретическими и технологическими вопросами, которые выдвигала перед ним жизнь.

Следует заметить, что появление в русской и иностранной печати статей и сообщений Менделеева по периодическому закону, а также рефератов его статей, выход в свет «Основ химии», первого в истории курса, в котором расположение материала базировалось на периодическом законе, в общем обратило на себя мало внимания со стороны ведущих химиков того времени. Лишь претенденты на приоритет открытия как бы объединились против русского ученого, противопоставляя периодическому закону свои спекуляции с систематизацией элементов. Это, естественно, не могло не вызвать реакции со стороны Менделеева. В то время он был единственным ученым, уверенным в широчайших научных возможностях, которые давало открытие периодического закона. Время для всеобщего признания закона еще не наступило, и Менделееву ничего не оставалось, как ждать развертывания дальнейших событий.

Триумф периодического закона

Тереключив свое внимание и энергию на другие работы, Менделеев отнюдь не забыл о периодическом законе и с понятным нетерпением ожидал откликов на свои статьи. Что же касается сделанных им предсказаний свойств неизвестных еще элементов, то Менделеев полагал, что подтверждение этих предсказаний — дело отдаленного будущего. «Когда в 1871 г., — писал он впоследствии, — я описывал в Русском Химическом Обществе те свойства, которым должны будут удовлетворить эти элементы, ясно видимые периодическим законом, то не думал, что доживу до возможности сослаться на них перед Британским Химическим Обществом, как на реальные доказательства правильности и общности периодического закона» (Фарадеevское чтение).

Однако прошло всего лишь около четырех лет со времени опубликования предсказаний Менделеева, как одно из них получило блестящее подтверждение. Видный французский химик-аналитик, исследователь редкоземельных элементов П. Э. Лекок де-Буабодран, открыл 27 августа 1875 г. новый элемент, названный им **галлием**. Известие об этом открытии уже через два месяца было получено в Петербурге. Из описания основных свойств галлия Буабодраном Менделеев тотчас же пришел к выводу, что новый элемент представляет собой не что иное, как предсказанный им **экаалюминий**. В докладе Русскому Химическому Обществу 6 ноября 1875 г. Менделеев смело заявил, что «элемент, открытый недавно Лекок де-Буабодраном и названный им галлием, как по способу открытия (спектром от искр), так и по свойствам, до сих пор наблюдаемым, совпадает с долженствующим существовать экаалюминием, свойства которого указаны 4 года тому назад...»

Менделеев не ограничился этим заявлением, он немедленно направил письмо Буабодрану и заметку во французский журнал (Доклады Парижской академии наук). Заметка начинается следующими знаменательными словами: «В 1869 г.

я установил следующий закон, названный периодическим: «Свойства простых тел, состав их соединений и свойства последних являются периодическими функциями атомных весов». Из числа возможных приложений этого закона приведу только следующие: 1. Этот закон является основой полной системы элементов. 3. Периодический закон указывает на пропуски, существующие в системе известных элементов, а также и их соединений. Например, имеются пропуски в группах III и IV пятой серии. Я назвал элементы, которые остаются открыты, экаалюминием E1 и экасилицием Es».

Описывая далее свойства экаалюминия, рассчитанные на основании периодического закона, Менделеев, ссылаясь на открытие галлия Буабодраном, уверенно заявляет: «Если последующие исследования подтвердят тождество свойств, которые я только что перечислил для экаалюминия, со свойствами галлия, то это будет поучительным примером полезности периодического закона».

Буабодран с удивлением и вначале с некоторым неудовольствием познакомился с письмом Менделеева и его заметкой в журнале. Он никогда не слышал о существовании в далеком Петербурге химика Менделеева. К тому же он, естественно, полагал, что свойства нового элемента могут быть характеризованы лишь на основе экспериментальных определений, и неожиданное вмешательство Менделеева казалось ему неуместным.

Однако через несколько лет, когда исследования нового элемента были в основном закончены, Буабодран писал (в большой статье о галлии в «Химическом словаре Вюрца» — дополнительный том), указывая, что он 20 лет изучал теоретические работы с целью найти пути для обнаружения неизвестных еще элементов и исследовал химические реакции, которые могли бы на основе гипотез привести к открытию таких элементов, но безуспешно. Касаясь открытия периодического закона и сделанных на его основе предсказаний существования еще неизвестных элементов, Буабодран далее писал: «Сомнения в справедливости первых попыток классификации элементов, возможно, помешали обратить то внимание на предсказания Менделеева, которого они заслужили. Но когда в 1875 г. галлий был открыт Буабодраном и когда несколько позднее его атомный вес и химические свойства были совершенно точно установлены, значительность предсказаний Менделеева поразила все умы... Замечательно, что плотность нового элемента строго соответствует той, которая была предсказана Менделеевым...»

Здесь речь идет о плотности (удельном весе) металлического галлия. Первое определение Буабодрана дало значение плотности 4,7, в то время как Менделеев предсказывал зна-

