

Национальная академия наук Украины  
Донецкий физико-технический институт  
им. А.А. Галкина

**А . В . Г О Р О Х**

**ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.  
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

Донецк - 2002

УДК 539.183.3 + 539.183.5 : 511.2

**Горох А.В.**

Периодическая система химических элементов. Генетический аспект.- Донецк, ДонФТИ НАНУ, 2002.- 81 с.

В книге на основе выявленных автором закономерностей изменения потенциалов ионизации изоэлектронных ионов изложена концепция о формировании атомов, как химических индивидов, в нисходящей по атомному номеру последовательности. Периодическая система с этих позиций предстает как естественный ряд химических элементов, энергетически ранжированный по убывающей величине заряда ядра.

В книге решен ряд дискуссионных вопросов Периодической системы, аргументированно определена ее верхняя граница.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов в области физики и химии, на преподавателей и студентов университетов и технических ВУЗов. Книга может использоваться в качестве справочного пособия при физико-химических, кристаллохимических и астрофизических расчетах.

**Gorokh A.V.**

Periodic system of chemical elements. The genetic aspect.- Donetsk, DonPhTI, NAS of Ukraine, 2002.- 83 p.

In the book, a concept of the formation of atoms as chemical individuals in the descending with respect to the atomic number series is set forth basing on the found by the author regularities in changes of the isoelectronic ion ionization potentials. From the above standpoint, the periodic system is a natural series of chemical elements with energetically ranking by the decreasing value of nuclear charge.

A number of discussive problems on the Periodic system has been solved and the upper boundary of the system has been reasonably determined in the book.

The book is intended for experts in chemistry and physics, teachers and students of higher educational technical institutions. It can be used as a handbook for physico-chemical, crystallo-chemical and plasma physics calculations.

Илл. 15. Табл. 13. Библ. 44.

Рецензенты: доктор физ.-мат. наук А.А. Боргардт,  
кандидат химических наук Р.О. Кочканя

**ISBN 966-95187-2-5**

**ББК – Г114.2:В36**

**Г70**

© А.В. Горох, 2002

## ОБ ЭТОЙ КНИГЕ

Периодическая система химических элементов (ПС), в структуре мира составленного из атомов – является определяющим законом. Развитие квантовой механики на протяжении XX ст. дало нам возможность понять, как и почему существует электрон в атоме, но не привело к заметному прогрессу в расчете сложных атомов, как вследствие сложности задач, так и по недостатку строгих математических методов. А это оставляет широкие возможности для продвижения вперед путем логического анализа ПС.

Автором в предлагаемой книге и извлекается максимально возможная информация о структуре и параметрах электронных оболочек сложных атомов – из открытых им закономерностей по изменению потенциалов ионизации изоэлектронных ионов. Автор, основываясь на определенных аномалиях в заполнении электронных оболочек атомов, которые накапливаются с ростом  $Z$ , справедливо замечает, что то, что называют «генетическим описанием построения элементов» – логично представлять в направлении от тяжелых элементов к легким, а не наоборот, как это принято обычно. К этому добавляются интересные и вполне логичные соображения о формировании атомов в первичной «горячей» Вселенной.

Раздел «О структуре электронных оболочек атомов естественного ряда химических элементов» является ключевым. Для построения оболочек автор использует открытую им закономерность  $\sqrt{E} = f(Z)$  ( $E$  – энергия связи изономерных электронов) в атомах естественного ряда химических элементов. В качестве критерия, позволяющего выстроить по энергиям нисходящий ряд химических элементов, от предельного  $Z$  до 1, – берется энергия связи электронов с ядром. Особый интерес представляет проблема существования предела зарядового числа  $Z$  в ПС. Она связана с тем, что скорость электрона на ближайшей к ядру орбите – возрастает по мере увеличения заряда ядра, и поскольку она ограничена скоростью света  $C$ , то и не может быть атомных ядер с зарядовым числом, большим этого предельного  $Z_0$ . Если его увеличить, то произойдет К-захват электрона ядром, автоматически снижающий его заряд на единицу. Согласно расчетам Дж.Дарвина по теории П.Дирака, такое предельное  $Z_0 = \hbar c^2 / e^2$ , или просто 137. Подобный результат – подчеркнем это специально, получен строго в релятивистской одноэлектронной задаче, а значит и рассматриваться должен как предельный. Поэтому возникает вопрос, а как влияет на это наличие других электронов? Из соображений автора, против которых трудно возразить, следует, что наличие всех остальных электронов только дестабилизирует ситуацию, и наоборот – ощутительно снижает предел устойчивости, до  $Z \sim 125$ . Дальнейшие успехи в синтезе трансурановых элементов должны будут прояснить этот интересный вопрос окончательно.

Книга А.В.Гороха, помимо новых идей, содержит и ряд новых конкретных результатов, которые должны интересовать всех тех, кто имеет дело с таблицей Менделеева. Ее издание – как нельзя более актуально.

Ведущий научный сотрудник  
ДонФТИ НАН Украины  
доктор физ.-мат. наук, профессор

А.Боргардт

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Д.И.Менделеев, понимая фундаментальность и неисчерпаемость открытого им периодического закона, говорил, что будущее ему "не грозит разрушением, а только надстройкой и развитием обещаются" [1].

Прошли годы, и периодическая система стала, по справедливому замечанию авторов работы [2], для многих столь очевидной и привычной, что ее склонны рассматривать в качестве своего рода таблицы умножения в химии. Однако, взгляд на нее, как на нечто законченное, пишут авторы, глубоко ошибочен, ибо он является отражением слишком упрощенного понимания явления периодичности. Эту упрощенность авторы видят во-первых в том, что не определена верхняя граница естественного ряда химических элементов и мы не знаем правомерно ли экстраполировать известные нам закономерности в область гипотетических элементов с  $Z > 105$ . Без знания верхней границы системы невозможна целостная оценка явления периодичности.

Другое упрощение, по мнению Б.М.Кедрова и Д.Н.Трифорова, связано с преувеличением степени упорядоченности элементов в системе.

Проблема упорядочения всего множества химических элементов имеет два аспекта. Первый - это упорядочение по монотонно возрастающей величине  $Z$ . Эта упорядоченность строгая и вопросов не вызывает. Другой аспект - это упорядочение химических элементов по периодам и по группам. Здесь проблема до конца не решена.

Исторически сложились два определения понятия период: химическое (каноническое) и физическое (формальное). Согласно первому определению период - это совокупность элементов, начинающаяся щелочными металлами и заканчивающаяся благородным газом. Второе определение основано на представлениях о последовательности построения электронных конфигураций (s, p, d, f) атомов по мере роста  $Z$  и сводится к тому, что начинается период ns- элементами, а заканчивается пр-элементами. Именно такой принцип разбиения естественного ряда химических элементов на периоды принят в современной теории, основанной на постулатах квантовой механики. Соответственно, критерием упорядочения элементов по группам выступает подобие электронных структур атомов, составляющих вертикальные ряды таблицы Менделеева. Преувеличенность оценки указанных упорядочений состоит в том, что в ней не принят во внимание ряд отклонений, наблюдающихся в этих упорядочениях.

В упорядочении по периодам таким отклонением является завершение первого периода ns-, а не np-элементом, как в остальных периодах. Во многих случаях нарушается строгая s, p, d, f последовательность в заполнении уровней электронами в атомах одного и того же периода с ростом Z. Нарушение монотонности в формировании подооболочек отмечается в группе так называемых элементов четвертого и пятого периодов, у лантана (57), гадолиния (64) и ряда других элементов. В интервале  $Z = 90 - 95$  отсутствует заметное различие между 6d- и 5f-электронами, поэтому есть основание выделять "смешанный" ряд 6d- и 5f-элементов, как их целостную совокупность. До настоящего времени не решена проблема непротиворечивого размещения лантаноидов (58 - 71) и трансактиниевых элементов (90 - 105) непосредственно в структуре периодической системы. Все эти неувязки дали толчок тому, что вслед за каноническим вариантом таблицы Менделеева было создано несколько десятков других таблиц - длинных, лестничных, пирамидальных, спиральных и т.п. [3]. Предпринимались попытки и чисто математического моделирования периодической системы. Одной из них было создание таблицы химических элементов даже на основе представлений об атоме, как бесструктурной частице [4].

Полностью разделяя мнение цитируемых авторов по затронутым вопросам и, считая их решение актуальной задачей, нельзя обойти вниманием еще один аспект понимания периодической системы химических элементов.

Д.И.Менделеев, говоря о том, что время не грозит периодическому закону разрушением, указывал также, что постижение периодического закона обещает очень много для понимания самой природы химических элементов. Об этом же говорили и другие исследователи, однако, каких-либо определенных критериев для генетической интерпретации периодической системы предложено не было. Лишь недавно, на основе установленной зависимости величины потенциалов ионизации изоэлектронных атомов (ионов) от  $Z - \sqrt{E_i} = f(Z)$  [5] такая возможность появилась. Выявленная зависимость позволяет судить об эволюции теплового состояния высокотемпературной плазмы, из которой формировались атомы, и об энергетической очередности их становления, как химических индивидов - от тяжелых элементов к легким. Увязка местоположения атомов с очередностью появления у них электронных оболочек и является основой генетической интерпретации периодической системы.

Анализ следствий, вытекающих из зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , позволяет подойти к решению многих из вышеперечисленных

проблем, в том числе и проблемы верхней границы периодической системы. Итогом этого анализа и посвящена настоящая работа.

На примере полученных результатов хотелось также напомнить читателям, особенно молодым - старшеклассникам, студентам, начинающим научным работникам, что истин в последней инстанции в науке не существует. Проиллюстрировать этими материалами справедливость слов А.Эйнштейна, который говорил: "Понятия, которые оказываются полезными при упорядочении вещей, легко завоевывают у нас такой авторитет, что мы забываем об их земном происхождении и принимаем их как нечто неизменно данное. Тогда они становятся "необходимостями мышления", "данными a'priori" и т.д. Поэтому, если мы настаиваем на необходимости проанализировать давно установленные понятия..., то это не праздная забава. Этим самым разбивается их преувеличенная власть" [6]. К этим словам А.Эйнштейна хотелось бы добавить и высказывание П.Дирака: "Посвящая себя исследовательской работе, нужно стремиться сохранить свободу суждений и ни во что не следует слишком верить, всегда надо быть готовым к тому, что убеждения, которых придерживался в течение долгого времени, могут оказаться ошибочными" [7].

Кроме сказанного, стимулом для написания книги явился тот неподдельный интерес к затрагиваемым проблемам, какой проявляли все, с кем автору доводилось их обсуждать на различных семинарах, симпозиумах и конференциях.

Первыми, кто морально поддержал автора на трудном пути выдвижения новых представлений в столь разработанной области, как периодическая система, были профессора А.А.Боргардт и Л.Н.Овандер, за что им искренняя благодарность и признательность. Автор благодарен академиком РАН Н.А.Ватолину, представившему основополагающую статью к опубликованию в Докладах АН СССР, и В.А.Коротееву за благожелательное отношение к моим изысканиям во время работы в Институте минералогии УрО РАН.

Сердечная благодарность коллегам по работе - сотрудникам Донецкого физико-технического института им.А.А.Галкина НАН Украины за добрые советы, участие и помощь в работе над рукописью.

# 1. О ФОРМИРОВАНИИ АТОМОВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Основными структурными составляющими атомов химических элементов являются, как мы знаем, атомные ядра и электроны. Возникновение атомных ядер и формирование атомов, как химических индивидов, обусловленное "обрастанием" ядер электронами - это два самостоятельных этапа на пути эволюционного преобразования высокотемпературной протоматерии в химические элементы. Образование ядер [8] шло при сверхвысоких энергиях, исчисляемых мегаэлектрон-вольтами (энергия связи ядер, приходящаяся на один нуклон, 8 МэВ), а присоединение электронов к ядрам - в диапазоне энергий от тысяч до единиц электрон-вольт ( $1 \cdot 10^4$  -  $0,4 \cdot 10^1$  эВ). Поскольку химические свойства элементов определяются, главным образом, взаимодействием электронов с ядрами, мы в дальнейшем будем рассматривать только этот аспект формирования атомов, не касаясь проблемы образования самих ядер.

## 1.1. О последовательности формирования электронных оболочек атомов по существующим представлениям

В литературе, начиная с классических работ Н.Бора [9], А.Зоммерфельда [10] и заканчивая современными учебными курсами и справочникам по атомной физике и химии [11-14], а также популярными публикациями, например [15], формирование электронных оболочек атомов химических элементов дается в последовательности от легких элементов к тяжелым. Так в работе [11] говорится, что при переходе от элемента с атомным номером  $Z$  к следующему, более тяжелому элементу с номером  $Z+1$ , т.е. при увеличении заряда ядра на единицу, присоединится и  $(Z+1)$ -й электрон, занимая уровень, которому отвечает наименьшая возможная энергия. Такая схема формирования электронного окружения атомов является, по словам Зоммерфельда, "генетическим описанием построения элементов от водорода до урана" [10, стр.141]. Если переходить от элемента к элементу в порядке их нумерации, пишется в упомянутой [15] научно-популярной книге по периодической системе, то электронная оболочка будет расти подобно снежному кому: новый электрон каждого последующего элемента будет "напластовываться" на электронную оболочку каждого предшествующего или внедряться в нее. Отсюда следует, пишется далее, что любой последующий элемент сохраняет в себе электронную конфигурацию (структуру) любого предшествующего.

В справочнике [16] также говорится, что периодичность физико-химических свойств связана с существованием электронных оболочек атома, постепенно заполняющихся с возрастом  $Z$ .

Согласно сказанному и в соответствии с представлениями о квантовании энергии общая картина формирования электронных оболочек атомов по современным представлениям выглядит следующим образом.

Электрон, присоединяясь к ядру водорода ( $Z = 1$ ), располагается на первом энергетическом уровне - К (главное квантовое число  $n = 1$ ) и занимает подуровень  $1s$ . Далее формируется оболочка гелия ( $Z = 2$ ), путем присоединения двух электронов, которые также занимают  $1s$  подуровень в К-слое.

В атомах следующих восьми элементов - Li( $Z=3$ ), Be(4), B(5), C(6), N(7), O(8), F(9), Ne(10), кроме К-уровня (или К-слоя), формируется следующий слой - L, квантовое число которого  $n = 2$ . Здесь третий и четвертый электроны, считая от ядра, занимают  $2s$ -подуровень, а 5-й - 10-й электроны располагаются в  $2p$ -подуровне.

Аналогичным образом идет формирование электронных оболочек и у атомов следующих восьми элементов от Na(11) до Ar(18): 1-й - 10-й электроны образуют К и L-слои, а 11-й - 18-й электроны - M-слой с  $3s$ - и  $3p$ - подуровнями.

Описываемая картина формирования электронных оболочек в целом выдерживается и для атомов следующих по номеру элементов. Однако в ряде случаев отмечаются аномалии. Так, согласно идеальной схеме заполнения энергетических уровней в атомах, в третьем квантовом слое должны формироваться три подуровня -  $3s$ ,  $3p$ ,  $3d$  с максимальным числом электронов в каждом подуровне - 2, 6, 10. Первым элементом в таблице Менделеева, атомы которого должны содержать три электронных подуровня, является калий ( $Z = 19$ ). Соответственно, девятнадцатый электрон у калия должен быть  $3d$ -электроном. У следующего элемента - кальция ( $Z = 20$ ) девятнадцатый и двадцатый электроны также должны занять  $3d$ -подуровень. Согласно же существующим представлениям эти электроны принадлежат  $4s$ -оболочке. Считается также, что и у следующих восьми элементов, которые называются переходными - Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, при не полностью сформированном  $3d$ -подуровне начинает формироваться  $4s$ -подуровень четвертого квантового слоя - N.

В атомах следующих восьми элементов, начиная с меди ( $Z = 29$ ) и заканчивая криптоном ( $Z = 36$ ), последовательно, без аномалий заканчивается формирование  $3d$ -подуровня с десятью электронами и формируются  $4s$ - и  $4p$ -подуровни четвертого квантового слоя.



Построение электронных оболочек в атомах следующих девяти элементов, от рубидия ( $Z = 37$ ) до родия ( $Z = 45$ ), снова идет аномально. При несформированном или частично сформированном 4d-подуровне здесь формируется 5s-подуровень пятого квантового слоя - O, подобно тому как описывалось образование 4s-подуровня в атомах K - Ni при несформированном 3d-подуровне.

От палладия ( $Z = 46$ ) до ксенона ( $Z = 54$ ) идет безаномальное формирование электронных оболочек - полностью застраивается 4d-подуровень и формируются 5s- и 5p-подуровни.

Формирование электронных оболочек в атомах следующих 24 элементов, начиная с цезия ( $Z = 55$ ) и заканчивая платиной ( $Z = 78$ ), снова идет аномально. В одних атомах (Cs, Ba) при несформированном предыдущем пятом слое начинается формирование шестого квантового слоя (6s-подуровня), а в других - от церия ( $Z = 58$ ) до платины, якобы достраиваются внутренние 4f- и 5d-подоболочки при уже сформированном внешнем 6s-подуровне.

Электронные оболочки наиболее тяжелых атомов - от золота (79) до урана (92) и заурановых элементов строятся также аномально: при отсутствии 5f-подуровня застраиваются 6s, 6p, 7s и 7p-подуровни и лишь затем формируется внутренняя 5f-оболочка.

Целостная картина очередности заполнения энергетических уровней электронами в атомах, по современным представлениям [14] дана в табл. 1 и в табл. 1 Приложения.

Первое, на что хотелось бы обратить внимание, анализируя вышеизложенное, это на аномалии в очередности "застройки" энергетических уровней электронами, когда уровни с большим главным квантовым числом якобы застраиваются раньше уровней с меньшим  $n$ . Поскольку такая последовательность "застройки" уровней находится в противоречии с основным положением квантовой механики, согласно которому уровни с большим  $n$  не могут формироваться раньше уровней с меньшим значением главного квантового числа, то стали искать возможное объяснение этому. И одним из таких объяснений стало так называемое правило Клечковского [17], согласно которому общая энергия электрона определяется не столько значением главного квантового числа, сколько значением суммы главного и побочного (азимутального) квантовых чисел -  $n+l$ . Искусственность этого правила, не подкрепленного данными по энергии связи соответствующих электронов, очевидна. На наш взгляд, корректнее усомниться в реальности отмечаемых аномалий, чем прибегать к их объяснениям с позиций типа правила Клечковского.

Таблица 1

Сравнительная схема очередности заполнения квантовых слоев электронами в атомах по существующим представлениям и по данным настоящей работы

Номер квантового слоя и его наименование	Количество последовательно присоединяющихся электронов	
	по существующим представлениям [14]	по данным настоящей работы
1 (K)	2	2
2 (L)	8	8
3 (M)	8	18
4 (N)	2	18
3 (M)	10	
4 (N)	6	
5 (O)	2	32
4 (N)	10	
5 (O)	6	
6 (P)	2	32
4 (N)	14	
5 (O)	10	
6 (P)	6	
7 (Q)	2	
5 (O)	14	

Нельзя также не отметить несогласованность традиционного словесного описания последовательности формирования электронных оболочек у атомов конкретных элементов, о чем говорилось выше, и схемы, представленной на рис.1. Обобщенная схема фактически перечеркивает представление о восходящей очередности присоединения электронов к ядрам - от легких элементов к тяжелым, а также утверждение, что любой последующий элемент сохраняет в себе электронную конфигурацию любого предшествующего. Это становится очевидным, если к решению вопроса об очередности формирования электронных оболочек атомов привлечь конкретные данные о потенциалах ионизации, величина которых и определяется величиной энергии связи соответствующего электрона с ядром. Так для 1s-электрона, принадлежащего K-слою, величина энергии связи его с ядром ( $E_{1s}$ ) определяется выражением

$$\sqrt{E_{1s}} = \frac{\sqrt{13,606 Z}}{n}, \quad (1)$$

где: 13,606 - постоянная Ридберга;

$Z$  - заряд ядра;

$n$  - главное квантовое число, равное 1.

Следовательно, если формирование атомов, как было сказано ранее, шло из высокотемпературной плазмы, то естественно, что первый электрон должен был присоединиться в первую очередь к наиболее тяжелому ядру, с которым у него наибольшая энергия связи. Так, если для урана  $E_{1s} = 115160$  эВ, а для водорода всего 13,6 эВ, то естественно, что до тех пор, пока температура плазмы не снизится до значений, соответствующих 13,6 эВ, формирование атомов водорода невозможно. В атоме же урана и в атомах других элементов, более тяжелых чем водород, 1s-подуровень несомненно сформируется раньше.