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТ

ПЕРИОДЫ	I					
1	(H)	II	III	IV	V	
2	Li ³ _{6,939} ЛИТИЙ	Be ⁴ _{9,0122} БЕРИЛЛИЙ	5 10,811 B БОР	6 12,01115 C УГЛЕРОД	7 14,0067 N АЗОТ	
3	Na ¹¹ _{22,9898} НАТРИЙ	Mg ¹² _{24,305} МАГНИЙ	13 26,9815 Al АЛЮМИНИЙ	14 28,086 Si КРЕМНИЙ	15 30,9738 P ФОСФОР	
4	K ¹⁹ _{39,102} КАЛИЙ	Ca ²⁰ _{40,08} КАЛЬЦИЙ	Sc ²¹ _{44,956} СКАНДИЙ	Ti ²² _{47,90} ТИТАН	V ²³ _{50,94} ВАНАДИЙ	
	29 63,546 Cu МЕДЬ	30 65,37 Zn ЦИНК	31 69,72 Ga ГАЛЛИЙ	32 72,59 Ge ГЕРМАНИЙ	33 74,9216 As МЫШЬЯ	
5	Rb ³⁷ _{85,47} РУБИДИЙ	Sr ³⁸ _{87,62} СТРОНЦИЙ	Y ³⁹ _{88,905} ИТТРИЙ	Zr ⁴⁰ _{91,22} ЦИРКОНИЙ	Nb ⁴¹ _{92,90} НИОБИЙ	
	47 107,868 Ag СЕРЕБРО	48 112,40 Cd КАДМИЙ	49 114,82 In ИНДИЙ	50 118,69 Sn ОЛОВО	51 121,75 Sb СУРЬМА	
6	Cs ⁵⁵ _{132,905} ЦЕЗИЙ	Ba ⁵⁶ _{137,34} БАРИЙ	La ⁵⁷ _{138,91} ЛАНТАН	Hf ⁷² _{178,49} ГАФНИЙ	Ta ⁷³ _{180,94} ТАНТАЛ	
	79 196,967 Au ЗОЛОТО	80 200,59 Hg РУТУТЬ	81 204,37 Tl ТАЛЛИЙ	82 207,19 Pb СВИНЕЦ	83 208,980 Bi ВИСМУТ	
7	Fr ⁸⁷ _[223] ФРАНЦИЙ	Ra ⁸⁸ _[226] РАДИЙ	Ac ⁸⁹ _[227] АКТИНИЙ	Ku ¹⁰⁴ _[264] КУРЧАТОВИЙ	105	
* Л А Р						
Ce ⁵⁸ _{140,12} ЦЕРИЙ	Pr ⁵⁹ _{140,907} ПРАЗЕОДИМ	Nd ⁶⁰ _{144,24} НЕОДИМ	Pm ⁶¹ _[147] ПРОМЕТИЙ	Sm ⁶² _{150,35} САМАРИЙ	Eu ⁶³ _{151,96} ЕВРОПИЙ	Gd ⁶⁴ _{157,25} ГАДОЛИНИЙ
** А К						
Th ⁹⁰ _{232,038} ТОРИЙ	Pa ⁹¹ _[231] ПРОТАКТИНИЙ	U ⁹² _{238,03} УРАН	Np ⁹³ _[237] НЕПТУНИЙ	Pu ⁹⁴ _[244] ПЛУТОНИЙ	Am ⁹⁵ _[243] АМЕРИЦИЙ	Cm ⁹⁶ _[247] КЮРИЙ

Рис. 2. Периодическая система

Таблица элементов Д.И. Менделеева

	VII		VIII	
	1 1,00797 H ВОДОРОД	2 4,0026 He ГЕЛИЙ		
VI	8 15,9994 O КИСЛОРОД	9 18,9984 F ФТОР	10 20,179 Ne НЕОН	
	16 32,064 S СЕРА	17 35,453 Cl ХЛОР	18 39,948 Ar АРГОН	
Cr 24 51,996 ХРОМ	Mn 25 54,9380 МАРГАНЕЦ	Fe 26 55,847 ЖЕЛЕЗО	Co 27 58,9332 КОБАЛЬТ	Ni 28 58,71 НИКЕЛЬ
34 78,96 Se СЕЛЕН	35 79,904 Br БРОМ	36 83,80 Kr КРИПТОН		
Mo 42 95,94 МОЛИБДЕН	Tc 43 [99] ТЕХНЕЦИЙ	Ru 44 101,07 РУТЕНИЙ	Rh 45 102,905 РОДИЙ	Pd 46 106,4 ПАЛЛАДИЙ
52 127,60 Te ТЕЛЛУР	53 126,9044 I ИОД	54 131,30 Xe КСЕНОН		
W 74 183,85 ВОЛЬФРАМ	Re 75 186,2 РЕНИЙ	Os 76 190,2 ОСМИЙ	Ir 77 192,2 ИРИДИЙ	Pt 78 195,09 ПЛАТИНА
84 [210] Po ПОЛОНИЙ	85 [210] At АСТАТ	86 [222] Rn РАДОН		

Обозначение элемента Атомный номер

Li 3 6,959 ЛИТИЙ	Атомный вес
------------------------	-------------

В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов

Т а н о и д ы

Tb 65 158,924 ТЕРБИЙ	Dy 66 162,50 ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 164,90 ГОЛЬМИЙ	Er 68 167,26 ЭРБИЙ	Tm 69 168,934 ТУЛИЙ	Yb 70 173,04 ИТТЕРБИЙ	Lu 71 174,97 ЛЮТЕЦИЙ
----------------------------	------------------------------	----------------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------------	----------------------------

И н о и д ы

Zk 97 [247] ЗЕРКЛИЙ	Cf 98 [252] КАЛИФОРНИЙ	Es 99 [254] ЭЙНШТЕЙНИЙ	Fm 100 [257] ФЕРМИЙ	Md 101 [257] МЕНДЕЛЕВИЙ	(No) 102 [255] (НОБЕЛИЙ)	Lr 103 [256] ЛОУРЕНСИЙ
---------------------------	------------------------------	------------------------------	---------------------------	-------------------------------	--------------------------------	------------------------------

чение плотности близкое к 6. Повторное последующее определение Буабодрана дало значение плотности 5,96.

История открытия галлия и блестящее оправдание предсказаний Менделеева произвели огромное впечатление в ученом мире. Статьи Менделеева, которые ранее оставались почти незамеченными, привлекли к себе всеобщее внимание. Потребовался их срочный перевод на английский и французский языки. Это был подлинный триумф периодического закона и автора его открытия.

Прошло всего лишь несколько лет, и смелые предсказания Менделеева были вновь дважды подтверждены при открытии экабора-скандия и экасилиция-германия.

В начале 1879 г. шведский химик Л. Ф. Нильсон в поисках новых редкоземельных элементов исследовал минералы эвксенит и гадолинит. Результатом этих исследований было открытие нового элемента, названного скандием. На этот раз числовые характеристики свойств скандия оказались в точности совпадающими с характеристиками, полученными Менделеевым на основании периодического закона. Указывая на полное совпадение экспериментально установленных и предсказанных Менделеевым свойств скандия, Нильсон писал в своем сообщении об открытии скандия: «Следовательно, не остается никакого сомнения, что в скандии открыт экабор... так подтверждаются самым наглядным образом мысли русского химика, позволившие не только предвидеть существование названного простого тела, но и наперед дать его важнейшие свойства».

И, наконец, в 1886 г. немецкий химик К. А. Винклер — профессор Горной академии в Фрейберге, анализируя незадолго перед тем открытый в Саксонии минерал аргиродит, обнаружил в нем новый неизвестный элемент, названный им **германием**. Как только в журналах появились первые сообщения об открытии нового элемента, к Винклеру обратились несколько видных химиков с письмами, в которых указывалось, что германий, вероятно, представляет предсказанный Менделеевым экасилиций. Да и сам Винклер после некоторых сомнений пришел к этому же выводу, несмотря на то, что свойства нового элемента еще не были достаточно обстоятельно изучены.

В связи с открытием германия между Винклером и Менделеевым завязалась оживленная переписка. В частности, обсуждался вопрос о названии нового элемента, так как в печати появились возражения против предложенного Винклером названия «германий». Менделеев согласился с новым названием и в своем письме к Винклеру осудил узконационалистические взгляды некоторых ученых. Между прочим, Менделеев писал: «...Я люблю свою страну, как мать, а свою науку — как дух, который благословляет, освещает и объединяет все

народы для блага и мирного развития духовных и материальных богатств».

Открытие германия было третьим блестящим триумфом периодического закона и его автора. Скептицизм и сомнения, существовавшие еще у некоторой части ученых по отношению к периодическому закону, сменились теперь полнейшей уверенностью в его величайшем научном значении.

Ученый мир не без оснований ждал известий о новых крупных открытиях, сделанных на основе периодического закона.

Уже в восьмидесятых годах прошлого столетия периодический закон стал прочной базой для разнообразных исследований химиков и физиков всего мира. Началось систематическое изучение всех элементов и возможных новых типов их соединений. Были сделаны важные обобщения, установлены взаимные переходы свойств соединений от одного элемента к другому. Неорганическая химия, еще в середине столетия переживавшая некоторый застой на фоне быстрых и блестящих успехов органической химии, получила теперь важнейшую основу и новые стимулы для дальнейшего быстрого развития. В особенности получили развитие интенсивные поиски еще неизвестных элементов, на которые указал Менделеев в своих статьях 1871 г.

Троекратное и полное подтверждение предсказаний Менделеева о существовании и свойствах еще неизвестных элементов укрепило в среде ученых сознание могущества науки, значения широких теоретических обобщений.

Хорошо известно, что в первой половине и середине XIX в. появилось множество различных теорий, касающихся природы и «конституции» атомов и молекул, начиная с известной гипотезы Проута и электрохимической теории Берцелиуса. Все эти теории, казавшиеся вначале вполне обоснованными, быстро отвергались, заменяясь другими теориями, которые, в свою очередь, были весьма недолговечны. При таком положении создавалась атмосфера недоверия к теориям, недооценки теоретических исследований и обобщений.

Именно поэтому открытие периодического закона было принято большинством ученых столь равнодушно. И только блестящие подтверждения предсказаний Менделеева, сделанных на основе периодического закона, ознаменовали собой поворотный пункт в теоретических исследованиях в области химии. Уже в 80-х годах прошлого столетия история науки регистрирует небывалое оживление теоретических обобщений. В эти годы возникла стереохимия и получила быстрое развитие теория строения, термодинамика, теория растворов и другие области теоретических исследований.

Говоря о значении диалектики в природе и обществе и, в частности, о значении закона перехода количества в качество,

Ф. Энгельс указывает на открытие Менделеевым периодичности свойств химических элементов как на блестящий пример, подтверждающий всеобщность этого закона. «Менделеев, — писал Энгельс, — применив бессознательно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил научный подвиг, который смело можно поставить рядом с открытием Лемверье, вычислившего орбиту еще неизвестной планеты — Нептуна».

Новые испытания и новые триумфы периодического закона

В 80-х годах прошлого столетия периодический закон стал общепризнанным законом природы. Общепризнанными стали и главные принципы, лежавшие в его основе, — представление о вечности и неизменяемости атомов и уверенность, что относительный вес атомов одного и того же элемента строго одинаков. Менделеев писал в 1889 г. («Основы химии», изд. 5): «Ныне атомами называют лишь индивидуумы простых тел, неделимые ни физическими, ни химическими силами, а индивидуумы сложных тел, неделимые при физических изменениях, называют частицами, которые делимы химическими силами на атомы».

Казалось, что эти представления об атомах вполне незыблемы и что задачи химиков в части приложения периодического закона сводятся, с одной стороны, к открытию еще неизвестных элементов, долженствующих занять пустующие клетки в периодической системе, и, с другой стороны — к сопоставлению химических свойств соединений различных элементов.

Однако быстрое развитие науки вскоре поставило под вопрос эти простейшие представления. В связи с этим еще при жизни Менделеева периодический закон подвергся серьезным испытаниям.

Через несколько лет после открытия германия в 1892 г. английский физик Р. Дж. Рэлей, исследуя плотность газов, обнаружил странное явление. Оказалось, что плотность азота, выделенного из атмосферного воздуха и полученного разложением нитрата аммония, различается в третьем знаке. Причину этого расхождения попытался объяснить У. Рамзай, заподозривший присутствие в атмосфере неизвестного тяжелого газа. Рамзай вспомнил о старом опыте Г. Кавендиша (1784 г.), пытавшегося путем пропускания электрических искр через обогащенный кислородом воздух превратить в окислы весь содержащийся в нем азот. Это ему не удалось осуще-

ствить. Повторив опыт Кавендиша, Рэлей и Рамзай исследовали оставшийся в приборе пузырек газа и обнаружили в нем наличие неизвестного газообразного элемента (1894 г.), оказавшегося химически вполне инертным. Новый газ получил название **аргон**. В следующем году был открыт еще один инертный газ — **гелий**, присутствие которого задолго до этого было спектроскопически обнаружено в солнечной атмосфере.

Работая над усовершенствованием периодического закона, Менделеев подозревал существование элементов между водородом и литием. Однако аргон, казалось, не находил себе места в периодической системе. В связи с этим Менделеев, узнав об открытии нового газа, предположил, что он представляет собой соединение трех атомов азота наподобие соответствующего соединения кислорода — озона. Он высказал эту идею в поздравительной телеграмме Рамзаю. Однако эта точка зрения Менделеева не была подтверждена и возникло затруднение при определении места аргона в периодической системе.