Поскольку энергия связи электронов глубоких уровней в атомах тяжелых элементов намного превышает величину 13,6 эВ и величину энергии связи внешних электронов у большинства легких элементов, то из этого следует, что картину "генетического описания построения элементов" надо рисовать в последовательности не от водорода до урана, а от тяжелых элементов к легким. При этом необходимо строго опираться на данные по величине энергии связи каждого из электронов в атомах каждого из элементов. Этим вопросам и будут посвящены следующие разделы.

## **1.2. Энергетическая последовательность формирования атомов естественного ряда химических элементов**

Если в вопросе о происхождении химических элементов исходить из представлений о "горячей ранней Вселенной" [8], то само формирование атомов, точнее их электронных оболочек, можно связывать, как было сказано выше, только с процессом остывания первичной высокотемпературной плазмы, представлявшей смесь ядер, протонов и электронов.

Для того, чтобы наглядно представить процесс перехода плазменного состояния материи в атомное рассмотрим вначале обратный процесс - образование плазмы из нейтральных атомов [18]. Если в замкнутом сосуде нагревать какое-либо вещество, то оно сначала пройдет агрегатные превращения: твердое  $\rightarrow$  жидкость  $\rightarrow$  пар, затем атомизацию молекул пара и, наконец, ионизацию атомов. С увеличением температуры относительная доля ионов и электронов в газовой смеси быстро возрастает. Так для водорода при  $T = 1 \cdot 10^4$  К число ионизированных атомов составляет меньше 10% от общего числа атомов, а при температуре  $3 \cdot 10^4$  К практически все атомы ионизированы (рис.1).

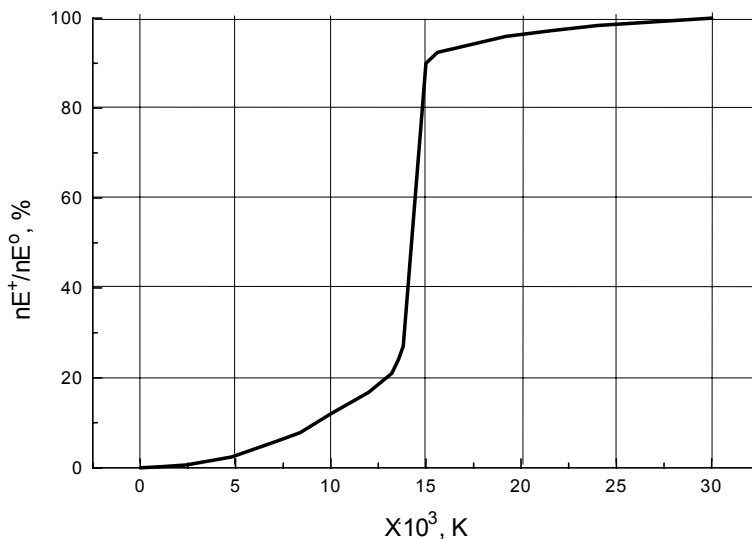


Рис.1. Изменение степени ионизации (отношения числа ионизированных атомов к числу нейтральных –  $nE^+/nE^0$ , %) при нагревании водорода ( $X \cdot 10^3$ , K) [18]

Поскольку у водорода один электрон, то при  $T \sim 3 \cdot 10^4$  K ионизация заканчивается. У атомов с большим числом электронов, обладающих разной энергией связи с ядром, при температуре  $(2 - 3) \cdot 10^4$  K отрывается только часть электронов, принадлежащая к внешним слоям оболочки, а для полной ионизации необходима энергия в тысячи и сотни тысяч электрон-вольт.

Если теперь рассмотреть обратный процесс, т.е. процесс охлаждения полностью ионизованной плазмы, то картина, естественно, будет прямо противоположной, как в кинофильме с обратным движением кадров - "обрастание" ядер электронами начнется с наиболее тяжелых элементов, постепенно захватывая, по мере снижения температуры, все более легкие. Последовательность присоединения каждого из электронов, слагающих оболочку, определяется силой их притяжения к ядру, т.е. энергией связи, судить о которой можно по соответствующим потенциалам ионизации.

К настоящему времени все потенциалы ионизации экспериментально определены лишь для атомов первых двадцати восьми элементов таблицы Менделеева [19]. Для остальных элементов в справочниках приводятся данные по энергии связи только внешних (от одного до десяти-двенадцати) электронов [16].

Для водородоподобных атомов (ионов), имеющих единственный электрон, зависимость энергии связи этого электрона от  $Z$  подчиняется, как уже говорилось, соотношению (1):

$$\sqrt{E_{1s}} = \frac{\sqrt{R} Z}{n}$$

и вычислить ее не составляет труда. Что касается энергии связи электронов, принадлежащих другим энергетическим уровням в многоэлектронных атомах, то для нее столь простая зависимость считалась невозможной из-за электрон-электронного взаимодействия.

Необходимость знать величину энергии связи каждого из электронов для атомов всех элементов периодической системы привела автора к попытке найти какое-либо эмпирическое выражение, позволяющее получить хотя бы оценочные данные по энергии связи соответствующих электронов. И такое выражение в виде функции  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  было найдено [5], причем его значение вышло далеко за рамки определения собственно потенциалов ионизации. Оно позволило вычислить энергию связи каждого из электронов в атомах всех элементов периодической системы и на этой основе дать общую схему последовательности формирования электронных оболочек.

Зависимость  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  была выявлена следующим образом. Основываясь на том, что энергия связи первого электрона, как функция величины  $Z$ , описывается соотношением (1), было решено с этих позиций проанализировать и другие изоэлектронные серии ионов, по которым имелись экспериментальные значения. Построив по этим данным графики зависимости корня квадратного из энергии отрыва одинаковых по порядковому номеру, считая со стороны ядра, электронов мы обнаружили, что все они имеют вид прямых, собранных в группы, соответствующие квантовым слоям, как показано на рис.2 и рис.3. Хотя эти графики были получены на основе экспериментальных данных по энергии последовательного отрыва всех электронов лишь у атомов первых двадцати восьми элементов таблицы Менделеева и 5 - 12 внешних электронов у остальных, можно было заключить, что выявленные закономерности полностью охватывают все электронные оболочки, подобно закону Мозли, иллюстрирующему линейную связь между корнем квадратным из частоты рентгеновского излучения атома с зарядом ядра [14]

$$\sqrt{\nu} = \frac{\sqrt{R}(Z - Sn)}{n}.$$

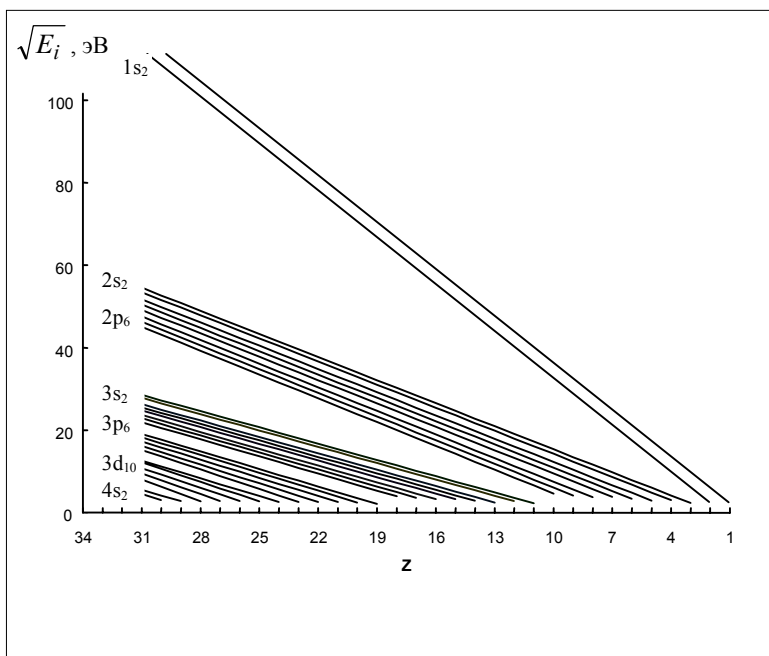


Рис.2. Графики изменения корня квадратного из энергии отрыва изономерных электронов (эВ) в зависимости от заряда ядра  $Z$ , построенные по справочным данным [19]

Поскольку графики были построены без привлечения данных о главных квантовых числах электронных слоев, представляло интерес предметно взглянуть на физический смысл величины главного квантового числа ( $n$ ), входящего в выражение (1), описывающего зависимость  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ . С этой целью был проанализирован график зависимости корня квадратного из потенциалов ионизации водородоподобных атомов (рис.4). Значения величин, по которым построен график, приведены в табл.2.

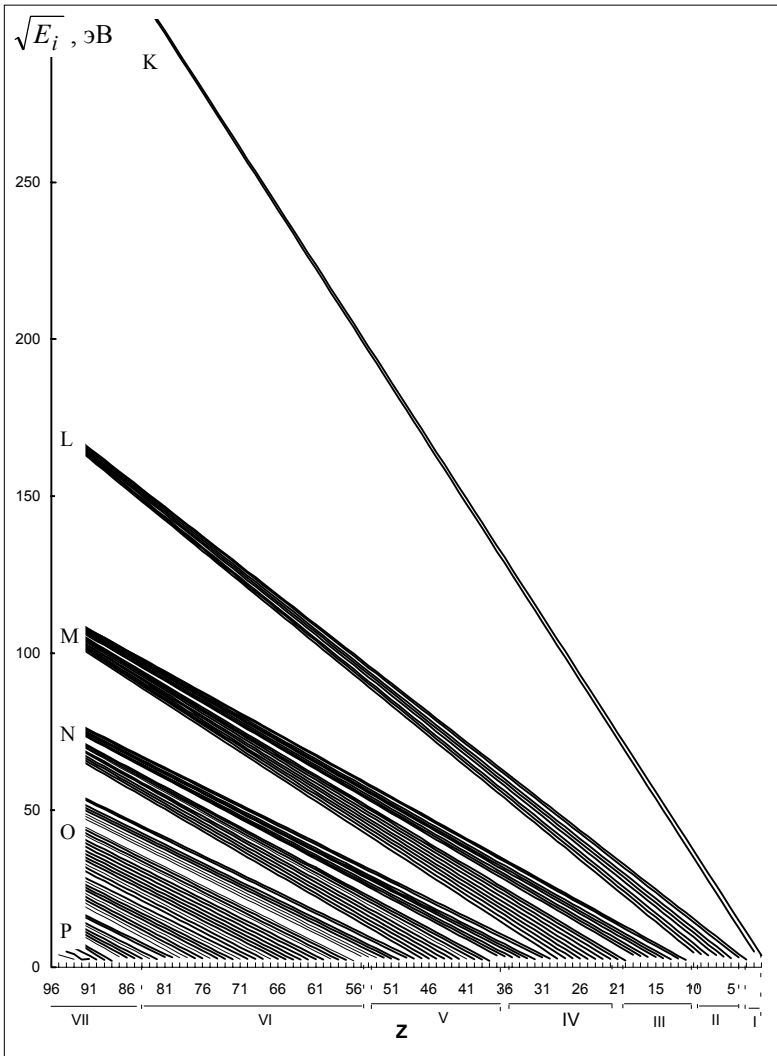


Рис.3. Графики зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  и общая структура электронных оболочек атомов естественного ряда химических элементов

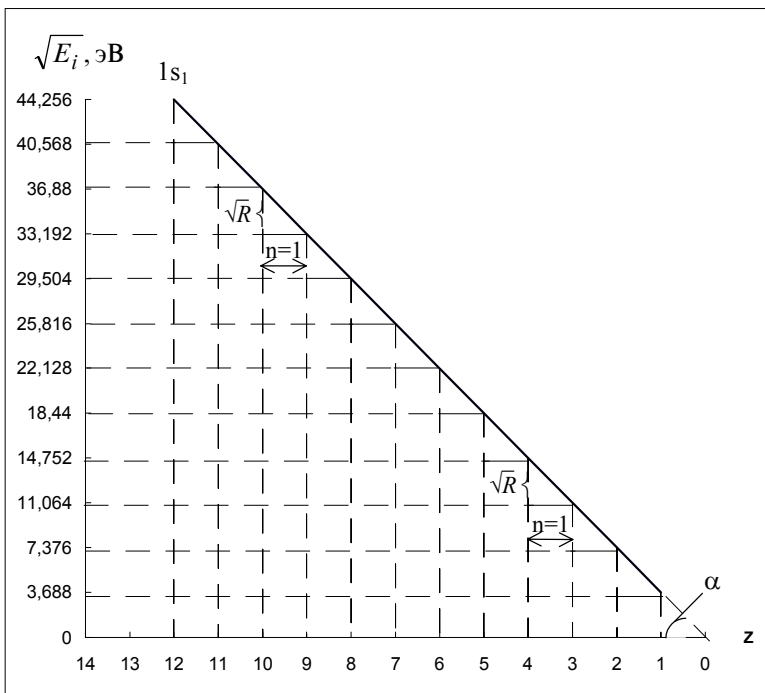


Рис.4. График зависимости  $\sqrt{E_{1s}} = f(Z)$  в водородоподобных атомах (ионах), поясняющий физический смысл главного квантового числа  $n$

Таблица 2

Величина корня квадратного из энергии связи с ядром первого, третьего и десятого, считая от ядра, электронов для ряда элементов (эВ)

Элемент	H <sup>1</sup>	He <sup>2</sup>	Li <sup>3</sup>	Be <sup>4</sup>	B <sup>5</sup>	C <sup>6</sup>	N <sup>7</sup>	O <sup>8</sup>	F <sup>9</sup>	Ne <sup>10</sup>	Na <sup>11</sup>	Mg <sup>12</sup>	Al <sup>13</sup>	Si <sup>14</sup>
$\sqrt{E_1}$	3,69	7,38	11,06	14,75	18,44	22,13	25,82	29,71	33,19	36,88	40,60	44,26	47,94	51,63
$\sqrt{E_3}$			2,32	4,27	6,16	8,03	9,89	11,75	13,61	15,46	17,31	19,16	21,02	22,87
$\sqrt{E_{10}}$										4,64	6,88	8,84	10,95	12,91



Из рисунка видно, что тангенс угла наклона графика, определяемый отношением соответствующей ординаты к соответствующей величине  $Z$ , равен 3,688:

$$\operatorname{tg} \alpha_{1s} = \frac{\sqrt{E}}{Z} = 3,688, \quad (2)$$

т.е. величине корня квадратного из постоянной Ридберга –  $\sqrt{13,606}$ . Из рисунка также видно, что ступенчатое возрастание потенциала ионизации водородоподобных атомов на величину  $\sqrt{R}$  происходит с приростом  $Z$  на один заряд. Этот шаг прироста  $Z$ , вызывающий увеличение энергии отрыва электрона на величину  $\sqrt{R}$  и является величиной, принятой за главное квантовое число  $n$ . Следовательно, главное квантовое число электрона водородоподобных атомов ( $n$ ), это  $\Delta Z = 1$ . Соответственно, тангенс угла наклона графика  $\sqrt{E_{1s}} = f(Z)$  можно выразить соотношением

$$\operatorname{tg} \alpha_{1s} = \frac{\sqrt{R}}{\Delta Z} = \frac{\sqrt{R}}{n}, \quad (3)$$

откуда

$$n \cong \frac{\sqrt{R}}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (4)$$

Приравняв (2) и (3):  $\frac{\sqrt{E}}{Z} = \frac{\sqrt{R}}{n}$ , получаем

$$\sqrt{E} = \frac{\sqrt{R} Z}{n}$$

Для других серий электронов физический смысл главного квантового числа тот же, что и для  $1s$  электронов - это также шаг прироста заряда ядра пропорциональный величине  $\sqrt{R}$  (рис.5, серия  $2s_1$ ). Однако в отличие от водородоподобных атомов величина  $n$  для электронов многоэлектронных систем является условной или, как принято ее называть, эффективной, хотя правильнее было бы назвать ее виртуальной. Это вытекает из того, что она не целочисленна, как того требует понятие заряда ядра, и коррелирует не с потенциалом ионизации равным  $\sqrt{R}$ , а лишь с величиной возрастания энергии связи электрона на  $\sqrt{R}$ . Выражается она, как это видно из графиков, также как и  $n_{1s}$  через отношение  $\sqrt{R}$  к тангенсу угла наклона прямой  $\sqrt{E_i} = f(Z)$

$$n_{i,\text{эф}} = \frac{\sqrt{R}}{\operatorname{tg} \alpha_i}. \quad (5)$$

Таким образом, использование понятия главного квантового числа в качестве одного из параметров, определяющих состояние электрона, позволяет в едином ключе, через фундаментальную константу - постоянную Ридберга, характеризовать энергетику электронов в зависимости от  $Z$  как в водородоподобных, так и в других изоэлектронных атомах.

Зависимость  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  применительно к многоэлектронным атомам описывается выражением, подобным закону Мозли

$$\sqrt{E_i} = \frac{\sqrt{R}(Z - a_i)}{n_{i,\text{эф}}}, \quad (6)$$

где  $a_i$  - постоянная экранирования. Этот параметр для  $i$ -й серии электронов представляет собой величину заряда ядра, нейтрализуемую электронами более глубоких уровней. На графике постоянная экранирования - это отрезок оси  $Z$ , отсекаемый прямой  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , как показано на рис.5. Иными словами  $a_i$  - это величина заряда ядра, при котором  $\sqrt{E_i} = 0$ . Разность  $(Z - a_i)$  - это эффективный заряд ядра для  $i$ -серии электронов -  $Z_{\text{эф}}$ .

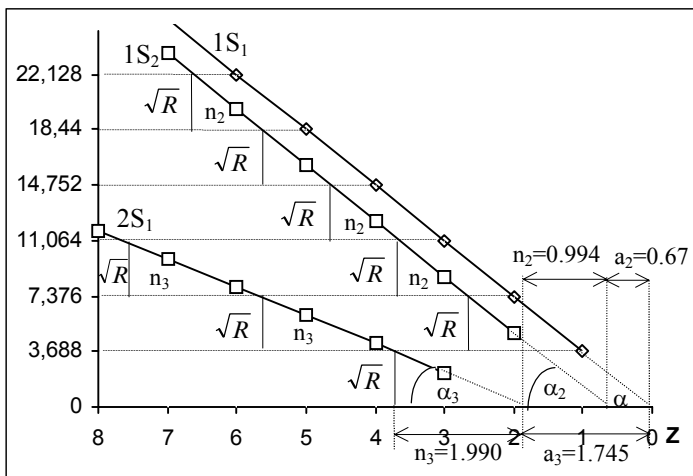


Рис.5. Графики зависимости  $\sqrt{E_{1s_1}} = f(Z)$ ;  $\sqrt{E_{1s_2}} = f(Z)$ ;  $\sqrt{E_{2s_1}} = f(Z)$ , поясняющие физический смысл главного квантового числа ( $n_2, n_3$ ) и постоянной экранирования ( $a_2, a_3$ ) для второй и третьей изономерных серий электронов в многоэлектронных атомах

Численное значение постоянной экранирования для каждой изономерной серии электронов можно определить непосредственно из графика, путем измерения длины отрезка на оси  $Z$ , отсекаемого прямой  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , или через соотношение, также вытекающее из графика -  $\sqrt{E_i} = tg\alpha_i \cdot (Z - a_i)$ , для какого-либо  $Z$ :

$$a_i = Z - \frac{\sqrt{E_i}}{tg\alpha_i}. \quad (7)$$

В табл. 3 дана сводка значений эффективного главного квантового числа и постоянной экранирования, вычисленных для каждого изономерного ряда электронов с 1-го по 92-й.

Надежность найденных значений  $n_i$  и  $a_i$  оценивалась путем вычисления через них, по соотношению (6), соответствующих ионизационных потенциалов и их сравнения со справочными величинами. Отклонение вычисленных значений от справочных составляло, в основном, 0,2-3% и изредка достигало 10%. В табл. 4 в качестве иллюстрации дано сопоставление вычисленных и справочных значений  $\sqrt{E_i}$  для атомов четырех элементов из различных групп таблицы Менделеева.