В 1896 г. Рамзай пришел к выводу, что оба новых газа должны быть размещены в периодической системе в особой нулевой группе. Воспользовавшись методом Менделеева, он предсказал одновременно существование и других инертных газов и рассчитал их свойства — сопоставлением вновь открытых и гипотетических элементов нулевой группы со свойствами галогенов и щелочных металлов. Действительно, вскоре были открыты неон, криптон и ксенон, а в дальнейшем радон. Предсказания Рамзая о свойствах новых газов, составивших нулевую группу периодической системы, прекрасно подтвердились и Менделеев полностью согласился с выводами Рамзая.

В настоящее время все эти газы формально уже нельзя называть инертными, так как получены соединения для криптона и ксенона. Поэтому все эти газы правильнее разместить в восьмой группе периодической системы.

Периодический закон с честью выдержал испытание, оказавшееся, однако, далеко не последним.

Вскоре после открытия А. Беккерелем так называемых «урановых лучей» (1896 г.) супруги Мария Кюри-Склодовская и Пьер Кюри начали исследования над ионизацией газов, вызываемой солями урана. Вначале было установлено, что интенсивность уранового излучения пропорциональна количеству урана и не зависит от внешних условий. Подобные же свойства обнаруживали и соли тория. Таким образом, стало очевидным, что новое излучение представляет собой особое свойство атомов урана и тория, и супруги Кюри назвали это свойство **радиоактивностью**.

Дальнейшие исследования явления радиоактивности об-

наружили, что некоторые образцы урановой руды (урановая смолка) показывают значительно более сильную радиоактивность по сравнению с солями урана. Исследование причин этого явления привело к открытию радия и полония (1898 г.). Через год А. Дебьерн сообщил об открытии актиния, вслед за ним Э. Резерфорд с сотрудниками открыли радон (вначале названный эманием или эманацией радия).

Само по себе открытие всех этих элементов не противоречило периодическому закону. Существование большинства их даже было предвидено Менделеевым в 1871 г. Однако свойства этих элементов, как было вскоре показано, казалось, подрывали саму основу периодического закона, т. е. признание неизменности атомов.

Дело в том, что, исследуя ионизацию воздуха под действием радиоактивного излучения, супруги Кюри заметили, что тела, находящиеся вблизи радиоактивного источника, приобретают радиоактивные свойства, сохраняющиеся в течение некоторого времени по удалении радиоактивного препарата. Явление это, названное «индуцированной активностью», было предварительно объяснено Резерфордом. По его мнению, радиоактивные элементы дают некое «истечение» (по латыни «эманация»), которое как бы пропитывает находящиеся поблизости тела. Было обнаружено, что эманация вызывает фосфоресценцию некоторых веществ, например сернистого цинка.

Вскоре Э. Резерфорд и Ф. Содди доказали, что эманация представляет собой газ, подчиняющийся закону Бойля и обладающий свойствами инертных газов. Резерфорд показал также, что наряду с эманацией радиоактивные элементы выделяют гелий. Таким образом, было установлено, что атомы радия самопроизвольно разрушаются с образованием эманации радия (радон) и гелия. То же самое было показано и для других радиоактивных элементов. Старая концепция о вечности и неразрушимости атомов оказалась несостоятельной.

Менделеев, как и некоторые ученые других стран, отнесся ко всем этим открытиям с известным скептицизмом. Менделеев, в частности, советовал с осторожностью оценивать новые факты, мотивируя это тем, что опыты по радиоактивности производились с весьма малыми количествами веществ. Однако он живо следил за всеми новыми сообщениями. В 1902 г. он посетил лабораторию супругов Кюри в Париже. Ему был продемонстрирован опыт с индуцированной активностью (свечение эманации радия), который произвел на него большое впечатление; у него тотчас же возникли в связи с этим гипотезы о мировом эфире и существовании сверхлегких элементов. В новом издании «Основ химии» Менделеев писал о радиоактивности: «Вообще же предмет этот представляет одно из блистательнейших открытий, но в то же

время одно из наиболее загадочных конца XIX и начала XX столетия, и можно надеяться, что его разработка... будет немало содействовать дальнейшему реальному выяснению существующих сведений как о свете и электричестве, так и о мировом эфире, хотя на этом новом и трудном пути должно держаться с большой осторожностью».

Между тем исследования явлений радиоактивности продолжали развиваться весьма быстрыми темпами. Еще при жизни Менделеева в самом начале текущего столетия супругами Кюри и Резерфордом было показано, что природа радиоактивных излучений различна; было обнаружено существование трех видов излучения: альфа-лучей, представляющих собой ионизированные атомы гелия, бета-лучей, состоящих из потока электронов, и гамма-лучей, представляющих собой жесткое (коротковолновое) световое излучение.

Оказалось, что продукты распада урана, радия, тория и актиния, образующиеся при альфа-излучении, в свою очередь, распадаются с выделением бета- и гамма-лучей. Новые продукты оказываются также неустойчивыми и, распадаясь с альфа-, бета- и гамма-излучениями, дают новые и новые радиоактивные элементы. В течение первого десятилетия XX в. таким образом было установлено существование многочисленных радиоактивных элементов с различной продолжительностью жизни или «периодом полураспада», т. е. времени, в течение которого исходное количество радиоактивного элемента уменьшается вдвое.

К 1910 г. в основном были исследованы звенья распада урана, тория и актиния, составившие так называемые «ряды распада», наглядно показывающие переходы от одного радиоактивного элемента к другому при распаде с выделением соответствующих излучений. Изучение химических свойств всех этих элементов (некоторые из них обладали весьма малой продолжительностью жизни, измеряемой несколькими минутами) показал, что они дают химические реакции, характерные для уже известных элементов, в частности урана, тория, радия, висмута и свинца. Тем не менее все эти радиоактивные элементы в то время считались еще самостоятельными элементами. Некоторые из них получили даже собственные названия (ионий, мезоторий и др.). К 1912 г. стало известно 37 таких элементов.

Казалось, что для радиоактивных элементов нет места в периодической системе. Все они обладали высокими атомными весами, а соответствующие клетки периодической системы были уже заполнены. Задача размещения новых элементов в системе казалась неразрешимой.