О надежности полученных значений  $n_i$  и  $a_i$  свидетельствует также практически полное совпадение сумм вычисленных ионизационных потенциалов с одной стороны и полученных по справочным данным с другой для элементов, у которых определены значения всех потенциалов ионизации (см. табл.5). Кроме того, сумма всех единичных ионизационных потенциалов, вычисленных по соотношению (6) для урана, имеющего 92 электрона, с высокой точностью (табл.5) совпадает по абсолютной величине с энергией основного состояния атома урана, находимой по уравнению, вытекающему из модели Томаса-Ферми

$$E_0 = 20,8 \cdot Z^{7/3}. \quad (8)$$

Это уравнение дает большое отклонение величины  $E_0$  от реальных ее значений для атомов легких элементов. По мере же возрастания  $Z$  отклонение резко уменьшается (рис.6) и для многоэлектронных атомов выражение (8) становится строгим [20], что и позволяет использовать его для оценки надежности вычисляемых значений энергии связи электронов в атомах.

Таблица 3

Система эффективных главных квантовых чисел  $n_i$  и постоянных экранирования  $a_i$  изономерных серий электронов

Слой	№ электрона	$n_i$	$a_i$	Слой	№ электрона	$n_i$	$a_i$	Слой	№ электрона	$n_i$	$a_i$
<b>K</b>	1	1,000	0,000	<b>N</b>	29	3,140	26,650	<b>O</b>	62	3,125	60,000
	2	0,9945	0,670		30	3,120	27,450		63	3,120	60,980
<b>L</b>	3	1,990	1,745		31	3,070	28,950		64	3,115	61,900
	4	1,980	2,350		32	3,050	29,680		65	3,110	62,800
	5	1,961	3,470		33	3,015	30,440		66	3,105	63,800
	6	1,950	4,220		34	2,990	31,460		67	3,100	64,760
	7	1,938	5,000		35	2,960	32,220		68	3,095	65,850
	8	1,923	6,050		36	2,930	33,030		69	3,200	66,800
	9	1,910	6,850		37	2,915	35,380		70	3,185	67,850
	10	1,897	7,610		38	2,890	36,160		71	3,170	68,880
<b>M</b>	11	2,800	9,280	39	2,865	37,050	72	3,155	69,750		
	12	2,780	9,950	40	2,830	38,000	73	3,140	70,600		
	13	2,750	11,175	41	2,814	39,000	74	3,125	71,600		
	14	2,734	11,900	42	2,780	40,000	75	3,105	72,650		
	15	2,715	12,630	43	2,765	41,000	76	3,085	73,570		
	16	2,690	13,650	44	2,740	42,000	77	3,070	74,500		
	17	2,674	14,400	45	2,715	43,000	78	3,055	75,530		
	18	2,655	15,150	46	2,700	43,890	79	3,405	76,250		
	19	2,597	17,530	47	3,200	44,600	80	3,360	77,050		
	20	2,581	18,250	48	3,195	45,400	81	3,340	78,750		
	21	2,556	19,250	49	3,190	46,900	82	3,320	79,550		
	22	2,534	20,200	50	3,185	47,650	83	3,300	80,580		
	23	2,514	21,210	51	3,180	48,470	84	3,280	81,450		
	24	2,487	22,200	52	3,175	49,400	85	3,260	82,320		
	25	2,464	23,200	53	3,170	50,250	86	3,240	83,120		
	26	2,440	24,150	54	3,165	51,000	87	3,234	85,300		
	27	2,416	25,150	55	3,160	53,320	88	3,228	85,990		
	28	2,392	26,200	56	3,155	54,050	89	3,222	86,650		
<b>O</b>	57	3,150	54,980	90	3,216	87,650	91	3,210	88,610		
	58	3,145	55,750	92	3,204	89,570					
	59	3,140	56,950								
	60	3,135	57,870								
	61	3,130	58,930								

Таблица 4

Сопоставление вычисленных по  $n_i$  и  $a_i$  (выч.) и справочных (спр.) значений корня квадратного из потенциалов ионизации на примере Ni, K, Ne, B

№, № электрона	Ni (28)			K (19)			Ne (10)			B (5)		
	$\sqrt{E_i}$		$\Delta$ %%	$\sqrt{E_i}$		$\Delta$ %%	$\sqrt{E_i}$		$\Delta$ %%	$\sqrt{E_i}$		$\Delta$ %%
	выч.	спр.		выч.	спр.		выч.	спр.		выч.	спр.	
1	103,258	103,87	-0,60	70,07	70,24	-0,25	36,88	36,88	0,0	18,44	18,44	0,0
2	101,345	101,39	-0,03	67,97	67,90	+0,12	34,59	34,57	+0,08	16,06	16,10	-0,25
3	48,655	48,978	-0,64	31,98	32,16	-0,18	15,30	15,46	-1,05	6,03	6,16	-2,11
4	47,770	47,91	-0,28	31,01	31,11	-0,32	14,25	14,39	-1,00	4,94	5,01	-1,40
5	46,130	46,16	-0,07	29,22	29,36	-0,48	12,29	12,57	-2,26	2,88	2,88	0,00
6	44,973	44,83	-0,33	27,95	28,05	-0,35	10,93	11,24	-2,75			
7	43,766	43,52	+0,50	26,64	26,72	-0,30	9,51	9,86	-3,50			
8	42,090	41,90	+0,46	24,84	25,08	-0,98	7,58	7,97	-4,96			
9	40,836	40,59	+0,60	23,46	23,76	-1,27	6,08	6,41	-5,12			
10	39,638	39,32	+0,80	22,14	22,44	-1,33	4,65	4,64	+0,13			
11	24,655	24,64	+0,06	12,80	13,26	-3,46						
12	23,952	23,89	+0,20	12,01	12,42	-3,34						
13	22,562	22,34	+0,99	10,49	10,86	-3,38						
14	21,721	21,54	+0,84	9,58	9,97	-3,95						
15	20,877	20,74	+0,66	8,64	9,09	-4,82						
16	19,673	19,60	+0,37	7,33	7,82	-6,21						
17	18,757	18,76	-0,02	6,34	6,77	-6,28						
18	17,848	17,82	+0,10	5,35	5,64	-5,18						
19	14,868	14,87	-0,02	2,09	2,08	+0,35						
20	13,931	14,00	-0,50									
21	12,694	12,88	-2,00									
22	11,351	(11,96)	-2,70									
23	9,960	(10,64)	-6,40									
24	8,607	(8,89)	-2,50									
25	7,184	(7,48)	-4,00									
26	5,819	6,01	-3,20									
27	4,350	4,26	+2,00									
28	2,775	2,76	+0,40									

Таблица 5

Сопоставление суммы единичных ионизационных потенциалов ( $\Sigma E_i$ ), вычисленных по  $n_i$  и  $a_i$  для ряда многоэлектронных атомов, с теоретическим (для урана) и экспериментальным (для Ni, K, Ne, V, He) ее значением ( $E_0$ ), эВ

Элемент	Кол-во электронов	$\Sigma E_i$	$E_0$	$\Sigma E_i - E_0$	Расхождение, %
U	92	793130	793561	-431	-0,054
Ni	28	41322	41421	-99	-0,239
K	19	16234	16382	-148	-0,203
Ne	10	3472	3509	-37	-1,054
V	5	667,13	671,48	-4,35	-0,648
He	2	78,76	78,98	-0,22	-0,279

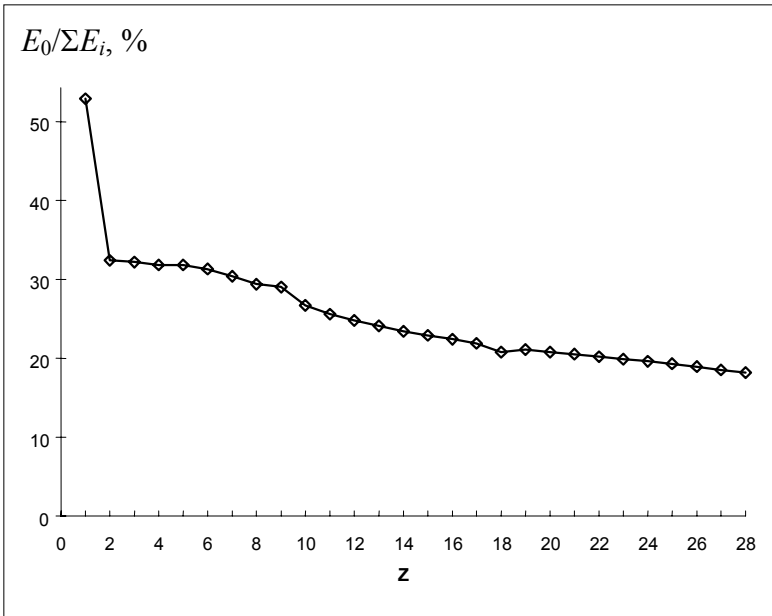


Рис.6. Зависимость от  $Z$  положительных отклонений величин энергии основного состояния атомов, вычисленных по соотношению  $E_0 = 20,8 Z^{7/3}$  от величин, полученных суммированием потенциалов ионизации

Таким образом, закономерность прямо пропорционального изменения корня квадратного из энергии связи изономерных электронов в зависимости от заряда ядра имеет достаточно надежную аргументацию.

На основании выявленной закономерности появилась возможность по формуле (6), с использованием найденных значений  $n_i$  и  $a_i$ , вычислить энергию связи каждого из электронов в атомах всех химических элементов (табл.2 Приложения) и в графическом изображении дать целостную картину их электронного строения (см. рис.3).

Как видно из приведенных графиков, величина потенциалов ионизации закономерно снижается от электрона к электрону по мере удаления от ядра и по мере снижения его заряда. Следовательно, если электронам присвоить порядковые номера с первого по девяносто второй, идя от центра атома к периферии, то эта нумерация определит и очередность их присоединения в процессе формирования электронных оболочек каждого из атомов.

Графики зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , иллюстрируя единую очередность снижения энергии связи каждого из электронов в атомах по мере удаления от ядра и нисходящее по величине  $Z$  снижение энергии связи изономерных электронов в естественном ряду элементов, дает основание говорить о такой же последовательности "обрастания" ядер соответствующими по номеру электронами. Из графиков следует, что еще до того, как у атомов легких элементов (от аргона и ниже) появится первый электронный слой, у тяжелых, в этом энергетическом диапазоне, сформируется первый, второй, третий, четвертый и даже пятый слои - K, L, M, N, O. Так, применительно к урану ( $Z=92$ ) и аргону ( $Z=18$ ) энергетика присоединения электронов к их ядрам выглядит следующим образом. Для урана энергия связи первого (K) электрона составляет 115160 эВ, восемнадцатого (M) - 11400 эВ, сорок пятого (N) - 4432 эВ, семьдесят восьмого (O) - 395 эВ. У аргона же энергия связи первого (K) электрона составляет 4408 эВ, а восемнадцатого (M) - 15,67 эВ. Это и дает основание утверждать, что к моменту, когда энергетические условия станут благоприятными для присоединения к ядру аргона первого электрона ядро урана будет окружено уже 45 электронами.

Общая схема последовательности формирования электронных оболочек в атомах естественного ряда химических элементов, основанная на данных о соответствующих потенциалах ионизации, приведена в табл. 1, рядом с общепринятой схемой.

## 2. СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБОЛОЧЕК АТОМОВ ЕСТЕСТВЕННОГО РЯДА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Линейная зависимость величины корня квадратного из энергии связи изономерных электронов в атомах естественного ряда химических элементов, давая реальное представление о последовательности формирования атомов, как химических индивидов, служит также основой для создания общей картины их электронного строения. Она позволяет при этом внести существенные коррективы в физические характеристики самих электронов. Этим вопросам и посвящен настоящий раздел.

### 2.1. Особенности изменения эффективных параметров изономерных серий электронов в зависимости от $Z$

Первое, что обращает на себя внимание при анализе поведения эффективных параметров электронов, так это характер изменения эффективных главных квантовых чисел изономерных серий электронов в зависимости от заряда ядра, что в конечном счете и определяет картину электронного строения атомов.

Из сводки значений эффективных главных квантовых чисел, приведенной в табл.3, видно, что для первых десяти электронов, принадлежащих К и L слоям, величина  $n_{эф}$  практически совпадает с порядковым номером этих слоев (I и II) - отклонения в сторону уменьшения, не превышают 5%. Для третьего (M) слоя (11-28 электроны) отклонения составляют уже 7-20%, для N - электронов (IV слой) - 21-32%, а для 32 электронов пятого O-слоя - 36-39%. Начальные электроны P-слоя ( $79^{ii}$  -  $92^{ii}$ ) имеют  $n_{эф}$  в интервале 3,40-3,20, т.е. отклонения от порядкового номера слоя (VI) составляют здесь 43-46%.

Характер изменения  $n_{эф}$  от одной серии электронов к другой наглядно иллюстрирует рис.7, где сопоставлены значения номера квантового слоя, традиционно принимаемого за величину главного квантового числа, и эффективных главных квантовых чисел изономерных (по порядку от ядра) электронов, образующих соответствующие оболочки. Из графиков видно, что по мере нарастания числа электронов в слое, происходит сближение значений эффективных главных квантовых чисел различных слоев. Так, максимальная разность значений  $n_{эф}$  M-слоя и  $n_{эф}$  P-слоя менее 0,86, тогда как разность между номерами этих слоев равна трем. Следовательно, порядковый номер квантового слоя и значение эффективного главного квантового числа практически несопоставимы.



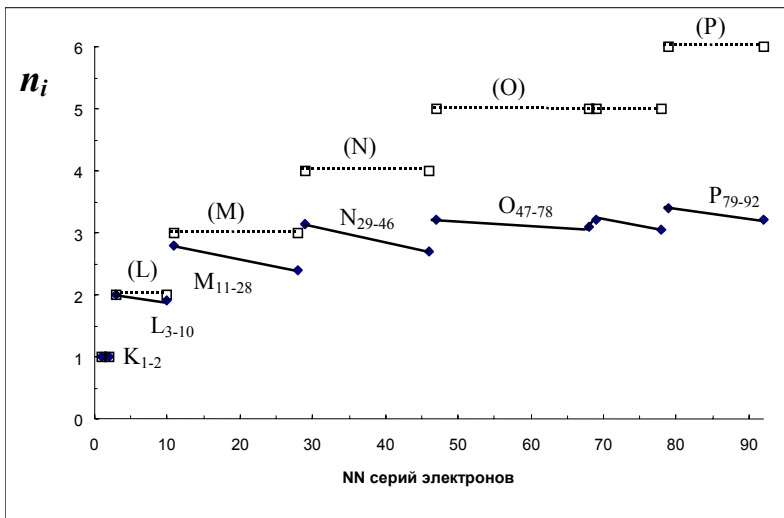


Рис. 7. Эффективные квантовые числа изомерных серий электронов, принадлежащих различным квантовым слоям. Для сравнения (----) даны традиционные значения квантовых чисел соответствующих слоев

Что касается характера изменения  $n_{эф}$  для электронов внутри слоя, то с возрастанием номера электрона величина его главного квантового числа уменьшается по сравнению с величиной  $n_{эф}$  электрона, начинающего соответствующий слой. В связи с этим угол наклона к оси  $Z$  графиков  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  каждой очередной серии электронов возрастает, свидетельствуя о том, что экранирующее влияние одинакового числа предыдущих электронов, на каждый последующий в слое, с понижением заряда ядра возрастает.

Интерес представляет и характер изменения постоянной экранирования ( $a_i$ ) с ростом порядкового номера электронных серий. Ее величина монотонно нарастая, примерно на единицу от серии к серии, испытывает скачкообразный прирост, примерно в две единицы, в сериях электронов, с которыми связано начало новых периодов. Изменение величины постоянной экранирования наглядно проявляется в изменении эффективного заряда ядра ( $Z_{эф} = Z - a_i$ ), определяющего силу связи соответствующих электронов с ядром.

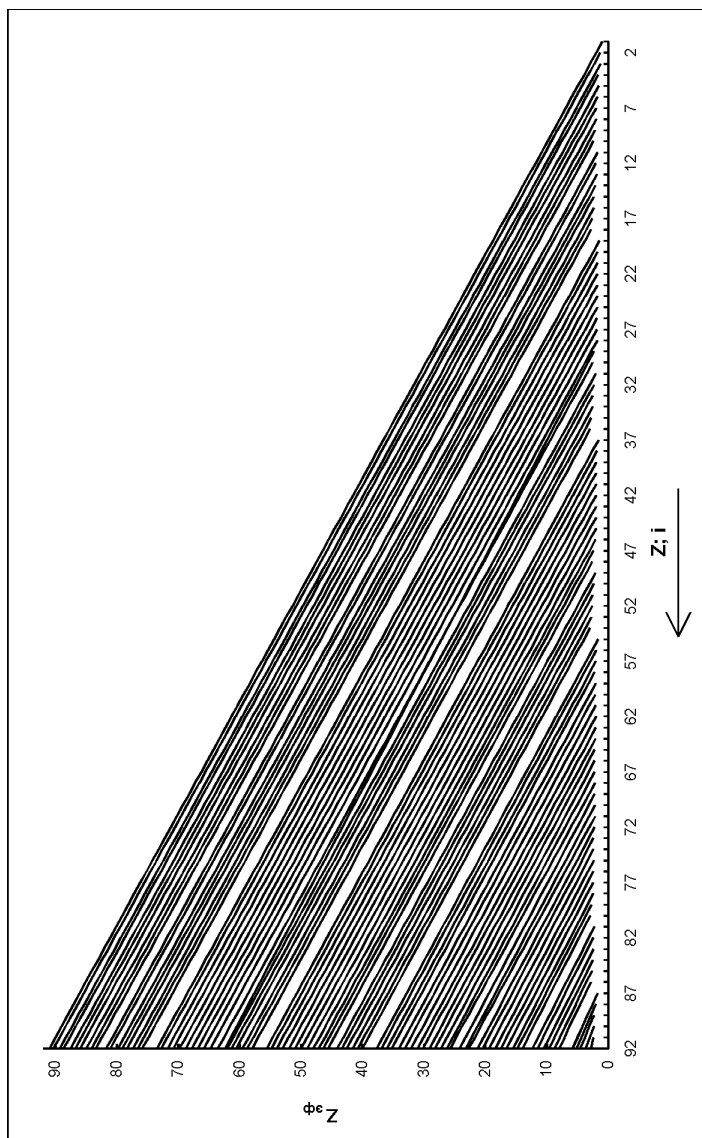


Рис. 8. Эффективные заряды ядер атомов (ионов) -  $Z_{\text{эф}} = Z - a_i$  для изономерных серий ( $i$ ) электронов естественного ряда химических элементов

Таблица 6

Эффективный заряд ядра (в процентах от  $Z$ )  
в зависимости от количества экранирующих электронов  
и от атомного номера элемента

Кол-во экранирующих электронов	$Z_{эф}$ , в процентах от $Z$									
	U 92	Pb 82	Hf 72	Sm 62	Te 52	Mo 42	Ge 32	Ti 22	Mg 12	He 2
<b>1</b>	99,27	99,18	99,07	98,92	98,71	98,40	97,91	96,95	94,42	66,50
<b>10</b>	89,91	88,68	27,11	85,03	82,15	77,90	71,00	57,82	22,66	-
<b>20</b>	79,08	76,52	73,26	68,95	62,98	54,16	39,84	12,50	-	
<b>30</b>	68,53	64,69	59,79	53,31	44,33	31,07	9,53	-		
<b>40</b>	57,61	52,44	45,83	37,09	25,00	7,14	-			
<b>50</b>	47,31	40,89	32,68	21,82	6,78	-				
<b>60</b>	35,94	28,13	18,15	4,95	-					
<b>70</b>	25,13	16,00	4,33	-						
<b>80</b>	14,40	3,96	-							
<b>90</b>	3,68	-								

Характер изменения  $Z_{эф}$  от одной серии электронов к другой, а также в зависимости от атомного номера элемента, иллюстрирует рис.8. Из приведенных графиков видно, что шаг снижения величины  $Z_{эф}$ , довольно равномерный при переходе от одной серии электронов к другой, резко меняется на границе серий, разделяющих периоды. Что касается величины  $Z_{эф}$ , по сравнению с величиной заряда ядра, то она для различных по своему положению электронов в атомах различных элементов колеблется в широких пределах, составляя 99-2%% от величины  $Z$ . Значения  $Z_{эф}$  (в %% от  $Z$ ) в зависимости от количества экранирующих электронов и от атомного номера элемента представлены в табл.6 и на графиках (рис.9). Из этих данных видно, как резко возрастает экранировка ядра по мере снижения атомного номера и по мере возрастания количества экранирующих электронов.