Однако уже в 1913 г. эта задача была блестящим образом решена. Ф. Содди и К. Фаянс предложили разместить все 37 элементов в девяти клетках периодической системы, уже за-

нятых известными элементами с атомными весами больше 204. При этом на одно и то же место в системе попадало по несколько химически вполне сходных элементов, но с несколько различающимися значениями атомных весов. Содди предложил называть такие элементы **изотопами** (т. е. занимающими одно и то же место), Фаянс ввел для групп элементов, занимающих одну и ту же клетку периодической системы, название «плеяда».

Таким образом, и на этот раз периодический закон Д. И. Менделеева с честью выдержал испытание. Открытие изотопов оказалось весьма плодотворным как для дальнейшего развития периодического закона, так и для науки вообще. Естественно, изменилось и самое понятие — элемент. Главным признаком элемента стало его положение в периодической системе. Доказательство существования изотопов объяснило, в частности, малопонятный до этого факт дробности значений атомных весов элементов, т. е. отклонение значений атомных весов от целых чисел.

Открытие изотопии касалось не только короткоживущих радиоактивных элементов, состоящих из атомов нестабильных изотопов. Было установлено и существование стабильных изотопов на примере свинца. Оказалось, что последним звеном в рядах распада урана, тория и актиния является «свинец». Но урановый «свинец», как показали определения, имел атомный вес 206, ториевый — 208, а актиниевый — 207.

В том же 1913 г. было сделано еще одно крупнейшее открытие, которое привело к дальнейшему совершенствованию периодического закона. Английский физик Г. Мозелей исследовал длину волн рентгеновских лучей, испускаемых различными элементами. Он обнаружил, что длины волн главных линий рентгеновского спектра закономерно изменяются от одного элемента к другому. Это открытие позволило Мозелею расставить все элементы в строгий ряд соответственно длинам волн главных линий рентгеновского спектра. Получившийся ряд, начиная с водорода и кончая ураном; был пронумерован: для каждого элемента характерной величиной стало его **порядковое число**, или **атомный номер**.

Положение элементов в периодической системе после введения атомного номера не изменилось. Наоборот, были подтверждены предложенные еще Менделеевым аномальные (по величине атомного веса) места некоторых элементов, (теллур и иод, аргон и калий, кобальт и никель, протактиний и торий). Кроме того, были уточнены места (и число) еще не открытых элементов и окончательно решен вопрос о месте в периодической системе и числе редкоземельных элементов.

Открытие Мозеля придало периодической системе современную форму и внесло новый, глубокий смысл в периодический закон. Отныне главным признаком элемента, определяю-

Этим место элемента в периодической системе, стал атомный номер.

Остановимся кратко на вопросе о размещении редкоземельных элементов в периодической системе. История открытия и изучения редких земель крайне запутана. В течение почти 150 лет многие выдающиеся химики затратили много усилий на выяснение природы редкоземельных элементов, пока вопрос об их размещении в периодической системе не был окончательно выяснен.

С тех пор, как финский ученый И. Гадолин в 1794 г. выделил из минерала иттербита иттриевую землю, долгое время не удавалось получить сколько-нибудь надежных данных об их свойствах. Правда, в течение первой половины XIX в. стали известны земли церия, лантана, дидимия, иттрия и тербия. Однако эти земли были получены в нечистом состоянии и некоторые из них, как дидимовая земля, впоследствии были разложены. Открытие спектрального анализа (1859 г.), хотя и дало в руки химиков новое мощное средство исследования, в данном случае не привело к решению проблемы. Природа редких земель и содержащихся в них элементов оставалась загадочной. Даже само название — редкие земли, по существу, ошибочно, так как оно было дано исходя из предположения об аналогии этих элементов с «землями» щелочно-земельных металлов.

В своей первой таблице элементов (1869 г.) Менделеев поместил пять редкоземельных элементов — церий, эрбий, иттербий, дидим и лантан, однако не в группе щелочно-земельных металлов. Такое размещение было, конечно, гипотетическим, и тотчас же возник вопрос об истинном месте элементов редких земель в периодической системе и об определении их точных атомных весов. В последующих таблицах периодической системы Менделеев несколько уточнил положение редкоземельных элементов, относя их к третьей группе; впрочем, гипотетический дидим был помещен даже в пятой.

Блестящие триумфы периодического закона, как уже говорилось, стимулировали исследования по поискам еще неизвестных элементов. Оживились исследования и редкоземельных элементов. Начиная с 80-х годов прошлого столетия и до начала текущего столетия было открыто 11 редкоземельных элементов. В связи с этим проблема размещения всех этих элементов (вместе с известными ранее) резко обострилась.

Задача эта была решена усилиями ряда ученых, и прежде всего чешского ученого Б. Браунера, который был причислен Менделеевым к числу «укрепителей» периодического закона. Еще на рубеже 80-х годов Браунер приступил к определению точных атомных весов редкоземельных элементов и к уста-

новлению формул их кислородных соединений. Однако первые выводы о различной валентности по кислороду редкоземельных элементов и, следовательно, об их размещении в различных группах периодической системы оказались ошибочными. Продолжая исследования, Браунер пришел к выводу, что химические свойства всех редкоземельных элементов весьма близки друг к другу, и это обстоятельство привело его к мысли поместить все эти элементы в одну клетку периодической системы. В 1902 г. Браунер предложил в восьмом ряду периодической системы прямо переходить от лантана и церия к танталу (гафрий в то время был еще неизвестен). При этом все редкоземельные элементы, исключая лантан, были отнесены к четвертой группе. Браунер мотивировал свое предложение, в частности, существованием в восьмой группе периодической системы плеяд нескольких элементов (триад), расположенных в одной клетке. В принципе идея Браунера оказалась весьма плодотворной, и в дальнейшем пришлось (на основании дополнительных исследований) перенести все редкоземельные элементы в третью группу аналогов лантана (лантаноиды).

Окончательное решение вопроса о таком размещении редкоземельных элементов в периодической системе, однако, пришло не сразу. Лишь в 1914 г. на основании изучения рентгеновских спектров элементов Мозелем было определено как общее число редкоземельных элементов, равное 15, так и атомные номера этих элементов от 57 (для лантана) до 71 (для лютеция). В группе редких земель долгое время оставался неоткрытым элемент с атомным номером 61. Он был получен синтетическим путем в 1945 г. и получил название **прометий**.

История попыток размещения редкоземельных элементов в периодической системе — эпизод, оказавшийся одним из испытаний периодического закона. Это испытание, как и другие, закончилось вполне благополучно, и периодический закон обогатился новым дополнением, весьма важным для дальнейшего развития науки. При открытии трансурановых элементов физики и химики с самого начала имели в виду, что группа трансурановых элементов аналогична группе лантанидов.

Итак, открытие новых, часто совершенно неожиданных фактов после 1869 г. неоднократно служило серьезной проверкой для периодического закона. Казалось иногда, что новые факты не укладываются в рамки периодического закона и ставят под сомнение ее положение как всеобщего закона природы.

Но закон, открытый великим русским ученым Д. И. Менделеевым, не только с честью прошел через все испытания, но и получил новые важные доказательства, новые блестящие

теоретические и экспериментальные подтверждения. Вместе с тем на основе периодического закона были сделаны крупнейшие открытия, расширившие наши знания о материи и ее свойствах, открывшие завесу тайны о строении атомов, о закономерностях распределения элементов на земле и в космосе.

В свете новейших открытий периодический закон остается незыблемым всеобщим законом природы. Его формулировка, данная в 1871 г. Д. И. Менделеевым, лишь несколько уточнена в настоящее время. В своей современной форме периодический закон может быть сформулирован следующим образом: «Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел, стоят в периодической зависимости от атомного номера и определяются строением атомов».

Строение атомов и периодический закон

В

ажным следствием периодического закона является современное учение о строении атомов. Основные открытия в этой области относятся к первым десятилетиям текущего столетия и были сделаны физиками, исходившими из гипотезы об электронном строении атома на основе квантовой теории.

В конце XIX в. был открыт электрон. Возникли первые, далеко не совершенные модели структуры атомов, основанные на гипотезе о равномерном распределении положительного и отрицательного электричества во всем объеме атома. Эти модели оказались несостоятельными.

В 1911 г. Э. Резерфорд, исследуя природу альфа-частиц, поставил такой опыт: он бомбардировал альфа-частицами тонкие металлические листочки и обнаружил, что альфа-частицы при этом рассеиваются, т. е. изменяют свой путь, отклоняясь иногда на 90° , а иногда даже как бы отскакивают от поверхности металла и двигаются в обратном направлении. Резерфорд объяснил это явление особенностями структуры атомов. По его представлениям, в дальнейшем полностью подтвержденным, атомы состоят из весьма малого и электрически заряженного положительного атомного ядра, в котором сосредоточена практически вся масса атома. Вокруг ядра находятся электроны, так что в целом атом электро нейтрален.

При бомбардировке альфа-частицами металлической фольги некоторая их часть проходит препятствие, не изменяя своего направления. Значительная часть альфа-частиц отклоняется от своего направления в большей или меньшей степени в результате действия сил отталкивания между положительно заряженным ядром атомов и положительно заряженными альфа-частицами. Лишь немногие альфа-частицы из потока попадают в ядро, отскакивают от него, отталкиваясь согласно закону Кулона, и двигаются в обратном направлении.

Важнейшие результаты в установлении строения атома были получены на основе квантовой теории света и расщепления спектра атома водорода. Еще в 1903 г. немецкий физик М. Планк высказал предположение, согласно которому излучение и поглощение света не являются непрерывными, т. е. например, раскаленное тело не может излучать свет в любых сколь угодно малых количествах. Согласно теории Планка световой поток состоит из **фотонов** или **световых квантов** с различной энергией, зависящей от длины волны света (или обратной ей величины — частоты колебаний — ν). Планк предложил уравнение для расчета энергии — E одного кванта света:

$$E = h\nu,$$

где h — так называемая постоянная Планка, равная $6,6252 \cdot 10^{27}$ эрг/сек. Вскоре этот вывод Планка был подтвержден А. Эйнштейном исходя из других соображений.

В 1913 г. датский физик Нильс Бор, усовершенствовав модель Резерфорда, разработал планетарную модель атома. По его представлению, атом состоит из очень маленького по размерам ядра, обладающего положительным зарядом, и вращающихся вокруг этого ядра электронов. Ядром простейшего атома водорода служит протон, вокруг которого движется по круговой орбите один электрон. Модель Бора внешне похожа на Солнечную систему, в которой вокруг Солнца вращаются планеты. Силы взаимного притяжения между Солнцем и, например, Землей компенсируются центробежной силой Земли, вращающейся на определенном расстоянии, с определенной массой. В атоме вращающиеся вокруг ядра с большой скоростью электроны (по расчетам, скорость вращения электронов близка к скорости света) притягиваются к ядру благодаря электростатическому взаимодействию зарядов ядра и электрона.

Исходя из этой модели и основываясь на теории квант, Бор объяснил положение характерных линий спектра атомов водорода. Дело в том, что согласно законам классической физики ядро водородного атома и вращающийся вокруг него электрон представляют собой электромагнитную систему. Вращение электрона с огромной скоростью должно сопровождаться потерей энергии на лучеиспускание, в результате чего электрон должен был бы все ближе и ближе приближаться к ядру, причем скорость его движения должна возрастать. В этом случае спектр водорода должен быть непрерывным, соответствующим постепенному изменению частоты вращения электрона.

Такие классические представления, однако, противоречили экспериментальным данным. Известно, что спектр водорода — линейчатый, т. е. состоит из нескольких характерных линий, отвечающих определенным длинам волн света.

Воспользовавшись теорией квант Планка—Эйнштейна, Бор принял следующую гипотезу: если электрон, вращаясь на какой-либо орбите, испускает квант энергии, то он переходит на другую низшую орбиту. На этой новой орбите его энергия оказывается, таким образом, на $h\nu$ меньшей, чем на высшей орбите. Отсюда вытекало, что электрон водородного атома может вращаться вокруг протона только на строго определенных орбитах (только в этом случае атом находится в устойчивом состоянии). Если электрон обладает минимальным количеством энергии, то атом находится в **нормальном** состоянии. Приобретая квант энергии, например, в результате поглощения кванта света, он переходит на более высокую орбиту и атом становится **возбужденным**.

Бор рассчитал радиус орбиты электрона в нормальном и возбужденных состояниях и вычислил длины волн спектральных линий водорода.