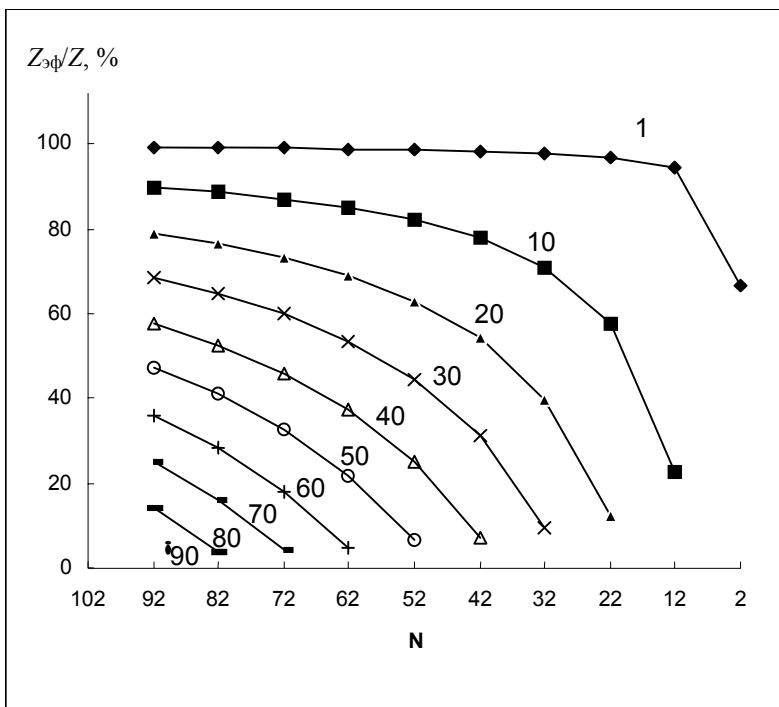


Рис.9. Графики изменения  $Z_{эф}$  (в %% от  $Z$ ) в зависимости от количества экранирующих электронов (1 ÷ 90) и от атомного номера элемента ( $N$ )

## 2.2. Строение электронных оболочек атомов

Особенности изменения энергии связи электронов с ядром, выявленные при анализе зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , позволяют по новому осветить и ряд вопросов, касающихся непосредственно структуры электронных оболочек, несмотря на то, что проблема электронного строения атомов считается решенной.

Если, основываясь на графиках  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , рассматривать электронное строение различных атомов во взаимосвязи друг с другом, взяв в качестве опорных элементов, например, ксенон (54), палладий (46), криптон (36), медь (29), аргон (18), неон (10), то пронумеровав все электроны и сопоставив полученные порядковые числа с типом электронных оболочек можно видеть полное согласие

с тем, что вытекает из идеальной, по словам Зоммерфельда, схемы расположения электронов в атомах и что известно из справочной литературы по строению атомов перечисленных элементов [21]:  $1^{\text{II}}$  и  $2^{\text{II}}$  электроны -  $1S_2$ ; 3,4 -  $2S_2$ ; 5-10 -  $2P_6$ ; 11-12 -  $3S_2$ ; 13-18 -  $3P_6$ ; 19-28 -  $3d_{10}$ ; 29-30 -  $4S_2$ ; 31-36 -  $4P_6$ ; 37-46 -  $4d_{10}$ ; 47-48 -  $5S_2$ ; 49-54 -  $5P_6$ . Однако, в эту строго закономерную схему не вписываются существующие представления о строении внешних оболочек атомов элементов, располагающихся между указанными опорными элементами. Как уже указывалось, внешние электроны у калия -  $19^{\text{II}}$ , у кальция - 19-20, у скандия - 20, 21, у титана и ванадия, соответственно, - 21, 22 и 22, 23, у хрома - 24, у марганца, железа, кобальта, никеля, соответственно, - 24, 25; 25, 26; 26, 27; 27, 28, характеризуются как 4S электроны. На графиках же  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  каждый из этих электронов без малейших отклонений располагается в соответствующих изономерных линейных сериях, принадлежащих 3d-оболочке (см. рис.2 и рис.10). Значения  $n_{\text{эф}}$  этих электронов лежат в пределах 2,597 - 2,392, тогда как для 4S-электронов (29-30)  $n_{\text{эф}} = 3,140 - 3,120$  (см. табл.3).

Изономерные серии электронов

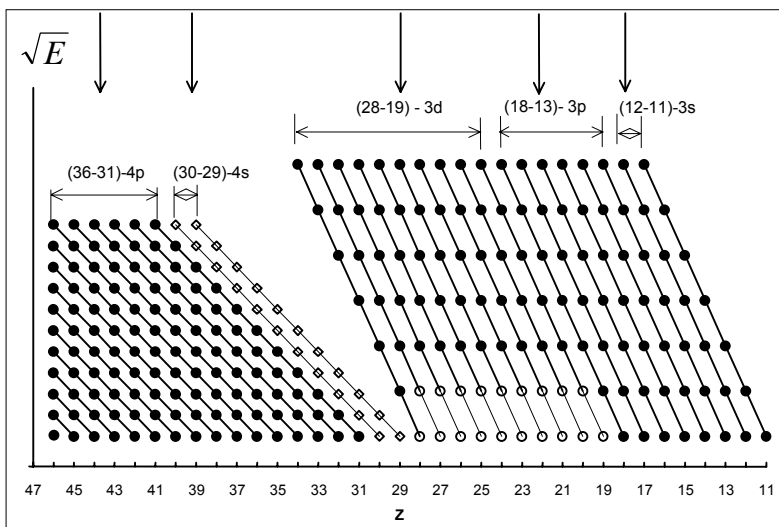


Рис.10. Иллюстрация некорректности отнесения внешних электронов в атомах от никеля (28) до калия (19) к 4s оболочке: ● – 4p, 3d, 3p и 3s электроны; □ – 4s электроны; ○ – электроны, некорректно относимые к 4s оболочке

В связи с этим нельзя не обратить внимание на вывод Ю. Розери и др. исследователей, согласно которому в атомах таких элементов как Fe, Co, Ni, внешние валентные электроны лишь частично принадлежат 4s-полосе (табл.7), являясь, преимущественно, 3d-электронами (см.[22]).

Таблица 7

Количественное соотношение 3d и 4s электронов в атомах железа, кобальта и никеля по Ю.Розери и др. [22]

Элемент	Общее число электронов вне оболочки аргона	Соотношение 3d и 4s электронов	
		3d	4s
Fe	8	7,8	0,2
Co	9	8,3	0,7
Ni	10	9,4	0,6

Картина, сходная с вышеописанной, наблюдается и при сопоставлении порядковых номеров внешних электронов с их конфигурациями у атомов от рубидия (37) до родия (45). В справочной литературе для этой группы элементов один-два внешних электрона в интервале от 37-го до 45-го, относятся к 5s-электронам. На графиках же  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  37<sup>ii</sup> - 45<sup>ii</sup> электроны однозначно принадлежат 4d-подуровню (рис.11), имея те же эффективные главные квантовые числа и постоянные экранирования, что и группа 4d -электронов с 37-го по 46-ой в атомах от палладия до урана и заурановых элементов.

Подтверждением тому, что традиционные представления о конфигурации валентных электронов в атомах так называемых переходных элементов требуют пересмотра, являются данные ЭПР [23] по электронной структуре ионов Ti, V, Fe, Co, Ni. В табл.8 дано сопоставление справочных данных о конфигурации внешних электронов в атомах и ионах этих элементов с данными ЭПР и данными, вытекающими из зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ . Так, если бы внешние электроны атома Ti<sup>0</sup> имели, как принято считать, конфигурацию 3d<sup>2</sup>4s<sup>2</sup>, то у иона Ti<sup>-1</sup> валентные электроны стали бы 3d<sup>3</sup>4s<sup>2</sup>, поскольку присоединившийся электрон мог бы занять только

3d-уровень. Данные же ЭПР показывают, что конфигурация этих электронов -  $3d^5$ , т.е. такая, в которую могла трансформироваться, при добавлении одного электрона, только конфигурация  $3d^4$ . И именно эту конфигурацию, судя по графикам  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , имеют внешние электроны атома  $Ti^0$ .

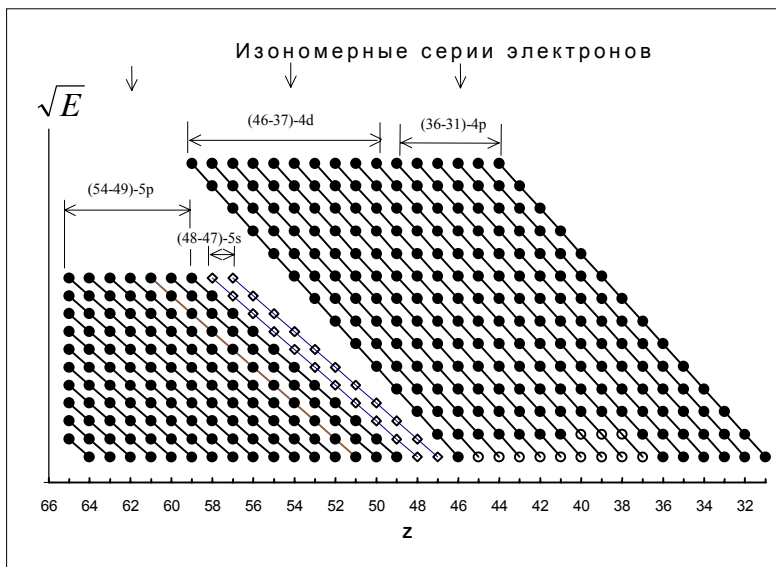


Рис.11. Иллюстрация некорректности отнесения внешних электронов в атомах от родия (45) до рутидия (37) к 5s оболочке: ● - 5p, 4d и 4p электроны; □ - 5s электроны; ○ - электроны, некорректно относимые к 5s оболочке

Как видно из таблицы, подобные результаты получаются и для V, Fe, Co, Ni. Данные ЭПР по ионам  $V^{+1}$ ,  $Fe^{+1}$ ,  $Co^{+1}$ ,  $Ni^{+1}$  можно корректно объяснить лишь с тех позиций, что внешние электроны атомов этих элементов в основном состоянии принадлежали 3d-, но не 4s-оболочке.

Установленная закономерность дает основание критически отнестись и к существующим представлениям об электронном строении атомов так называемых 4f-элементов, начиная с серия (58).

Таблица 8

Сопоставление справочных данных по конфигурации валентных электронов в атомах-ионах переходных элементов с данными ЭПР и вытекающими из зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$

Z	Элемент	Конфигурация по данным:		
		справочным	Э П Р	$\sqrt{E} = f(Z)$
22	Ti <sup>0</sup>	3d <sup>2</sup> 4S <sup>2</sup>	-	3d <sup>4</sup>
	Ti <sup>-1</sup>	3d <sup>3</sup> 4S <sup>2</sup>	3d <sup>5</sup>	3d <sup>5</sup>
23	V <sup>0</sup>	3d <sup>3</sup> 4S <sup>2</sup>	-	3d <sup>5</sup>
	V <sup>+1</sup>	3d <sup>3</sup> 4S <sup>1</sup>	3d <sup>4</sup>	3d <sup>4</sup>
26	Fe <sup>0</sup>	3d <sup>6</sup> 4S <sup>2</sup>	-	3d <sup>8</sup>
	Fe <sup>+1</sup>	3d <sup>6</sup> 4S <sup>1</sup>	3d <sup>7</sup>	3d <sup>7</sup>
27	Co <sup>0</sup>	3d <sup>7</sup> 4S <sup>2</sup>	-	3d <sup>9</sup>
	Co <sup>+1</sup>	3d <sup>7</sup> 4S <sup>1</sup>	3d <sup>8</sup>	3d <sup>8</sup>
28	Ni <sup>0</sup>	3d <sup>8</sup> 4S <sup>2</sup>	-	3d <sup>10</sup>
	Ni <sup>+1</sup>	3d <sup>8</sup> 4S <sup>1</sup>	3d <sup>9</sup>	3d <sup>9</sup>

Согласно графикам  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  атомы ни одного из рассматриваемых элементов не содержат 4f оболочки, поскольку после линейной серии сорок шести электронов, завершающих 4d оболочку, идут линейные серии 47-х и 48-х 5S-электронов, затем шесть изомерных серий 5p-электронов (с 49-го по 54-й). На графиках отчетливо видно, что после серии сорок шести электронов ( $n_{эф} = 2,700$ ) происходит смена главного квантового числа в сторону его увеличения - последующие серии электронов располагаются с меньшим углом наклона к оси Z, имея  $n_{эф} > 3$  (см. табл.3). Следовательно, f-электроны у атомов рассматриваемых элементов принадлежат не N, а O слою, т.е. являются, в соответствии с принятой нумерацией слоев, 5f-электронами и располагаются непосредственно после 5p подуровня. Это косвенно подтверждается такой деталью в структуре электронных серий на графиках  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ . После группы 5p<sub>6</sub> электронов (49 - 54) идет пакет из 14 линейных серий электронов (55 - 68), имеющих  $n_{эф}$  от 3,160 до 3,095, а затем пакет из 10 серий (69 - 78), с несколько большим (3,200) главным квантовым числом начальной (69-й) серии в этом пакете.



Таким образом, максимальное число электронов, содержащихся в четвертом (N) квантовом слое, не 32, как принято считать, основываясь на принципе Паули, а 18 и известная формула  $Q_{\max} = 2n^2$ , где  $Q$  - максимальное число электронов в слое,  $n$  - главное квантовое число (а точнее порядковый номер квантового слоя), никакого реального основания под собой не имеет. В связи с этим нельзя не обратить внимания на замечание Зоммерфельда о том, что сам принцип Паули является "несколько кабалистическим" [10, стр.140].

С позиций выявленной закономерности находит объяснение непонятая до сих пор причина подобия химических свойств таких элементов, как никель-палладий-платина [24], атомы которых по существующим представлениям имеют различную структуру внешних электронных оболочек: Ni -  $3d_84s_2$ ; Pd -  $4d_{10}$ ; Pt -  $5d_96s_1$ . Из полученных же данных следует, что и по электронному строению эти элементы - аналоги. Их атомы имеют полностью застроенные внешние оболочки: Ni -  $3d_{10}$ ; Pd -  $4d_{10}$ ; Pt -  $5f_{14} 5d_{10}$ .

На контрдовод этому утверждению, заключающийся в том, что элементы с завершенными электронными оболочками атомов должны быть диамагнетиками, тогда как никель - ферромагнетик, а платина - парамагнетик, имеется такой ответ. Во первых, палладий, имея безусловно завершенную электронную конфигурацию, является парамагнетиком с наиболее высокой магнитной восприимчивостью [14]. И во вторых: магнитные свойства простых веществ определяются не только строением атомов, но и их фазовым состоянием, примером чего может служить диамагнетизм Sn- $\alpha$  и парамагнетизм Sn- $\beta$ . Следовательно, сомневаться в выводе о завершенности электронных оболочек у атомов никеля и платины, на основании представлений о диамагнетизме, нет оснований.

В связи с сопоставлением электронного строения и свойств никеля, палладия и платины уместно коснуться и такого их свойства, как каталитическая активность.

Никель, как известно, является одним из самых активных металлов катализаторов [22]. В ряду элементов четвертого периода удельная каталитическая активность резко уменьшается от никеля как в сторону более легких металлов - Co, Fe, Mn, так и в сторону более тяжелых - Cu, Zn (рис.12). Считается, что каталитическая активность никеля связана с наличием незаполненной d-оболочки, а резкое ее снижение у меди обуславливается тем, что эта оболочка полностью застроена. Исходя из этого, пишется в монографии [22], можно объяснить и высокую каталитическую активность аналогов никеля - палладия и платины. Она, по некоторым данным, даже более высокая, чем у никеля, что связывается с более высокими атомными номерами при одной и той же ненасыщенности электронами d-оболочки.

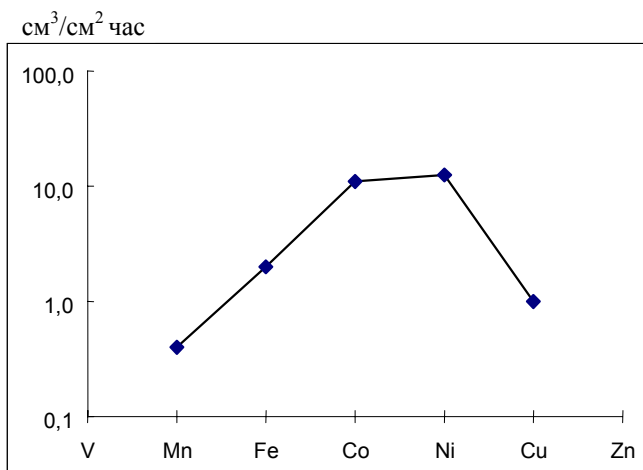


Рис.12. Удельная каталитическая активность элементов IV периода при 180 °С [22]

Надуманность приведенных объяснений очевидна. Если каталитическую активность элементов связывать с "ненасыщенностью" d-оболочки, то у Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti она должна бы возрастать, а не снижаться, поскольку именно в такой последовательности снижается незаполненность d-оболочки в атомах этих элементов. При этом палладий вообще не проявлял бы каталитических свойств, поскольку d-оболочка у него полностью застроена. Феномен высокой каталитической активности Ni, Pd, Pt находит логичное объяснение как раз с противоположных позиций. Именно завершенность внешней d-оболочки у Ni и Pd и fd-оболочек у Pt можно рассматривать как причину их каталитической активности при относительной химической инертности. При незаполненности же внешних d-оболочек активизируется реакционная способность элементов, а каталитическая - снижается.

Из общей картины электронного строения атомов периодической системы, полученной на основе установленной закономерности, вырисовывается еще одна деталь, не укладывающаяся в рамки существующих представлений.

Считается, что число квантовых слоев у атома равно номеру периода, в котором находится данный элемент. Зоммерфельд специально подчеркивает, что "с началом новой оболочки обязательно связано начало нового периода" [10, стр.138], а в работе

[15] утверждается, что "в этом и состоит физический смысл номера периода". Наличие всего четырех квантовых слоев у палладия (N46), принадлежащего пятому периоду, в расчет не принимается, а конфигурация внешних электронов записывается в виде  $\dots 4d_{10}5s_0$ . Схема электронного строения атомов всего естественного ряда элементов, построенная на основании зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  (рис.3), убеждает нас в том, что обсуждаемое "правило" не имеет под собой почвы. Зависимость энергии связи изономерных электронов от заряда ядра, также как и зависимость энергии рентгеновского излучения от  $Z$ , не является периодической. Лишь у элементов первых трех периодов и у части элементов четвертого периода - от калия (19) до никеля (28) включительно, число квантовых слоев во всех атомах совпадает с номером периода. Однако никаких фундаментальных закономерностей в этом совпадении не просматривается, поскольку К, L и M-слои, также как и последующие, идут без каких-либо отклонений, пересекая границы всех периодов. Начало и завершение формирования квантовых слоев в атомах определяется внутренней энергетикой атомов, сущность которой пока еще до конца не раскрыта. Не раскрыта сама природа квантования. Не найдены ответы на вопросы, почему квантовые слои состоят из различного числа электронов (2, 8, 18, 18, 32), притом независимо от величины заряда ядра, чем определяется число квантовых слоев и др. Если все же проводить сопоставление числа квантовых слоев в атомах с номером периодов, идя от тяжелых элементов к легким, как изображено на рис.3, то вырисовывается такая картина. В начале каждого периода стоят элементы, у которых число квантовых слоев, притом полностью застроенных, совпадает с номером периода. По мере снижения заряда ядра и уменьшения числа электронов, уменьшается и число квантовых слоев. Так, у восьми элементов шестого периода, начиная с радона (86) и заканчивая золотом (79), число квантовых слоев совпадает с номером периода. У следующих же 24 элементов, начиная с платины (78) и заканчивая цезием (55), число квантовых слоев равно пяти.