Теория Бора, хорошо подтверждаемая опытными данными, оказалась, однако, далеко не достаточной при объяснении сложных спектров атомов других элементов, кроме водорода. Стало очевидно, что для установления реальных отношений между ядром и электронами в атомах элементов необходимо знать еще другие детали в поведении электронов.

Через 10—12 лет после опубликования исследований Бора были установлены новые и важные факты в познании микрокосмоса. В 1925 г. было доказано, что электроны, вращающиеся вокруг ядра атома, вращаются также и вокруг своей оси. Такое вращение приводит к возникновению магнитного момента, или, как принято говорить, магнитного поля **спина** электрона. Магнитное поле спина электрона взаимодействует с магнитным полем вращающегося вокруг ядра электрона.

В том же 1925 г. французский физик Луи де-Бройль сделал очень важное открытие. Он показал, что электроны, у которых до тех пор признавались лишь свойства мельчайшей частицы материи, обладают волновыми свойствами, т. е. ведут себя одновременно и как частицы и как световые излучения. Таким образом, можно говорить о длинах волн электронов.

Почти одновременно немецкий физик В. Паули высказал так называемый **принцип запрета**, исключая существование в системе атома двух электронов в одинаковом энергетическом состоянии, т. е. обладающих одними и теми же

квантовыми числами. Если, например, в атоме гелия два электрона вращаются по одной орбите, то это возможно лишь в случае, когда спины обоих электронов противоположны.

Все эти теоретические и экспериментальные открытия были обобщены в **квантовой** и **волновой** механике, основанной В. Гейзенбергом и Э. Шредингером. Одной из важнейших задач квантовой механики является установление основных характеристик структуры атомов. С помощью уравнений квантовой механики возможно рассчитать средние величины, характеризующие, например, среднее расстояние электронов от ядра, среднюю скорость их вращения и другие величины.

До 1934 г. считали, что ядра атомов состоят из протонов (т. е. ядер атома водорода) и электронов. Вскоре после открытия новой элементарной частицы **нейтрона** Д. Чэдвигом в 1932 г. возникла протонно-нейтронная теория строения атома¹. Нейтрон представляет собой элементарную частицу с массой, немного превышающей массу протона, но электрически нейтральную. Число протонов в ядре атома каждого элемента строго постоянно. Оно характеризует положительный заряд ядра и точно соответствует атомному номеру. Так как атом в нормальном состоянии электронейтрален, то вокруг ядра должно обращаться число электронов, в точности равное атомному номеру. Что же касается числа нейтронов в ядре атома, то оно для различных изотопов данного элемента несколько различается. Так, например, в ядре атома всех изотопов урана содержится 92 протона. В изотопе урана-234 содержится 142 нейтрона, а в ядре изотопа урана-238 — на 4 нейтрона больше.

Несмотря на то что эти представления полностью подтверждаются экспериментальными данными и теоретическими соображениями, оставалось неясным, каков характер взаимодействия протонов и нейтронов в ядре и какими силами эти частицы в тяжелых атомах связаны друг с другом. Существует точка зрения, выдвинутая еще в 1935 г. японским физиком Х. Юкавой, что устойчивость атомных ядер связана с наличием в них элементарных частиц — **мезонов**, обладающих массой, промежуточной между массами протона и электрона (примерно в 270 раз превышающими массу электрона). Недавно эта точка зрения подтвердилась. В 1947 г. Пауэллом и сотрудниками были открыты так называемые пи-мезоны, которым и приписывается особая роль в структуре и устойчивости атомных ядер.

Проблема электронной структуры атомов различных эле-

¹ Первым высказал идею о протонно-нейтронном строении атомных ядер советский физик Д. Д. Иваненко в 1934 г.

ментов была решена в 20-х и 30-х годах текущего столетия на основе периодического закона и квантово-механических представлений. Было установлено, что ядра атомов всех элементов (кроме водорода и гелия) окружены несколькими концентрическими электронными оболочками. Общее число электронов, вращающихся вокруг ядра атома, равно атомному номеру элемента. Наружная оболочка состоит из «валентных» электронов, определяющих способность атомов вступать в определенные соединения с другими атомами.

Внутренние электронные оболочки содержат различное число электронов. Так, ближайшая к атомному ядру оболочка, обозначаемая латинской буквой *K*, всегда (за исключением атома водорода) содержит 2 электрона. Следующая оболочка *L* состоит из 8 электронов, третья оболочка *M* — из 18 электронов, четвертая оболочка *N* — из 32 электронов. Такое распределение электронов характерно для атомов, оболочки которых вполне сформированы. Так у всех атомов (кроме водорода) вполне заполнена оболочка *K*. Оболочка *L* заполнена у элементов, начиная с неона, оболочка *M* — у атомов тяжелее криптона и оболочка *N* — у атомов тяжелее ксенона. Таким образом, полное завершение формирования соответствующих оболочек характерно для атомов инертных газов и атомов элементов, следующих за ними в новых периодах периодической системы.

Обозначения оболочек *K*, *L*, *M*, *N*, ...соответствуют главным квантовым числам электронов — 1, 2, 3, 4, ... Число электронов в каждой из оболочек равно, таким образом, $2n^2$, т. е., например, вполне сформированная оболочка *M* (3) должна состоять из 18 электронов, оболочка *N* (4) — из 32 электронов и т. д.

Помимо основных электронных оболочек, различают так называемые подоболочки, обозначаемые малыми латинскими буквами — *s*, *p*, *d*, *f*. Первая оболочка *K* содержит только *s*-электроны, оболочка *L* состоит из *2s*- и *6p*-электронов, в оболочке *M* содержится *2s*, *6p* и *10d* электронов. Электронную структуру атома можно записать в следующем виде. Числа электронов в подоболочках обозначаются цифрой справа сверху у символа подоболочки. Вместо буквенных обозначений основных оболочек при этом употребляются главные квантовые числа. Так, электронную структуру атома азота можно записать: $1s^2, 2s^2, 3p^3$. Электронная структура серебра — $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^{10}, 4s^2, 4p^6, 4d^{10}, 5s^1$ и т. д.

У более тяжелых атомов существуют оболочки *O* (начиная с рубидия), *P* (начиная с цезия) и *Q* (начиная с франция). Строение этих оболочек отличается некоторыми особенностями. Особенно сложно строение электронных оболочек редкоземельных и трансурановых элементов.