Аналогично построены атомы элементов пятого и четвертого периодов. Ксенон (54) и криптон (36) имеют, соответственно, пять и четыре квантовых слоя. Следующие семь более легких элементов того и другого периодов, J(53) - Ag(46) Br(35) - Cu(29), также содержат по 5 и 4 квантовых слоя, соответственно. Но далее, в атомах от палладия (46) до рублидия (37) и от никеля (28) до калия (19) число квантовых слоев на единицу меньше номера периода. У остальных 18 элементов, принадлежащих третьему, второму и первому периодам число квантовых слоев, как было отмечено,

соответствует номеру периода. Это, по-видимому, и послужило основанием для исследователей, рассматривавших процесс формирования электронных оболочек атомов, начиная с водорода, прийти к заключению, что соответствие между числом квантовых слоев и номером периода является фундаментом всей периодической системы. Именно отсюда вытекает утверждение, что "сама периодическая повторяемость свойств элементов целиком зависит от периодической повторяемости электронных структур атомов" [9], что "с началом новой оболочки обязательно связано начало нового периода", что "каждый последующий элемент сохраняет в себе электронную конфигурацию предыдущего" и т.д.

Особый интерес в картине электронного строения атомов естественного ряда химических элементов, основанной на зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , представляет то, что линейные графики изономерных серий электронов в первых трех квантовых слоях - К, L, М, сближаясь, по мере возрастания  $Z$ , пересекаются в окрестности  $Z \sim 125$ . Значение величины  $\sqrt{E}$  (эВ) в точках пересечения составляет  $461 \pm 0,04$ ;  $228,32 \pm 0,09$ ;  $152,36 \pm 0,05$  для К, L и М-слоев соответственно. Физическое содержание точек пересечения самым непосредственным образом связано с энергетической устойчивостью электронных структур атомов, что, в свою очередь, проливает свет на проблему верхней границы периодической системы.

Проблема верхней границы естественного ряда химических элементов имеет два аспекта - аспект ядерной устойчивости сверхтяжелых атомов и аспект их электронной устойчивости. Первого аспекта мы касаться не будем, а кратко остановимся на втором.

Электронная устойчивость атомов определяется критическим значением  $Z$ , выше которого существование атомов невозможно из-за мгновенного орбитального захвата электрона. Определение критического значения  $Z$  и является, следовательно, решением означенной проблемы. Именно с этой точки зрения и представляет интерес величина  $Z \sim 125$ , где пересекаются графики  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  К, L и М квантовых слоев. Если продлить каждый из пересекающихся графиков в область значений  $Z > 125$ , то окажется, что энергия связи электронов более удаленных от ядра выше таковой менее удаленных, что, конечно же, противоестественно. Из этого логично сделать вывод, что в окрестности  $Z \sim 125$  лежит граница устойчивости электронных структур атомов. При  $Z < 125$  структуры устойчивы, а при  $Z \geq 125$  их формирование энергетически невозможно. Другими словами,  $Z \sim 125$  можно рассматривать как верхнюю границу периодической системы. Этот вывод находится в довольно близком

согласии с вычисленной в 1928 г. П.Дираком величиной критического  $Z = 137$  [см.2], а также с вероятностными данными об устойчивости электронных конфигураций атомов с  $Z = 114, 126$  и  $140$  (см. [2]).

Заканчивая рассмотрение процесса формирования электронных структур атомов с позиций зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  и в последовательности от тяжелых элементов к легким, следует еще раз подчеркнуть, что только идя по этому пути можно приблизиться к пониманию природы тех закономерностей, какие управляют электронной структурой атомов естественного ряда химических элементов и их положением в периодической системе. Одной из задач новых исследований в этой области - спектроскопических, магнитных, энергетических и др., должна быть попытка найти объективное объяснение причин несовпадения полученных в этой работе данных с данными предыдущих исследований. При этом надо не убояться возможности переосмысления некоторых "квантово - механических" постулатов, лежащих в основе существующих представлений о периодической системе. Не убояться признания того, что истинные (глубинные) причины периодичности свойств атомов, различного количества электронных квантовых слоев в атомах, различного числа элементов в периодах и др., до настоящего времени не раскрыты.

### **2.3. Размеры свободных атомов с позиций эффективных параметров их внешних электронов**

Обсуждая особенности электронного строения атомов, вытекающие из зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , нельзя не коснуться и проблемы определения размера атомов, которая также решается с рассмотренных позиций.

Понятие размера атомов или атомных радиусов вошло в научную литературу в 20<sup>е</sup> годы XX-го столетия, после появления работ Брега (1920г.), Хаггинса (1926г.), Гольдшмидта (1926-1928гг.) по вычислению межатомных расстояний в кристаллических веществах. В последующие десятилетия исследования в этом направлении продолжили Полинг (1934, 1947гг.), Лавес (1937г.), Бокий (1953г.), Слетер (1964, 1965гг.), Лебедев (1969г.) и ряд других исследователей. Библиографию и обзор работ по этой проблематике можно найти в статьях и книгах С.С.Бацанова [25, 26], В.С.Урусова [27, 28], А.Р.Регеля, В.М.Глазова [29], Г.Б.Бокия [30] и др. [31-33].

В итоге более чем полувековой работы многих исследователей в этом направлении было опубликовано более десяти систем атомных радиусов:

1. Система эмпирических атомных радиусов по Бреггу.
2. Система металлических атомных радиусов по Гольдшмидту.
3. Эмпирическая система металлических атомных радиусов по Бокию.
4. Система кристаллических и нормальных ковалентных атомных радиусов по Полингу-Хаггину-Бацанову.
5. Система атомных радиусов Слетера.
6. Система орбитальных атомных радиусов Уобера-Кромера.
7. Система ионно-атомных радиусов Лебедева.
8. Система ван-дер-ваальсовых радиусов по Бонди.
9. Система ионных радиусов Аренса.
10. Система радиусов изолированных атомов, основанная на квантово-механических расчетах по Бойду.

Анализ и сопоставление перечисленных, а также ряда других система атомных радиусов наиболее полно дан в работе С.С.Бацанова [25], поэтому мы на этих вопросах здесь не останавливаемся. Отметим лишь, что из перечисленных систем только в трех сделана попытка оценить размеры свободных (изолированных) атомов - это в системах Слетера, Уобера-Кромера и Бойда. В других же системах размеры атомов определялись исходя из межатомных расстояний в кристаллах простых веществ, химических соединений или в молекулах. Поскольку же образование кристаллов, соединений и молекул неизбежно связано с перекрыванием орбит валентных электронов, судить об истинных размерах атомов химических элементов в свободном состоянии на основании этих данных нельзя. Не случайно размеры атомов одних и тех же элементов в разных системах варьируют в довольно широких пределах, отличаясь друг от друга на десятки процентов.

Что касается радиусов свободных атомов по Слетеру, Уоберу-Кромеру и Бойду, то и здесь имеются существенные различия (см. табл.9), несмотря на то, что приведенные значения получены с помощью квантово-механических расчетов, т.е. как бы из первых принципов. Слетер построил свою систему атомных радиусов на основе экспериментальных данных по межатомным расстояниям в кристаллах простых тел с корректировкой полученных результатов квантово-механическими расчетами [31]. Вебер и Кромер [28] вычислили орбитальные радиусы внешних электронов атомов из волновых функций в приближении самосогласованного поля Хартри-Фока-Слетера с дираковской релятивистской поправкой. Эти радиусы, по мнению авторов, представляют собой расстояния от ядра до максимума электронной плотности соответствующей оболочки. Атомные радиусы по Бойду [33] также определены с

помощью квантово-механических расчетов, однако, как видно из таблицы, их значения для многих элементов почти в два раза превышают данные Слетера и Уобера-Кромера.

Таблица 9

Атомные радиусы ( $r$ , Å) химических элементов по Слетеру - (1), Веберу-Кромеру - (2), Бойду - (3), Бокию - (4), по данным этой работы - (5) и первые потенциалы ионизации -  $U_1$

Атомный №	Элемент	$r$ , Å					$U_1$ , эВ
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1	<b>H</b>	0,25	0,529	1,24	0,46	0,529	13,606
2	<b>He</b>	-	0,291	0,95	1,22	0,393	24,580
3	<b>Li</b>	1,45	1,586	2,37	1,55	1,669	5,390
4	<b>Be</b>	1,05	1,040	1,99	1,13	1,257	9,320
5	<b>B</b>	0,85	0,776	1,76	0,91	1,307	8,296
6	<b>C</b>	0,70	0,596	1,54	0,77	1,130	11,264
7	<b>N</b>	0,65	0,488	1,36	0,71	0,993	14,540
8	<b>O</b>	0,60	0,414	1,27	(0,60)	1,003	13,614
9	<b>F</b>	0,50	0,360	1,18	(0,71)	0,898	17,418
10	<b>Ne</b>	-	0,354	1,10	1,60	0,796	21,559
11	<b>Na</b>	1,80	1,713	2,50	1,89	2,411	5,138
12	<b>Mg</b>	1,50	1,279	2,31	1,60	1,994	7,644
13	<b>Al</b>	1,25	1,312	2,28	1,43	2,192	5,984
14	<b>Si</b>	1,10	1,068	2,07	1,34	1,883	8,149
15	<b>P</b>	1,00	0,919	1,87	1,30	1,645	10,155
16	<b>S</b>	1,00	0,810	1,75	(1,04)	1,629	10,357
17	<b>Cl</b>	1,00	0,725	1,63	(1,07)	1,435	13,010
18	<b>Ar</b>	-	0,659	1,52	1,92	1,308	15,755
19	<b>K</b>	2,20	2,162	2,91	2,36	2,427	4,339
20	<b>Ca</b>	1,80	1,690	2,79	1,97	2,014	6,111
21	<b>Sc</b>	1,60	1,570	2,67	1,64	1,975	6,560
22	<b>Ti</b>	1,40	1,477	2,57	1,46	1,887	6,830
23	<b>V</b>	1,35	1,401	2,49	1,34	1,868	6,740
24	<b>Cr</b>	1,40	1,453	2,42	1,27	1,815	6,764
25	<b>Mn</b>	1,40	1,278	2,36	1,30	1,784	7,432

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
26	<b>Fe</b>	1,40	1,227	2,29	1,26	1,702	7,896
27	<b>Co</b>	1,35	1,181	2,24	1,25	1,669	7,860
28	<b>Ni</b>	1,35	1,139	2,18	1,24	1,681	7,633
29	<b>Cu</b>	1,35	1,191	2,10	1,28	2,228	7,724
30	<b>Zn</b>	1,35	1,065	2,10	1,39	2,019	9,391
31	<b>Ga</b>	1,30	1,254	2,24	1,39	2,432	6,000
32	<b>Ge</b>	1,25	1,090	2,11	1,39	2,121	7,880
33	<b>As</b>	1,15	0,991	1,96	1,48	1,878	9,810
34	<b>Se</b>	1,15	0,909	1,89	1,60	1,862	9,750
35	<b>Br</b>	1,15	0,842	1,79	(1,19)	1,667	11,840
36	<b>Kr</b>	-	0,795	1,69	1,98	1,529	13,996
37	<b>Rb</b>	2,35	2,287	3,04	2,48	2,775	4,176
38	<b>Sr</b>	2,00	1,836	2,99	2,15	2,375	5,692
39	<b>Y</b>	1,80	1,693	2,83	1,81	2,227	6,38
40	<b>Zr</b>	1,55	1,593	2,72	1,60	2,118	6,835
41	<b>Nb</b>	1,45	1,589	2,63	1,45	2,094	6,88
42	<b>Mo</b>	1,45	1,520	2,56	1,39	2,044	7,131
43	<b>Tc</b>	1,35	1,391	2,50	1,36	2,022	7,23
44	<b>Ru</b>	1,30	1,410	2,44	1,34	1,986	7,36
45	<b>Rh</b>	1,35	1,364	2,39	1,34	1,950	7,46
46	<b>Pd</b>	1,40	0,567	2,34	1,37	1,828	8,33
47	<b>Ag</b>	1,60	1,286	2,30	1,44	2,257	7,574
48	<b>Cd</b>	1,55	1,184	2,27	1,56	2,077	8,991
49	<b>Jn</b>	1,55	1,382	2,41	1,66	2,563	5,785
50	<b>Sn</b>	1,45	1,240	2,31	1,58	2,283	7,332
51	<b>Sb</b>	1,45	1,166	2,17	1,61	2,114	8,64
52	<b>Te</b>	1,40	1,087	2,11	1,77	1,977	9,01
53	<b>J</b>	1,40	1,022	2,02	(1,36)	1,933	10,44
54	<b>Xe</b>	-	0,986	1,92	2,18	1,766	12,127
55	<b>Cs</b>	2,60	2,518	-	2,68	3,144	3,893
56	<b>Ba</b>	2,15	2,060	-	2,21	2,700	5,21
57	<b>La</b>	1,95	1,915	-	1,87	2,598	5,61
58	<b>Ce</b>	1,85	1,978	-	1,83	2,325	6,91
59	<b>Pr</b>	1,85	1,942	-	1,82	2,544	5,76
60	<b>Nd</b>	1,85	1,912	-	1,82	2,441	6,31
61	<b>Pm</b>	1,85	1,882	-	-	2,504	6,2
62	<b>Sm</b>	1,85	1,854	-	1,81	2,583	5,6



<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
63	<b>Eu</b>	1,85	1,826	-	2,02	2,549	5,67
64	<b>Gd</b>	1,80	1,713	-	1,79	2,444	6,16
65	<b>Tb</b>	1,75	1,775	-	1,77	2,325	6,74
66	<b>Dy</b>	1,75	1,750	-	1,77	2,318	6,82
67	<b>Ho</b>	1,75	1,727	-	1,76	2,269	5,70
68	<b>Er</b>	1,75	1,703	-	1,75	2,357	6,08
69	<b>Tu</b>	1,75	1,681	-	1,74	2,462	6,14
70	<b>Yb</b>	1,75	1,658	-	1,93	2,495	6,26
71	<b>Lu</b>	1,75	1,553	-	1,74	2,507	6,15
72	<b>Hf</b>	1,55	1,476	-	1,59	2,340	5,50
73	<b>Ta</b>	1,45	1,413	-	1,46	2,173	7,88
74	<b>W</b>	1,35	1,360	-	1,40	2,152	7,98
75	<b>Re</b>	1,35	1,310	-	1,37	2,163	7,87
76	<b>Os</b>	1,30	1,286	-	1,35	2,071	8,70
77	<b>Jr</b>	1,35	1,227	-	1,35	1,994	9,20
78	<b>Pt</b>	1,35	1,221	-	1,38	1,999	8,96
79	<b>Au</b>	1,35	1,187	-	1,44	2,230	9,223
80	<b>Hg</b>	1,50	1,126	-	1,60	2,024	10,434
81	<b>Tl</b>	1,90	1,319	-	1,71	2,623	6,106
82	<b>Pb</b>	1,80	1,215	-	1,75	2,379	7,415
83	<b>Bi</b>	1,60	1,212	-	1,82	2,381	7,287
84	<b>Po</b>	1,90	1,138	-	-	2,232	8,20
85	<b>At</b>	-	1,078	-	-	2,098	9,20
86	<b>Rn</b>	-	1,090	-	-	1,928	10,745
87	<b>Fr</b>	-	2,477	-	2,80	3,254	3,758
88	<b>Ra</b>	2,15	2,042	-	2,35	2,742	5,277
89	<b>Ac</b>	1,95	1,895	-	2,03	2,336	7,250
90	<b>Th</b>	1,80	1,788	-	1,80	2,328	7,32
91	<b>Pa</b>	1,80	1,804	-	1,62	2,281	7,56
92	<b>U</b>	1,75	1,775	-	1,59	2,235	7,80

Существенные расхождения данных в рассмотренных системах дают основание заключить, что проблема определения размера свободных атомов все еще не решена. И одной из причин этого является, на наш взгляд, то, что в своих расчетах авторы используют или чисто теоретические или недостаточно надежные эффективные значения квантовых чисел и зарядов для

соответствующих электронных уровней, которые определяют размеры атомов. Если же в известное выражение

$$r = r_0 \cdot n_{\text{эф}}^2 / Z_{\text{эф}}, \quad (9)$$

связывающее величину атомного радиуса ( $r$ ) с эффективными значениями квантового числа ( $n_{\text{эф}}$ ), заряда ядра ( $Z_{\text{эф}}$ ) и первым боровским радиусом орбиты электрона в атоме водорода ( $r_0 = 0,529 \text{ \AA}$ ), ввести значения этих параметров для внешних электронов, вытекающие из зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , то полученные величины должны в наибольшей степени отвечать реальным радиусам свободных атомов.

Поскольку, как показано выше, значения эффективных параметров для всех изономерных серий электронов, полученные из этой зависимости имеют высокую степень надежности, нами и были использованы эти значения при вычислении радиусов атомов всех химических элементов с помощью выражения (9).

Результаты этих вычислений представлены в табл.9 (графа 5) и на рис.13, где приведены также величины потенциалов ионизации с целью их сопоставления с величиной атомных радиусов, поскольку размер и энергия ионизации атомов должны находиться в обратной пропорциональной связи. Как видно из приведенных данных, эти величины действительно зеркально коррелируют между собой. При этом следует подчеркнуть, что коррелируют значения вычисленных радиусов со справочными (экспериментальными) значениями первых потенциалов ионизации [19, 29]. Это является дополнительным подтверждением надежности как самой зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , так и тех следствий, какие из нее вытекают.

Говоря о корреляции величин атомных радиусов и первых потенциалов ионизации, хотелось бы обратить внимание на то, что в системах металлических атомных радиусов, например, в системе Бокия (табл.9), да и других, относящихся не к свободным атомам, строгий корреляции не наблюдается, как это хорошо видно на рис.14. Так, в естественном ряду элементов от радона (86) до таллия (81), от ксенона (54) до индия (49), от криптона (34) до галлия (31), от неона (10) до кислорода (8) и от гелия до водорода величины потенциалов ионизации и атомных радиусов изменяются не в противоположных направлениях, как должно быть, а в одном и том же - те и другие снижаются. Подобные несоответствия отмечаются и для других элементов. Это свидетельствует о том, что по данным рассматриваемых систем нельзя судить о реальных размерах атомов химических элементов.

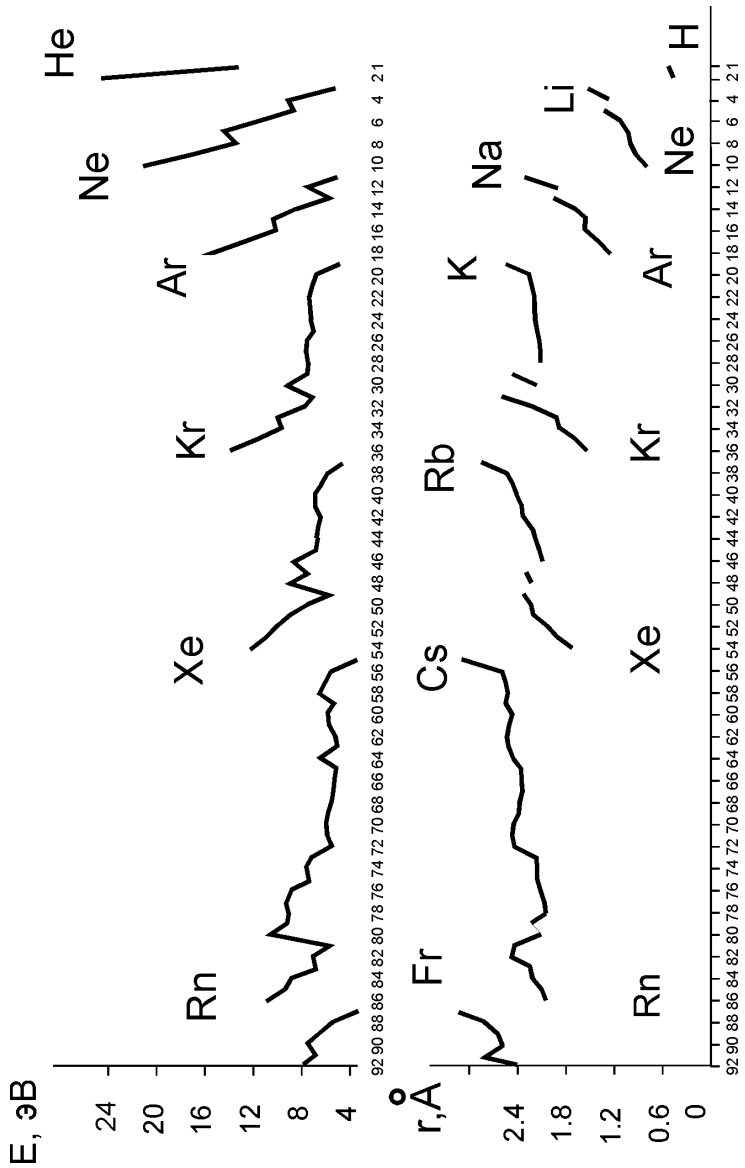


Рис.13. Радиусы свободных атомов, вычисленные по  $n_i$  и  $Z_{\text{эф}}$  в сопоставлении с величинами первых потенциалов ионизации

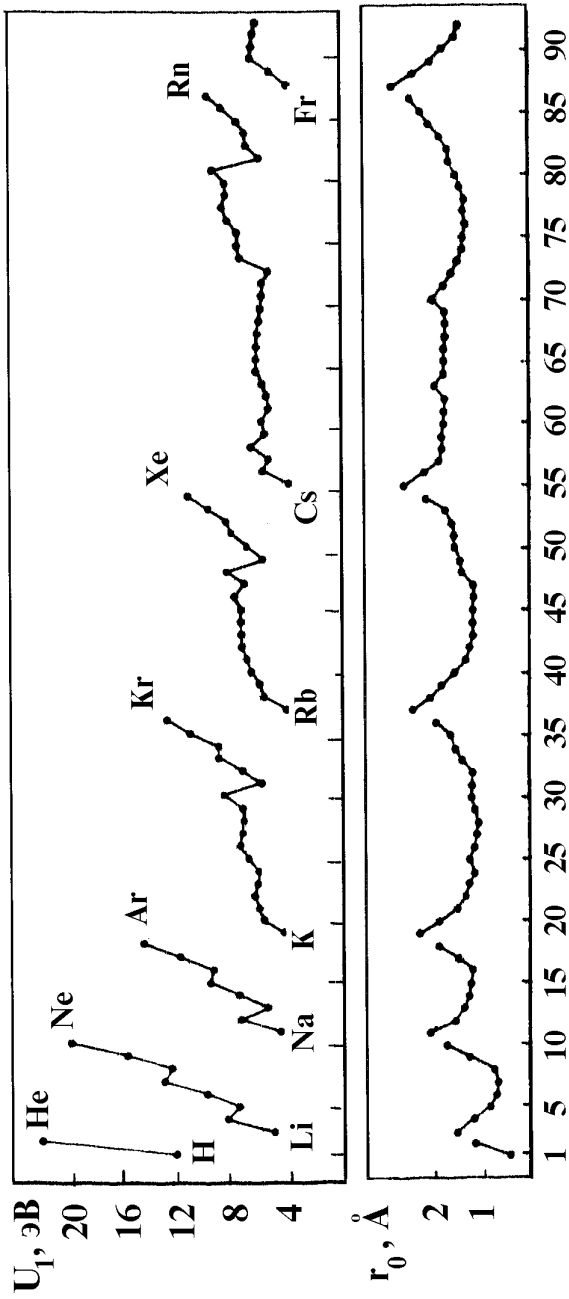


Рис. 14. Значения первых потенциалов ионизации в сопоставлении с величинами атомных радиусов химических элементов по Боклю [30]

### **3. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КАК ОТРАЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АТОМОВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

В систематиках животных и растений, горных пород и минералов, в географической систематике ландшафтов и т.п. всегда проявляются признаки общности происхождения систематизируемых объектов, независимо от принципов, положенных в основу систематики. В периодической системе химических элементов Д.И.Менделеева генетических признаков в явном виде не просматривается, хотя Менделеев указывал, что "периодическая законность... открывает новые горизонты зрения на химические эволюции" [34]. Вслед за Менделеевым и другие ученые неоднократно подчеркивали, что периодическую систему нельзя рассматривать как нечто обособленное, только как способ систематики элементов, что она является отображением более глубоких закономерностей и скорее всего закономерностей генетического характера. Наиболее последовательно идею связи периодической системы с генезисом химических элементов проводили в своих работах Крукс, Вернадский, Ферсман [35-37]. Академик Ферсман, в частности, писал: "Весь ход химических процессов космоса есть не что иное, как грандиозная менделеевская система, в которой законы энергетики и уровни энергии как бы управляют отдельными клетками, перемещая элементы и сочетания элементов во времени и пространстве... В будущем уравнении, выражающем общую закономерность развития материи в неорганической природе клетка менделеевской таблицы с величиной заряда и характерными термами будет основной величиной" [37].

Отмечая яркость и признавая справедливость приведенных мнений и высказываний, следует в то же время отметить, что они, в своей основе, интуитивны и не базируются на каких-либо строгих критериях, позволяющих дать генетическую интерпретацию периодической системы. Теперь же, основываясь на описанных выше закономерностях в поведении ионизационных потенциалов атомов, можно сказать, что такой критерий найден. Этим критерием является величина энергии связи электронов с ядром, которую можно уподобить энергии образования химических соединений из свободных атомов.

С позиций этого критерия периодическая система предстает как естественный, энергетически ранжированный ряд химических элементов с нисходящим по величине заряда ядра их расположением и периодически повторяющимися свойствами.

Если принять, как сказано выше, что верхняя граница энергетической устойчивости электронных структур атомов находится в окрестности элемента с  $Z = 125$ , то таблицу периодической системы, с расчленением естественного ряда на периоды и с расположением элементов в порядке энергетической последовательности их формирования, уверенно можно строить начиная со 118-го элемента. Он должен возглавить седьмой период и быть аналогом инертного газа радона из нижележащего шестого периода.

Табличное изображение периодической системы, основанное на энергетической очередности формирования электронных структур атомов, схематически было дано нами ранее [38, 39]. Вариант таблицы, представленный ниже (рис.15), дополнен данными по электронной структуре атомов, вытекающей из зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ .

Особенностью представленной таблицы, кроме нисходящего расположения в ней элементов, является то, что она не содержит групп, а сходные по свойствам элементы увязываются между собой, как и в таблице Бора-Гомсена, прообраз которой взят нами за основу, лишь соединительными линиями. Относительно групп как структурных единиц классической периодической системы необходимо заметить следующее.

Если периоды являются действительно фундаментальными единицами сообщества химических элементов, то деление его на восемь групп в определенной мере условно, что отмечал и сам Менделеев, выделяя еще и подгруппы, а в последствии Бор, Зоммерфельд и другие. Зоммерфельд по этому поводу писал: "Что касается расположения периодической системы в нашей таблице<sup>\*)</sup>, то нельзя не признать, что оно во многих отношениях произвольно... Произволен выбор восьми столбцов, в которые только с натяжкой можно разместить элементы больших периодов. Другой произвол заключается в том, что восьмой столбец мы поместили справа от седьмого. Мы могли бы, как это часто делают, поместить его слева от первого столбца в качестве "нулевого". Нулевой столбец содержал бы тогда элементы нулевой валентности, т.е. химически инертные газы" [10, стр.124].

Другой особенностью представленной таблицы является то, что в трех "малых" периодах выделены элементы - Y, Al, H, как аналоги не одного, а целого ряда элементов вышележащего, более длинного периода. Это сделано на основе следующих соображений.

---

<sup>\*)</sup> Зоммерфельд имеет ввиду классический "короткий" вариант таблицы Менделеева.

Каждый период, как мы знаем, в химическом отношении содержит такое число элементов, которое в сумме дает спектр свойств от свойств инертных газов до чисто металлических. Но этот спектр образуется различным количеством элементов - тридцатью двумя, восемнадцатью, восемью, двумя.

Объяснить эти особенности периодической системы можно двояко. С одной стороны, можно сказать, что суммарные свойства всех элементов предыдущего периода равномерно распределены между меньшим числом элементов последующего периода. В этом смысле каждый элемент меньших периодов должен обладать более широким спектром свойств по сравнению с элементами больших периодов. Однако, наряду с этим, есть основание заключить, что в меньшем периоде имеется особый элемент, который несет в себе черты не одного, а целой группы элементов предыдущего периода. Именно таким элементом является иттрий - аналог лантана и еще 14-ти редкоземельных f-элементов, недостающих в пятом периоде по сравнению с шестым. В третьем периоде таким особым элементом является алюминий, по которому проходит граница между металлами и металлоидами и который можно рассматривать как аналог галлия и десяти d-элементов четвертого периода, недостающих в третьем. В первом периоде особым элементом является водород, который благодаря проявлению полярных свойств - щелочных и галоидных, может характеризоваться как аналог и других элементов второго периода, располагающихся между литием и фтором.

Расстановка элементов в нисходящем порядке решает и ряд дискуссионных вопросов периодической системы. Так, например, в литературе [1, 10, 40, 41, 42] неоднократно обсуждался вопрос, где располагать инертные газы - или их выделять в нулевую группу и ставить перед щелочными металлами, как было принято раньше, или помещать их в восьмой группе, как это стали делать впоследствии. Генетический подход однозначно определяет: место инертных газов во главе каждого периода, поскольку они имеют наибольшую энергию связи электронного окружения с ядром по сравнению с другими элементами периода. При этом, число полностью завершенных электронных слоев в оболочке инертного газа соответствует и номеру периода.

При нисходящей расстановке элементов снимается и проблема размещения актиноидов и лантаноидов в таблице. Как и в других "длинных" вариантах таблиц эти элементы не обособляются в особые группы, а органически вписываются в общую структуру системы, занимая соответствующие места в своих периодах.

Однозначным, с рассматриваемых позиций, оказывается и замыкающее положение водорода в периодической системе,

поскольку энергия связи "электронного окружения" с ядром у него наименьшая по сравнению с другими элементами, т.е. атомы водорода, как химические индивиды, формировались последними на пути эволюционного остывания исходной плазмы.

Вопрос о том, где должен стоять водород, обсуждался многими исследователями [15, 24, 40, 43], но окончательно так и не был решен. Одни авторы, называя водород первым в естественном ряду элементов, ставят его в первую группу, в сообщество щелочных металлов. Другие рассматривают водород как аналог галоидов и помещают его в седьмую группу. По мнению третьих, водород является совершенно необычным химическим элементом и не имеет смысла говорить о каком-то определенном его месте в таблице Менделеева, а следует оттенять лишь те его качества, которые указывают на его определенную общность с нормальными элементами - галоидами и щелочными металлами. Иногда водород, как "первоматерию" всех элементов ставят в середину таблицы над всеми элементами, или помещают его в одну группу с триадами элементов Fe-Co-Ni, Ru-Rh-Pd, Os-Ir-Pt [43].

Из приведенного перечня мнений видно, что хотя они разноречивы, но все они подчеркивают одно - водород необычный элемент. А эта необычность заключается в его способности проявлять прямо противоположные свойства - от металлических до неметаллических. В водороде, занимающем последнюю ступень нисходящей, периодически сужающейся лестницы всего сообщества химических элементов, как бы запечатлен весь спектр их свойств, и это объяснимо, поскольку состоит атом водорода только из протона и электрона, а именно их взаимодействие определяет химизм любого из элементов.

Принцип расстановки элементов в порядке снижения энергии связи электронов с ядром в определенной степени решает и вопрос о границах периодической системы.

В литературе условились называть начало таблицы Менделеева нижней границей, а ее конец - верхней [40]. Если в традиционное изображение периодической системы не закладывать ничего другого, кроме табличной систематики элементов в порядке возрастания заряда ядра, то нелогично верх таблицы называть нижней границей, а низ - верхней. Если же в систематику заложить смысл последовательности появления электронного окружения у атомов, то естественным и логичным становятся понятия верха (со стороны заурановых, точнее предурановых элементов) и низа (со стороны водорода) периодической системы. При этом особенности энергетики электронов в атомах гипотетических элементов с  $Z \geq 125$ , отмеченные выше, дают основание не далее чем в окрестность



именно этих значений  $Z$  отодвигать верхнюю границу периодической системы.

Завершая рассмотрение естественного ряда химических элементов с позиций энергетической последовательности формирования их атомов, хотелось бы коснуться еще одной проблемы, а именно, проблемы различной длины периодов таблицы Менделеева.

Зоммерфельд в одной из своих работ писал, что проблема периодической системы будет решена лишь тогда, когда удастся объяснить не только границу всей системы, но также и длину определенных периодов. Вопрос о границах системы, как сказано выше, в настоящее время близок к решению и пределы естественного ряда элементов можно достаточно аргументировано ограничить числом 125. Что касается природы различной длины отдельных периодов, то объяснения этому пока не найдено. Однако и к решению этой проблемы, на наш взгляд, можно подойти используя результаты, полученные в настоящей работе. Рассмотрим один из возможных путей этого решения.

В начале 80-х годов минувшего столетия астрофизиками Крымской обсерватории было открыто явление периодической пульсации Солнца [44]. Выступая на собрании Академии наук СССР один из авторов открытия, известный астрофизик, академик А.Б.Северный, говоря о его сущности, попутно заметил, что анализ результатов многолетних астрофизических наблюдений дает основание заключить, что химические элементы в звездных объектах образуются не индивидуализированно, а какими-то комплексами, которые со временем распадаются на отдельные элементы. Это послужило нам поводом предположить, что подобными комплексами могли быть образования, которые впоследствии трансформировались в сообщества, составляющие целые периоды. Иными словами, на разных этапах энергетической эволюции высокотемпературной протоматерии могли формироваться близкие по спектру свойств, но разные по “элементной” емкости и по энергии межчастичного взаимодействия комплексы, которые впоследствии распадались, подобно распаду твердых растворов на составные части.

Косвенным аргументом в пользу такого предположения можно считать то, что периоды, как подчеркивалось выше, независимо от числа входящих в них элементов, характеризуются одинаковым спектром свойств - от инертных до щелочных.

Сознавая, что высказанное предположение нуждается в дополнительной, более строгой аргументации мы решили проанализировать, не обладают ли различные периоды, наряду с одинаковым спектром химических свойств, какими-либо общими физическими характеристиками. Ниже излагается результат этого анализа.

Одной из важных энергетических характеристик звездных объектов, где зарождаются и формируются атомы химических элементов, является, как известно, плотность энергии [19]. По этому параметру, точнее по удельной, приходящейся на единицу атомной массы, плотности энергии связи электронов в атомах мы и решили сопоставить все периоды. С этой целью в каждом из периодов была просуммирована энергия связи всех электронов во всех атомах и отнесена к суммарному объему, а затем к суммарной атомной массе. Суммарная энергия вычислялась суммированием всех значений  $-E_i$ , найденных по соотношению (6). Суммарный объем определялся суммированием объемов атомов, вычисленных через атомные радиусы, найденные по соотношению (9). Суммарная масса атомов находилась суммированием соответствующих атомных весов. В итоге было получено следующее выражение для определения удельной плотности энергии связи электронов в атомах для каждого периода:

$$P_{уд} = \frac{\sum E_i}{\sum \vartheta \cdot \sum M}, \text{ эВ}/(\text{Å}^3 \cdot \text{а.м.}). \quad (10)$$

Эта характеристика подобна удельной теплоемкости вещества, т.е. теплоемкости, приходящейся на единицу его массы, с той разницей, что вместо изменения температуры, как функции энергии, здесь взят объем атомов, непосредственно зависящий от энергии связи электронов.

Величина найденной удельной плотности энергии оказалась близкой для пяти периодов из шести (VI-II). Ее значение колеблется в пределах от 1,24 до 1,93 эВ/(Å<sup>3</sup>·а.м.) (Табл. 10, рис.16).

Таблица 10

Физические параметры периодов таблицы Менделеева<sup>1</sup>

Период	$\sum E_i$	$\sum \vartheta$	$P_{\vartheta} = \frac{\sum E}{\sum \vartheta}$	$\sum M$	$P_{уд} = \frac{\sum E_i}{\sum \vartheta \cdot \sum M}$
VI	13401290	1807,9	7412,6	5577	1,33
V	2507991	761,2	3294,8	1913	1,72
IV	757370	560,8	1350,5	1092	1,24
III	70693	223	317	241	1,32
II	11950	57,2	208,9	108	1,93
I	92,36	0,874	105,7	5,01	21,1

<sup>1</sup>  $\sum E_i$ , эВ - суммарная энергия связи электронов;  $\sum \vartheta$ , Å<sup>3</sup> - суммарный объем атомов;  $\sum M$  - суммарная атомная масса;  $P_{\vartheta}$ , эВ/Å - плотность энергии связи электронов;  $P_{уд}$ , эВ/(Å<sup>3</sup>·а.м.) - удельная плотность энергии связи электронов

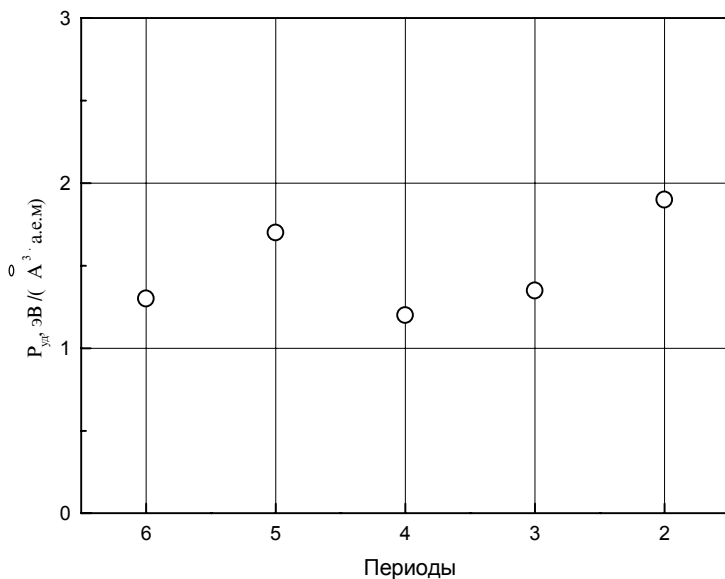


Рис.16. Значения удельной плотности энергии связи электронов в атомах по периодам

Что касается первого периода, то он выявленной закономерности не подчиняется. И это логично, если исходить из практически общепринятого мнения, что гелий в звездных объектах является продуктом реакции “горения” водорода - превращения четырех протонов в  $\alpha$ -частицу, два позитрона и два нейтрино [8]:



а атомы водорода, точнее их ядра, могли возникать индивидуально еще на стадии образования первичной плазмы по реакции распада нейтронов



Отмечая близость величины  $P_{уд}$  для периодов нельзя не обратить внимания на то, что удельная плотность энергии отдельных атомов каждого периода колеблется от единиц до десятков  $\text{эВ}/(\text{Å}^3 \text{ а.м.})$  (Табл.11). Этот факт является дополнительным свидетельством того, что выявленная закономерность для периодов не является случайной.

Таблица 11

Физические параметры атомов элементов,  
ограничивающих периоды таблицы Менделеева\*)

Период	Граничные элементы периода	$E_0$ , эВ	$\vartheta$ , $\text{Å}^3$	$M$	$P_{\text{уд}} = \frac{E_0}{\vartheta \cdot M}$ , эВ/ $\text{Å}^3 \cdot M$
VI	86Rn	668690	30,01	222	100,37
	55Cs	217860	130,1	132,905	12,60
V	54Xe	208130	23,07	131,3	68,72
	37Rb	81705	89,49	85,47	10,68
IV	36Kr	76390	14,97	83,80	60,89
	19K	16234	59,87	39,1	6,93
III	13Fr	14260	9,37	39,94	38,10
	11Na	4366,8	58,69	22,91	3,24
II	10Ne	3472,3	2,116	20,179	81,32
	3Li	202,5	19,48	6,941	1,50
I	He	78,8	0,254	4,0026	77,5
	H	13,6	0,620	1,008	21,76

\*)  $E_0$  - энергия основного состояния,  $\vartheta$  - объем,  $M$  - атомная масса,  
 $P_{\text{уд}}$  - удельная плотность энергии связи электронов

Рассматривая близость величины удельной плотности энергии в периодах как достаточно веский аргумент в пользу представления о связи числа элементов в периоде с определенными комплексами материи, следует рассмотреть и вероятный ход процесса формирования атомов в целом.

Схематически процесс образования атомов химических элементов через стадию возникновения и распада определенных комплексов можно представить следующим образом.

По мере остывания исходной высокотемпературной плазмы, возникшей в процессе преобразования нейтронной протоматерии, например, по схеме реакции  $\beta$ -распада (12), и состоявшей из остаточных нейтронов, протонов, электронов, последовательно формировались нуклонные комплексы, по емкости отвечавшие составам седьмого, шестого, пятого, четвертого, третьего и второго периодов. Возникшие комплексы, совместно с ядрами водорода, электронами и ядрами гелия определяли равновесный состав плазмы

на этом энергетическом этапе эволюции протоматерии. В дальнейшем по мере изменения термодинамических условий (снижения температуры и давления) комплексы последовательно претерпевали распад, начиная с наиболее тяжелых, а продукты распада - атомные ядра, также последовательно, начиная с наиболее тяжелых, "обрастали" электронами в соответствии с величиной энергии их притяжения.