Установление строения атомов и их электронной структуры представляет собой одно из наиболее блестящих достижений науки. Проникновение в тайны микрокосмоса ознаменовало собой наступление новейшей эпохи в развитии химии и физики. Основой и исходным пунктом грандиозных успехов науки в этой области явился периодический закон химических элементов Д. И. Менделеева.

Периодический закон Д. И. Менделеева и современная наука

П

ериодический закон химических элементов, открытый в 1869 г. великим русским ученым Д. И. Менделеевым, стал основой всего дальнейшего развития науки. С его помощью были получены многочисленные данные об элементах и их соединениях, установлено общее число существующих в природе элементов, выяснены важные закономерности химического поведения элементов при образовании ими соединений. На основе периодического закона была детально установлена структура атомов всех элементов, их ядер и электронных оболочек. Все эти замечательные достижения стали прочной основой современного естествознания.

В свете новейших открытий сам периодический закон получил новый облик. Его универсальный характер всеобщего закона природы стал вполне очевидным. Символы химических элементов, размещенные в клетках периодической системы, сопровождаются теперь не только значениями атомных весов, как это было при жизни Д. И. Менделеева, но и другими более важными характеристиками — атомным номером элементов, данными об электронной структуре атомов, указаниями о валентности атомов и сведениями о числе изотопов того или иного элемента. Современная периодическая система, наглядно представляющая внутреннюю связь между свойствами всех химических элементов, таким образом, включает в себя обширный комплекс сведений (рис. 2).

Вот почему периодический закон с полным основанием можно назвать путеводной звездой при изучении химии, при ориентировке в сложнейшем лабиринте беспредельного многообразия веществ и их взаимных переходов.

Едва ли возможно перечислить все разнообразные пути применения периодического закона в современной науке. Можно лишь сказать, что периодический закон служит важнейшим руководящим принципом при научных исследованиях во всех областях химии и во многих областях физики и других естественных наук. С его помощью химии предваритель-

но планируют и осуществляют новые типы соединений, объясняют их особые свойства и определяют области их применения и использования. На основе периодического закона планируются пути ядерного синтеза сверхтяжелых элементов, так же как и схемы распада ядер элементов при бомбардировке их различными частицами в специальных устройствах.

Периодический закон дает важнейшие указания в геологической разведке полезных ископаемых, в геохимических, космических и биогеохимических исследованиях, в почвоведении, в агрохимии, при разработке новых фармацевтических препаратов, при подборе катализаторов для промышленного осуществления разнообразных химических превращений и во многих других областях научного исследования.

Наша страна, давшая миру автора периодического закона химических элементов, добилась грандиозных успехов во всех этих областях науки. Советские ученые успешно решают в наши дни задачу, поставленную Программой КПСС, принятой XXII съездом партии — занять ведущее положение в мировой науке по всем важнейшим направлениям исследований.

Д. И. Менделеев 100 лет назад работал фактически как ученый-одиночка. Он не получал никакой поддержки от царского правительства и даже не мог иметь учеников и помощников. Жизнь и деятельность Д. И. Менделеева отразили трагическое положение русской науки и русских ученых при царизме, имевших смелость в условиях реакции и косности выступать с новыми идеями, раскрывать неизведанные тайны природы, пробуждая в широких народных массах жажду к знаниям и свободе.

Только благодаря Великой Октябрьской социалистической революции Россия стала первой страной, где наука органически сочетается с интересами народа и государства, где ученые и народ составляют единый организм, осуществляя великие предначертания Коммунистической партии.

В год празднования столетия открытия периодического закона химических элементов нашим соотечественником Д. И. Менделеевым мы невольно сопоставляем темное прошлое царской России со светлым настоящим Советского Союза и смело смотрим в будущее нашего народа и всего человечества. Мы чтим талант, высокие научные идеалы и патриотизм Д. И. Менделеева. Сегодня многочисленные советские наследники Дмитрия Ивановича, выполняя его заветы, высоко несут знамя передовой науки и советского патриотизма.

Содержание

Введение	5
Предшественники Д. И. Менделеева	7
Как был открыт периодический закон	13
Триумф периодического закона	24
Новые испытания и новые триумфы периодического закона	29
Строение атомов и периодический закон	37
Периодический закон Д. И. Менделеева и современная наука	43

Николай Александрович ФИГУРОВСКИЙ

**Открытие и утверждение
периодического закона
Д. И. Менделеева**

Редактор **В. А. ПОЗДЫШЕВ**

Художник **А. П. КУЗНЕЦОВ**

Художественный редактор **Е. Е. СОКОЛОВ**

Технический редактор **Л. А. ДОРСДНОВА**

Корректор **Б. А. ПУЗАКОВА**

А 01461, Сдано в набор 16.XII 1968 г. Подписано к печати 6.III 1969 г. Формат бумаги 60×90/16. Бумага типографская № 1. Бум. л. 1,5. Печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,41. Тираж 43 700 экз. Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Заказ 3524. Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 9 коп.

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!

Вы только что прочли книгу доктора химических наук Н. А. Фигуровского «Открытие и утверждение периодического закона Д. И. Менделеева».

Если Вы приобрели ее в книжном магазине или киоске, сообщаем Вам, что эта работа вышла в подписной серии «Химия», выпускаемой издательством «Знание». Всего в серии издается 12 номеров в год. Следующие выпуски вы можете получить прямо на дом, подписавшись в любом отделении связи или у общественных распространителей печати по месту вашей работы или учебы. Это удобно, тем более, что не все книги этой серии поступают в розничную продажу.

Подписка на эту серию проводится на год, полугодие или квартал. В каталоге «Союзпечати» Вы найдете эту серию в разделе «Научно-популярные журналы» под рубрикой «Брошюры издательства «Знание». Стоимость подписки на один квартал — 27 коп. Индекс серии 70074.

До конца 1969 г. подписчики серии «Химия» получают, в частности, следующие работы:

Н. П. Сажин, академик. «Химия и технология чистых веществ».

П. П. Будников, член-корреспондент и др. «Вулканические стекла».

А. Т. Натрадзе, кандидат химических наук. «Химия лекарственных веществ».

И целый ряд других интересных работ.

Издательство «Знание»