Описанная картина является, естественно, лишь схематическим наброском процесса формирования атомов через этапы образования и распада комплексов, соответствовавших целым периодам химических элементов. Не исключено, что эти комплексы могли возникать в разных звездных объектах и в разное время. Важно подчеркнуть здесь лишь то, что с позиции выявленных энергетических зависимостей и соотношений, рассмотренных выше, вероятность образования и распада таких комплексов вполне допустима.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа данных по энергии ионизации изоэлектронных атомов (ионов) естественного ряда химических элементов выявлен ряд неизвестных ранее закономерностей, позволяющих внести существенные коррективы в традиционные представления о строении и последовательности формирования электронных оболочек атомов, подойти к решению ряда дискуссионных вопросов периодической системы химических элементов и получить аргументы для ее генетической интерпретации. Сущность результатов, изложенных в настоящей работе, сводится к следующему.

Энергия связи изономерных (считая со стороны ядра) электронов в атомах естественного ряда химических элементов подчиняется зависимости, подобной закону Мозли: корень квадратный из ее величины линейно зависит от заряда ядра

$$\sqrt{E_i} = \frac{\sqrt{R} \cdot (Z - a_i)}{n_i},$$

где  $\sqrt{R}$  - постоянная Ридберга.

Каждая изомерная серия электронов характеризуется своим эффективным главным квантовым числом, а не общим квантовым числом соответствующего слоя электронов. Эффективные квантовые числа представляют собой приращения заряда ядра, которые увеличивают энергию связи электронов изомерной серии на величину  $\sqrt{R}$  и не являются целочисленными. Абсолютные

значения эффективных главных квантовых чисел электронов близки к теоретическим (1 и 2) лишь для К и L слоев. Для электронов других слоев снижение значений эффективных квантовых чисел, по сравнению с теоретическими, достигает 7 - 46%.

Каждая серия электронов характеризуется своим значением постоянной экранирования, которая представляет собой отрезок оси  $Z$ , отсекаемый прямой  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , т. е. это величина  $Z$  при  $\sqrt{E_i} = 0$ .

Величина эффективного заряда ядра, находящаяся через постоянную экранирования, ( $Z_{\text{эф.}} = Z - a_i$ ) для различных серий электронов в атомах различных элементов колеблется от 99 до 2% исходной величины  $Z$ . Экранировка ядра электронами снижает его заряд как монотонно, так и периодически скачкообразно. Сравнительно монотонное снижение сменяется скачкообразным после 2, 8, 8, 18, 18 и 32 электронов, т.е. после суммы электронов равной числу элементов в периодах. Таким образом, известное утверждение, что "только внешние части атома строятся периодически" требует корректировки.

Полученные значения эффективных главных квантовых чисел и эффективных зарядов ядра для внешних электронов атомов всех химических элементов дали возможность создать систему атомных радиусов, наиболее корректно характеризующих реальные размеры свободных атомов.

Из линейных графиков зависимости  $\sqrt{E_i} = f(Z)$  следует, что энергетические уровни электронов типа 3d - 4s в пределах естественного ряда химических элементов не перекрываются. Графики, группируясь в пучки, соответствующие квантовым слоям - К, L, M, N, O, P, дают наглядное представление о структуре электронных оболочек атомов всех химических элементов.

Максимальное число электронов в квантовых слоях не подчиняется соотношению  $Q = 2n^2$ , где  $n$  - номер квантового слоя. В четвертом квантовом слое (N), ограниченном сериями 29-х - 46-х электронов, максимальное число электронов не 32, а 18. В пятом (O) слое, охватывающем серии электронов от 47-й до 79-й, максимальное число электронов не 50, а 32. Электроны, которым приписывается конфигурация 4f, располагаются в 5-м квантовом слое и должны характеризоваться как 5f-электроны.

Для подавляющего большинства элементов длинных периодов (VI, V, IV) отсутствует корреляция между числом квантовых слоев в атоме и номером периода, к которому он принадлежит. Традиционное представление о том, что "с началом новой оболочки обязательно связано начало нового периода" не имеет физического обоснования.

Значения эффективных главных квантовых чисел и постоянных экранирования для всех серий электронов, полученные в работе, дали возможность вычислить энергию связи каждого из электронов в атомах всех элементов. Закономерное снижение энергии связи электронов с ядром, по мере снижения атомного номера, свидетельствует о такой же последовательности - от тяжелых элементов к легким, формирования электронных оболочек атомов в природе. Нисходящая по величине  $Z$  расстановка химических элементов в таблице Менделеева иллюстрирует генетическое содержание менделеевской систематики. Периодическая система с позиций полученных данных предстает как естественный, генетически ранжированный ряд химических элементов с нисходящим по величине  $Z$  их расположением и периодически повторяющимися свойствами. Все периоды начинаются инертными газами и заканчиваются щелочными металлами. Особенностью представленной таблицы является то, что сходные по свойствам элементы не объединяются в группы, а увязываются между собой лишь соединительными линиями. При этом в трех малых периодах выделяются элементы Y, Al, H, как аналоги не одного, а группы элементов вышележащих периодов: иттрий - аналог редкоземельных элементов шестого периода от лютеция до лантана; алюминий аналог группы металлов четвертого периода от галлия до скандия; водород - аналог элементов второго периода, от фтора до лития. Атомы водорода, имеющие по сравнению с атомами других элементов, наименьшую энергию связи электронного окружения с ядром, как химические индивиды формировались в последнюю очередь на пути энергетической эволюции исходной плазмы. Этим определяется то, что водород заканчивает естественный ряд химических элементов.

Из анализа графиков  $\sqrt{E_i} = f(Z)$ , экстраполированных в область трансурановых элементов следует, что граница электронной устойчивости атомов, т.е. верхняя граница периодической системы, находится в окрестности гипотетического элемента с  $Z \approx 125$ .

Одинаковый спектр химических свойств элементов в периодах - от инертных до щелочных-, а также близость вычисленной величины удельной плотности энергии связи электронов в различных по длине периодах, дают основание заключить, что сообщества элементов, составляющих периоды, образовались в результате распада близких по свойствам комплексов материи, возникавших в процессе энергетической эволюции вещества горячей ранней Вселенной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Д.И.Менделеев. Периодический закон. т.1, Серия классики науки. АН СССР, Москва (1958).
2. Б.М.Кедров, Д.Н.Трифонов. О современных проблемах периодической системы. Атомиздат, Москва (1974).
3. Г.Сиборг. Эволюция периодической системы элементов со времен Д.И.Менделеева до наших дней. В кн.: Сто лет периодического закона химических элементов. Наука, Москва (1969).
4. Ю.Б.Румер, А.И.Фет. Группа  $Spin(4)$  и таблица Менделеева. Теоретическая и математическая физика, № 9, с.211 (1971).
5. А.В.Горох. Закономерности изменения потенциалов ионизации и эффективных параметров изоэлектронных атомов и ионов в зависимости от заряда ядра. Докл. АН СССР, т.318, № 3, с.581–585 (1991).
6. А.Эйнштейн. Собрание научных трудов, т.IV, Наука, Москва (1967).
7. П.Дирак. Пути физики. Энергоатомиздат, Москва (1983).
8. Р.Дж.Тейлер. Происхождение химических элементов. Мир, Москва (1975).
9. Н.Бор. Избранные труды, т.1. Серия Классики науки, Наука, Москва (1970).
10. А.Зоммерфельд. Строение атома и спектры, т.1, ГИТ-ТЛ, Москва (1956).
11. Э.В.Шпольский. Атомная физика, т.1, ГИФМЛ, Москва (1963).
12. В.Н.Кондратьев. Структура атомов и молекул. Физматгиз, Москва (1959).
13. Дж.Кемпбел. Современная общая химия, т.1. Мир, Москва (1975).
14. Физический энциклопедический словарь. Сов.энциклопедия, Москва (1984).
15. Н.П.Агафшин. Периодический закон и периодическая система элементов Д.И.Менделеева. Просвещение, Москва (1973).
16. Таблицы физических величин. Справочник, Атомиздат, Москва (1976).
17. В.М.Клечковский. Распределение атомных электронов и правило последовательного заполнения  $((n+1)$ -групп. Атомиздат, Москва (1968).
18. Л.А.Арцимович. Элементарная физика плазмы. Атомиздат, Москва (1969).
19. К.У.Аллен. Астрофизические величины. Мир, Москва (1977).
20. Л.Д.Ландау, Е.М.Лившиц. Квантовая механика. Физматгиз, Москва (1963).



21. Б.М.Яворский, А.А.Детлаф. Справочник по физике. Наука, Москва (1971).
22. И.И.Корнилов. Никель и его сплавы. Изд-во АН СССР, Москва (1958).
23. С.А.Альтшулер, Б.М.Козырев. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. Наука, Москва (1972).
24. Б.М.Некрасов. Основы общей химии. Химия, Москва (1973).
25. С.С.Бацанов. Систематика атомных радиусов. Ж.структ.хим, 3, № 5, с.616-627 (1962).
26. С.С.Бацанов. Экспериментальные основы структурной химии. Изд. стандартов, Москва (1986).
27. В.С.Урусов. Эффективные параметры электронных оболочек атомов и ионов. Ж.структ. хим., 3, № 4 (1962).
28. В.С.Урусов. О физическом смысле различных систем радиусов атомов и ионов и их роли в решении вопросов изоморфизма. В кн.: Проблемы изоморфных замещений атомов в кристаллах. Наука, Москва, с.12-31 (1971).
29. А.Р.Регель, В.М.Глазов. Периодический закон и физические свойства электронных расплавов. Наука, Москва (1978).
30. Г.Б.Бокий. Кристаллохимия. Наука, Москва (1971).
31. J.Slater. - J.Chem.-Phys., vol.41, p.3199 (1964).
32. J.Waber, D.Cromer. - J.Chem.-Phys., vol.42, p.4116 (1965).
33. R.Boyd. - J.Phys., vol.B10, p.2283 (1977).
34. Д.И.Менделеев. Периодический закон. Серия классики науки. Дополнительные материалы, АН СССР, Москва (1960).
35. В.Крукс. О происхождении химических элементов. С.-Пб. (1887).
36. В.И.Вернадский. Очерки геохимии. Госиздат, Москва-Ленинград (1934).
37. А.Е.Фереман. Периодический закон Менделеева в свете современной науки. В кн.: Периодический закон Д.И.Менделеева и его философское значение. Госкомиздат, Москва (1947).
38. А.В.Горох. Энергия основного состояния атомов и ее отражение в периодической системе. В сб. "Физика твердого тела", Вища школа, Харьков, с.25-29 (1989).
39. А.В.Горох. Периодическая система и естественная очередность формирования атомов химических элементов в природе. В сб. "Актуальные проблемы современного естествознания", Тез.докл., РАЕН, Калуга, с.196 (1997).
40. Д.Н.Трифонов. Границы и эволюция периодической системы. Госатомиздат, Москва (1963).

41. А.Антропофф. Валентность благородных газов и их положение в Периодической системе. Химия и жизнь, № 2 (1982).
42. Б.М.Кедров. Прогнозы Д.И.Менделеева в атомистике. Неизвестные элементы. Атомиздат, Москва (1977).
43. К.Дей, Д.Селбин. Теоретическая неорганическая химия, Мир, Москва (1976).
44. Открытия в СССР. ВНИПИ, Москва, с.8-10 (1984).

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Распределение электронов в атомах: А - по традиционным представлениям; В - согласно зависимости  $\sqrt{E_i} = f(z)$

Атомный №	Элемент	По данным																				
		K	L	M			N				O					P				Q		
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	5(fd)	6s	6p	6d	6(fd)	7s	
100	Fm	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	12	-	2	6	-	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	14	
99	Es	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	11	-	2	6	-	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	13	
98	Cf	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	10	-	2	6	-	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	12	
97	Bk	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	8	-	2	6	1	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	11	
96	Cm	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	-	2	6	1	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	10	
95	Am	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	-	2	6	-	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	9	
94	Pu	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	6	-	2	6	-	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	8	
93	Np	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	4	-	2	6	1	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	7	
92	U	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	3	-	2	6	1	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	6	
91	Pa	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	-	2	6	1	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	5	
90	Th	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	-	2	6	2	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	4	
89	Ac	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	-	2	6	1	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	3	
88	Ra	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	-	2	6	-	-	2
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	2	
87	Fr	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	-	2	6	-	-	1
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	1	
86	Pn	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	-	2	6	-	-	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	6	-	-	
85	At	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	-	2	5	-	-	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	5	-	-	
84	Po	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	-	2	4	-	-	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	4	-	-	
83	Bi	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	-	2	3	-	-	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	24	2	3	-	-	

Таблица 1 (продолжение)

Атомный №	Элемент	По данным		K		L			M			N				O				P	
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5(fd)	6s	6p				
82	Pb	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	2	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	24	2	2			
81	Tl	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	2	1			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	24	2	1			
80	Hg	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	24	2				
79	Au	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	-	1				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	24	1				
78	Pt	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	9	-	1				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	24	-				
77	Jr	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	23	-				
76	Os	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	22	-				
75	Re	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	21	-				
74	W	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	-	-	4	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	20	-				
73	Ta	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	19	-				
72	Hf	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	18	-				
71	Lu	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	17	-				
70	Yb	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	-	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	16	-				
69	Tm	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6	-	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	15	-				
68	Er	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6	-	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	14	-				
67	Ho	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6	-	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	13	-				
66	Dy	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6	-	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	12	-				
65	Tb	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6	-	-	2				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	11					

Таблица 1 (продолжение)

Атомный №	Элемент	По данным	K			L			M			N				O				P
			1	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5(fd)	6s			
64	Gd	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1	-	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	10				
63	Eu	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	-	-	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	9				
62	Sm	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6	-	-	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	8				
61	Pm	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	-	-	-	-	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	7				
60	Nd	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	-	-	-	-	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	6				
59	Pr	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	-	-	-	-	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	5				
58	Ce	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	-	-	-	-	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	4				
57	La	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	-	-	1	-	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	3				
56	Ba	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	2			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-				
55	Cs	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-	1			
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	1				
54	Xe	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	-	-				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	6	-	-				
53	J	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	5	-	-				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	5	-	-				
52	Te	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	4	-	-				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	4	-	-				
51	Sb	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	3	-	-				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	3	-	-				
50	Sn	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	2	-	-				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	2	-	-				
49	Jn	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	1	-	-				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	1	-	-				
48	Cd	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	-	-	-				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	2	-	-	-				
47	Ag	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	1	-	-	-				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10	-	1	-	-	-				

Таблица 1 (продолжение)

Атомный №	Элемент	По данным	K			L			M			N			O
			1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s		
46	Pd	A	2	2	6	2	6	10	2	6	10				
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	10				
45	Rh	A	2	2	6	2	6	10	2	6	8			1	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	9				
44	Ru	A	2	2	6	2	6	10	2	6	7			1	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	8				
43	Tc	A	2	2	6	2	6	10	2	6	6			1	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	7				
42	Mo	A	2	2	6	2	6	10	2	6	5			1	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	6				
41	Nb	A	2	2	6	2	6	10	2	6	4			1	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	5				
40	Zr	A	2	2	6	2	6	10	2	6	2			2	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	4				
39	Y	A	2	2	6	2	6	10	2	6	1			2	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	3				
38	Sr	A	2	2	6	2	6	10	2	6	-			2	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	2				
37	Rb	A	2	2	6	2	6	10	2	6	-			1	
		B	2	2	6	2	6	10	2	6	1				
36	Kr	A	2	2	6	2	6	10	2	6					
		B	2	2	6	2	6	10	2	6					
35	Br	A	2	2	6	2	6	10	2	5					
		B	2	2	6	2	6	10	2	5					
34	Se	A	2	2	6	2	6	10	2	4					
		B	2	2	6	2	6	10	2	4					
33	As	A	2	2	6	2	6	10	2	3					
		B	2	2	6	2	6	10	2	3					
32	Ge	A	2	2	6	2	6	10	2	2					
		B	2	2	6	2	6	10	2	2					
31	Ga	A	2	2	6	2	6	10	2	1					
		B	2	2	6	2	6	10	2	1					
30	Zn	A	2	2	6	2	6	10	2						
		B	2	2	6	2	6	10	2						
29	Cu	A	2	2	6	2	6	10	1						
		B	2	2	6	2	6	10	1						

Таблица 1 (продолжение)

Атомный №	Элемент	По данным	K			L			M			N
			1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s			
28	Ni	A	2	2	6	2	6	8	2			
		B	2	2	6	2	6	10	-			
27	Co	A	2	2	6	2	6	7	2			
		B	2	2	6	2	6	9	-			
26	Fe	A	2	2	6	2	6	6	2			
		B	2	2	6	2	6	8	-			
25	Mn	A	2	2	6	2	6	5	2			
		B	2	2	6	2	6	7	-			
24	Cr	A	2	2	6	2	6	5	1			
		B	2	2	6	2	6	6	-			
23	V	A	2	2	6	2	6	3	2			
		B	2	2	6	2	6	5	-			
22	Ti	A	2	2	6	2	6	2	2			
		B	2	2	6	2	6	4	-			
21	Sc	A	2	2	6	2	6	1	2			
		B	2	2	6	2	6	3	-			
20	Ca	A	2	2	6	2	6	-	2			
		B	2	2	6	2	6	2	-			
19	K	A	2	2	6	2	6	-	1			
		B	2	2	6	2	6	1	-			
18	Ar	A	2	2	6	2	6					
		B	2	2	6	2	6					
17	Cl	A	2	2	6	2	5					
		B	2	2	6	2	5					
16	S	A	2	2	6	2	4					
		B	2	2	6	2	4					
15	P	A	2	2	6	2	3					
		B	2	2	6	2	3					
14	Si	A	2	2	6	2	2					
		B	2	2	6	2	2					
13	Al	A	2	2	6	2	1					
		B	2	2	6	2	1					
12	Mg	A	2	2	6	2						
		B	2	2	6	2						
11	Na	A	2	2	6	2						
		B	2	2	6	2						

Таблица 1 (продолжение)

Атомный №	Элемент	По данным	L		
			1s	2s	2p
10	Ne	A	2	2	6
		B	2	2	6
9	F	A	2	2	5
		B	2	2	5
8	O	A	2	2	4
		B	2	2	4
7	N	A	2	2	3
		B	2	2	3
6	C	A	2	2	2
		B	2	2	2
5	B	A	2	2	1
		B	2	2	1
4	Be	A	2	2	
		B	2	2	
3	Li	A	2	1	
		B	2	1	
2	He	A	2		
		B	2		
1	H	A	1		
		B	1		



Таблица 2

Энергия связи электронов (эВ), последовательно располагающихся  
от центра к периферии атома, всего естественного ряда  
химических элементов

<i>i Z</i>	92	91	90	89	88
1	115160	112670	110210	107770	105360
2	114750	112250	109780	107330	104920
3	27988	27371	26761	26158	25562
4	27893	27275	26663	26058	25460
5	27730	27107	26492	25883	25281
6	27571	26946	26329	25719	25116
7	27420	26793	26173	25561	24956
8	27181	26552	25931	25317	24710
9	27042	26410	25786	25170	24561
10	26926	26292	25665	25046	24434
11	11875	11590	11308	11029	10754
12	11852	11565	11281	11001	10725
13	11753	11464	11179	10897	10619
14	11679	11389	11103	10820	10542
15	11628	11337	11049	10766	10485
16	11543	11250	10961	10676	10394
17	11459	11165	10876	10590	10308
18	11400	11105	10814	10527	10244
19	11188	10889	10595	10305	10018
20	11109	10810	10515	10224	9936.7
21	11022	10721	10425	10132	9843.6
22	10924	10621	10324	10030	9740.4
23	10788	10485	10187	9893.1	9603.4
24	10735	10429	10128	9831.7	9539.6
25	10608	10302	10000	9702.9	9410.2
26	10521	10213	9909.7	9611.0	9316.9
27	10417	10108	9802.9	9503.0	9207.6
28	10296	9985.2	9679.4	9378.4	9082.1
29	5893.4	5714.4	5538.1	5364.7	5194.0
30	5823.9	5644.9	5468.6	5295.1	5124.5
31	5738.8	5558.2	5380.5	5205.7	5033.8
32	5680.5	5499.7	5321.7	5146.7	4974.7
33	5672.2	5489.4	5309.6	5132.8	4959.0
34	5577.9	5395.2	5215.5	5038.8	4865.2
35	5549.6	5365.5	5184.4	5006.5	4831.7
36	5511.3	5326.0	5143.8	4964.8	4789.0
37	5133.3	4953.5	4777.0	4603.7	4433.6

<b>iZ</b>	<b>92</b>	<b>91</b>	<b>90</b>	<b>89</b>	<b>88</b>
38	5079.6	4899.3	4722.2	4548.4	4377.9
39	5005.1	4824.6	4647.4	4473.6	4303.0
40	4953.9	4772.1	4593.7	4418.7	4247.2
41	4826.5	4646.1	4469.1	4295.6	4125.5
42	4760.4	4579.1	4401.3	4227.0	4056.2
43	4628.9	4449.2	4273.0	4100.4	3931.3
44	4530.7	4351.3	4175.5	4003.4	3834.8
45	4431.8	4252.8	4077.4	3905.8	3737.8
46	4319.9	4142.2	3968.2	3797.9	3631.4
47	2985.3	2860.7	2738.7	2619.4	2502.7
48	2894.4	2771.5	2651.3	2533.7	2418.8
49	2719.6	2600.3	2483.7	2369.8	2258.6
50	2638.1	2520.5	2405.6	2293.3	2183.7
51	2549.5	2433.7	2320.6	2210.2	2102.5
52	2449.4	2335.8	2224.8	2116.6	2011.0
53	2360.1	2248.4	2139.4	2033.1	1929.5
54	2283.2	2173.2	2065.9	1961.3	1859.5
55	2038.6	1934.5	1833.2	1734.6	1638.8
56	1968.6	1866.2	1766.6	1669.7	1575.5
57	1879.2	1779.1	1681.7	1587.0	1495.1
58	1807.6	1709.3	1613.7	1520.8	1430.7
59	1695.3	1599.9	1507.3	1417.5	1330.4
60	1612.6	1519.5	1429.1	1341.6	1256.8
61	1518.8	1428.4	1340.7	1255.8	1173.6
62	1426.7	1338.9	1253.9	1171.7	1092.3
63	1344.9	1259.6	1177.1	1097.4	1020.5
64	1270.4	1187.4	1107.2	1029.8	955.20
65	1199.4	1118.7	1040.8	965.63	893.33
66	1122.3	1044.1	968.75	896.21	826.49
67	1050.6	974.84	901.96	831.90	764.68
68	971.30	898.43	828.41	761.22	696.88
69	843.78	778.15	715.17	654.84	597.18
70	782.25	718.81	658.05	599.97	544.58
71	723.75	662.49	603.95	548.11	494.98
72	676.69	617.23	560.51	506.52	455.26
73	631.97	574.29	519.37	467.20	417.80
74	579.82	524.37	471.70	421.82	374.73
75	530.11	476.74	426.19	378.48	333.60
76	485.59	434.33	385.92	340.37	297.68
77	442.11	393.03	346.83	303.52	263.10
78	395.45	348.89	305.24	264.51	226.69
79	291.11	255.32	221.87	190.77	162.02
80	269.36	234.53	202.11	172.10	144.50

<b>iZ</b>	<b>92</b>	<b>91</b>	<b>90</b>	<b>89</b>	<b>88</b>
81	214.13	183.02	154.36	128.14	104.36
82	191.33	161.83	134.80	110.23	88.139
83	162.94	135.66	110.87	88.578	68.788
84	140.76	115.34	92.452	72.090	54.258
85	119.96	96.457	75.512	57.128	41.304
86	102.20	80.481	61.350	44.812	30.866
87	58.398	42.267	28.737	17.810	9.4837
88	47.311	32.877	21.062	11.867	5.2918
89	37.513	24.800	14.709	7.2379	
90	24.893	14.763	7.2650		
91	15.175	7.5425			
92	7.8263				
<b>Σ</b>	<b>793130</b>	<b>771480</b>	<b>750190</b>	<b>729270</b>	<b>708710</b>

<b>iZ</b>	<b>87</b>	<b>86</b>	<b>85</b>	<b>84</b>	<b>83</b>
1	102980	100630	98303	96004	93732
2	102530	100170	97833	95526	93247
3	24973	24390	23815	23246	22684
4	24869	24285	23708	23137	22574
5	24687	24099	23519	22945	22379
6	24520	23931	23349	22775	22207
7	24359	23768	23185	22609	22040
8	24110	23518	22934	22357	21787
9	23959	23365	22778	22199	21627
10	23830	23234	22645	22063	21489
11	10483	10215	9950.3	9689.2	9431.6
12	10452	10182	9916.1	9653.6	9394.7
13	10344	10073	9805.6	9541.7	9281.5
14	10266	9994.7	9726.8	9462.5	9201.8
15	10209	9936.4	9667.4	9402.0	9140.4
16	10116	9842.4	9572.2	9305.8	9043.1
17	10030	9755.1	9484.6	9217.8	8954.8
18	9964.5	9689.0	9417.5	9149.8	8885.9
19	9736.0	9457.7	9183.5	8913.3	8647.1
20	9653.8	9375.0	9100.3	8829.7	8563.2
21	9559.3	9279.2	9003.3	8731.5	8463.9
22	9455.2	9174.2	8897.5	8625.0	8356.7
23	9317.9	9036.8	8760.0	8487.5	8219.3
24	9251.8	8968.5	8689.5	8415.0	8144.9
25	9122.0	8838.3	8559.1	8284.3	8014.0
26	9027.4	8742.4	8462.0	8186.1	7914.9
27	8916.9	8630.9	8349.6	8072.9	7800.9
28	8790.5	8503.7	8221.7	7944.4	7671.9

<i>iZ</i>	<b>87</b>	<b>86</b>	<b>85</b>	<b>84</b>	<b>83</b>
29	5026.0	4860.9	4698.4	4538.8	4381.9
30	4956.6	4791.5	4629.3	4469.8	4313.1
31	4864.7	4698.6	4535.3	4374.9	4217.4
32	4805.6	4639.3	4476.1	4315.7	4158.3
33	4788.2	4620.4	4455.6	4293.8	4134.9
34	4694.6	4527.1	4362.6	4201.2	4042.8
35	4660.1	4491.5	4326.0	4163.6	4004.4
36	4616.4	4446.9	4280.6	4117.4	3957.4
37	4266.7	4103.0	3942.5	3785.2	3631.0
38	4210.6	4046.6	3885.9	3728.4	3574.1
39	4135.7	3971.8	3811.2	3653.9	3499.9
40	4079.0	3914.2	3752.8	3594.8	3440.2
41	3958.8	3795.6	3635.8	3479.4	3326.5
42	3889.0	3725.3	3565.1	3408.4	3255.2
43	3765.8	3603.8	3445.4	3290.6	3139.3
44	3669.9	3508.6	3350.9	3196.9	3046.5
45	3573.5	3412.9	3256.0	3102.8	2953.3
46	3468.6	3309.6	3154.3	3002.7	2854.8
47	2388.7	2277.4	2168.7	2062.6	1959.3
48	2306.6	2197.1	2090.2	1985.9	1884.4
49	2150.0	2044.1	1940.9	1840.3	1742.5
50	2076.8	1972.6	1871.1	1772.2	1676.1
51	1997.4	1895.1	1795.5	1698.5	1604.2
52	1908.2	1808.0	1710.6	1615.8	1523.8
53	1828.6	1730.5	1635.0	1542.3	1452.2
54	1760.3	1663.9	1570.1	1479.1	1390.9
55	1545.6	1455.2	1367.5	1282.5	1200.3
56	1484.0	1395.3	1309.3	1226.1	1145.6
57	1405.9	1319.4	1235.8	1154.8	1076.6
58	1343.4	1258.8	1176.9	1097.8	1021.5
59	1246.1	1164.6	1085.8	1009.7	936.45
60	1174.7	1095.5	1019.0	945.22	874.26
61	1094.3	1017.7	943.90	872.87	804.63
62	1015.7	941.84	870.78	802.51	737.03
63	946.32	874.98	806.43	740.68	677.73
64	883.41	814.42	748.24	684.86	624.28
65	823.84	757.16	693.29	632.24	574.00
66	759.60	695.53	634.28	575.85	520.25
67	700.29	638.73	580.00	524.10	471.04
68	635.37	576.71	520.89	467.91	417.77
69	542.17	489.82	440.12	393.09	348.71
70	491.87	441.84	394.49	349.83	307.85
71	444.56	396.84	351.84	309.54	269.95

<b>iZ</b>	<b>87</b>	<b>86</b>	<b>85</b>	<b>84</b>	<b>83</b>
72	406.73	360.94	317.89	277.56	239.97
73	371.16	327.27	286.15	247.79	212.18
74	330.42	288.91	250.17	214.23	181.07
75	291.55	252.33	215.94	182.39	151.67
76	257.85	220.88	186.77	155.52	127.13
77	225.57	190.92	159.16	130.29	104.30
78	191.79	159.81	130.74	104.59	81.348
79	135.62	111.56	89.849	70.485	53.469
80	119.32	96.538	76.170	58.213	42.666
81	83.013	64.108	47.643	33.617	22.030
82	68.512	51.354	36.665	24.444	14.692
83	51.496	36.703	24.409	14.614	7.3170
84	38.956	26.182	15.938	8.2236	
85	28.041	17.338	9.1953		
86	19.512	10.750			
87	3.7596				
<b>Σ</b>	<b>688520</b>	<b>668690</b>	<b>649210</b>	<b>630080</b>	<b>611310</b>

<b>iZ</b>	<b>82</b>	<b>81</b>	<b>80</b>	<b>79</b>	<b>78</b>	<b>77</b>	<b>76</b>	<b>75</b>	<b>74</b>
1	91487	89269	87078	84915	82779	80670	78588	76534	74506
2	90996	88772	86576	84407	82265	80151	78065	76006	73975
3	22129	21581	21040	20506	19978	19458	18944	18437	17937
4	22018	21468	20926	20390	19862	19340	18825	18318	17817
5	21820	21267	20722	20184	19653	19130	18613	18103	17600
6	21647	21094	20548	20009	19478	18953	18436	17926	17423
7	21479	20924	20377	19837	19305	18780	18262	17751	17247
8	21224	20669	20121	19580	19047	18522	18003	17492	16988
9	21063	20506	19957	19415	18881	18354	17834	17322	16817
10	20923	20364	19813	19270	18733	18205	17684	17171	16665
11	9177.5	8926.8	8679.6	8435.9	8195.6	7958.8	7725.5	7495.7	7269.3
12	9139.2	8887.3	8638.9	8394.0	8152.6	7914.8	7680.4	7449.6	7222.4
13	9024.8	8771.8	8522.3	8276.5	8034.2	7795.6	7560.5	7329.0	7101.2
14	8944.8	8691.4	8441.7	8195.6	7953.1	7714.3	7479.1	7247.6	7019.7
15	8882.5	8628.2	8377.7	8130.8	7887.7	7648.2	7412.4	7180.3	6951.9
16	8784.2	8529.1	8277.7	8030.0	7786.2	7546.0	7309.7	7077.1	6848.3
17	8695.6	8440.3	8188.7	7941.0	7697.0	7456.9	7220.5	6988.0	6759.3
18	8625.9	8369.8	8117.5	7869.1	7624.5	7383.8	7147.0	6914.0	6684.9
19	8385.0	8126.9	7872.8	7622.8	7376.8	7134.8	6896.9	6663.0	6433.1
20	8300.7	8042.3	7788.0	7537.8	7291.7	7049.7	6811.7	6577.9	6348.1
21	8200.4	7941.1	7686.0	7435.1	7188.3	6945.6	6707.2	6472.9	6242.8
22	8092.7	7832.9	7577.4	7326.1	7079.0	6836.2	6597.6	6363.2	6133.1
23	7955.4	7695.9	7440.6	7189.6	6942.9	6700.6	6462.5	6228.8	5999.3
24	7879.2	7617.8	7360.9	7108.4	6860.3	6616.7	6377.4	6142.5	5912.0

<b>iZ</b>	<b>82</b>	<b>81</b>	<b>80</b>	<b>79</b>	<b>78</b>	<b>77</b>	<b>76</b>	<b>75</b>	<b>74</b>
25	7748.3	7486.9	7230.1	6977.8	6729.9	6486.5	6247.7	6013.2	5783.3
26	7648.2	7386.0	7128.5	6875.5	6627.1	6383.2	6144.0	5909.3	5679.1
27	7533.5	7270.8	7012.8	6759.4	6510.7	6266.6	6027.2	5792.5	5562.4
28	7404.2	7141.2	6882.9	6629.4	6380.7	6136.7	5897.5	5663.0	5433.3
29	4227.7	4076.3	3927.7	3781.9	3638.7	3498.4	3360.8	3226.0	3093.9
30	4159.2	4008.1	3859.8	3714.3	3571.6	3431.7	3294.6	3160.3	3028.7
31	4062.8	3911.1	3762.2	3616.3	3473.2	3333.0	3195.8	3061.4	2929.8
32	4003.7	3852.2	3703.5	3557.8	3415.0	3275.1	3138.1	3004.1	2873.0
33	3979.1	3826.2	3676.4	3529.5	3385.6	3244.8	3106.9	2972.0	2840.1
34	3887.4	3735.1	3585.8	3439.6	3296.4	3156.3	3019.2	2885.1	2754.1
35	3848.2	3695.1	3545.2	3398.3	3254.6	3114.0	2976.4	2842.0	2710.7
36	3800.6	3647.0	3496.5	3349.2	3205.1	3064.1	2926.3	2791.7	2660.3
37	3480.1	3332.5	3188.0	3046.7	2908.6	2773.7	2642.0	2513.5	2388.2
38	3423.1	3275.4	3130.9	2989.7	2851.8	2717.1	2585.7	2457.5	2332.6
39	3349.2	3201.8	3057.8	2917.1	2779.6	2645.5	2514.8	2387.3	2263.1
40	3289.0	3141.2	2996.8	2855.8	2718.2	2584.0	2453.2	2325.7	2201.7
41	3177.0	3031.0	2888.4	2749.2	2613.4	2481.1	2352.3	2226.8	2104.8
42	3105.6	2959.4	2816.8	2677.8	2542.2	2410.2	2281.6	2156.6	2035.2
43	2991.6	2847.5	2706.9	2569.8	2436.4	2306.5	2180.1	2057.3	1938.1
44	2899.7	2756.5	2617.0	2481.0	2348.7	2220.1	2095.0	1973.6	1855.8
45	2807.5	2665.4	2526.9	2392.2	2261.1	2133.8	2010.1	1890.1	1773.8
46	2710.7	2570.3	2433.6	2300.7	2171.5	2046.1	1924.3	1806.4	1692.1
47	1858.5	1760.5	1665.1	1572.3	1482.3	1394.8	1310.1	1227.9	1148.5
48	1785.5	1689.2	1595.7	1504.8	1416.5	1331.0	1248.0	1167.8	1090.2
49	1647.3	1554.7	1464.9	1377.7	1293.2	1211.4	1132.2	1055.8	981.95
50	1582.6	1491.8	1403.7	1318.2	1235.5	1155.4	1078.0	1003.3	931.26
51	1512.7	1423.8	1337.6	1254.1	1173.3	1095.2	1019.7	947.00	876.96
52	1434.4	1347.8	1263.8	1182.6	1104.0	1028.2	955.01	884.55	816.80
53	1364.9	1280.3	1198.4	1119.1	1042.6	968.86	897.77	829.40	763.73
54	1305.3	1222.4	1142.3	1064.9	990.17	918.18	848.91	782.36	718.52
55	1120.8	1044.0	969.90	898.56	829.94	764.05	700.88	640.43	582.72
56	1067.8	992.77	920.46	850.89	784.05	719.94	658.57	599.93	544.02
57	1001.1	928.38	858.39	791.14	726.64	664.88	605.86	549.59	496.06
58	947.87	877.02	808.93	743.59	681.00	621.17	564.08	509.74	458.16
59	865.94	798.18	733.18	670.95	611.47	554.75	500.80	449.60	401.16
60	806.07	740.64	677.98	618.09	560.97	506.62	455.04	406.23	360.18
61	739.16	676.47	616.55	559.42	505.06	453.48	404.68	358.65	315.40
62	674.34	614.43	557.30	502.96	451.41	402.65	356.67	313.48	273.08
63	617.57	560.21	505.64	453.87	404.89	358.71	315.33	274.74	236.94
64	566.51	511.54	459.38	410.02	363.47	319.72	278.77	240.63	205.30
65	518.58	465.96	416.17	369.18	325.01	283.65	245.11	209.38	176.46
66	467.47	417.51	370.37	326.06	284.57	245.90	210.05	177.03	146.83
67	420.81	373.40	328.83	287.10	248.19	212.11	178.87	148.46	120.88

<b>iZ</b>	<b>82</b>	<b>81</b>	<b>80</b>	<b>79</b>	<b>78</b>	<b>77</b>	<b>76</b>	<b>75</b>	<b>74</b>
68	370.47	326.01	284.40	245.62	209.68	176.59	146.33	118.92	94.346
69	306.99	267.92	231.51	197.77	166.67	138.24	112.46	89.342	68.880
70	268.55	231.93	198.00	166.75	138.18	112.29	89.090	68.568	50.730
71	233.07	198.89	167.43	138.67	112.62	89.274	68.639	50.713	35.494
72	205.12	173.00	143.61	116.95	93.034	71.847	53.394	37.675	24.689
73	179.34	149.26	121.93	97.371	75.567	56.524	40.240	26.716	15.953
74	150.69	123.11	98.308	76.295	57.068	40.627	26.973	16.106	8.0252
75	123.77	98.714	76.486	57.089	40.524	26.791	15.889	7.8188	
76	101.60	78.922	59.107	42.152	28.056	16.819	8.4418		
77	81.204	60.993	43.670	29.233	17.684	9.0226			
78	61.026	43.620	29.129	17.554	8.8941				
79	38.800	26.478	16.503	8.8749					
80	29.530	18.804	10.488						
81	12.883	6.1745							
82	7.5425								
<b>Σ</b>	<b>592880</b>	<b>574810</b>	<b>557080</b>	<b>539690</b>	<b>522630</b>	<b>505920</b>	<b>489540</b>	<b>473500</b>	<b>457780</b>

<b>iZ</b>	<b>73</b>	<b>72</b>	<b>71</b>	<b>70</b>	<b>69</b>	<b>68</b>	<b>67</b>	<b>66</b>	<b>65</b>
1	72506	70533	68588	66669	64778	62914	61077	59268	57485
2	71971	69995	68046	66125	64231	62365	60526	58715	56931
3	17444	16958	16479	16006	15541	15082	14630	14185	13747
4	17323	16836	16356	15883	15417	14958	14506	14060	13622
5	17105	16616	16135	15661	15193	14733	14280	13834	13395
6	16927	16439	15957	15483	15016	14556	14103	13657	13219
7	16751	16262	15780	15306	14838	14378	13925	13480	13041
8	16492	16003	15521	15047	14580	14121	13668	13224	12786
9	16320	15830	15348	14873	14406	13946	13494	13049	12611
10	16167	15676	15193	14717	14249	13789	13336	12891	12453
11	7046.4	6826.9	6611.0	6398.5	6189.5	5983.9	5781.9	5583.2	5388.1
12	6998.6	6778.4	6561.6	6348.4	6138.8	5932.6	5730.0	5530.9	5335.3
13	6876.9	6656.2	6439.2	6225.7	6015.8	5809.6	5606.9	5407.8	5212.3
14	6795.4	6574.8	6357.8	6144.5	5934.8	5728.7	5526.3	5327.6	5132.4
15	6727.2	6506.2	6288.8	6075.2	5865.3	5659.0	5456.4	5257.6	5062.4
16	6623.2	6401.9	6184.3	5970.5	5760.5	5554.2	5351.7	5153.0	4958.0
17	6534.4	6313.2	6095.9	5882.4	5672.7	5466.9	5264.8	5066.5	4872.0
18	6459.6	6238.2	6020.7	5807.0	5597.2	5391.3	5189.2	4991.0	4796.6
19	6207.3	5985.5	5767.8	5554.0	5344.4	5138.7	4937.1	4739.5	4546.0
20	6122.4	5900.8	5683.3	5469.8	5260.5	5055.2	4854.0	4656.9	4463.9
21	6016.8	5795.0	5577.4	5363.9	5154.6	4949.5	4748.5	4551.7	4359.0
22	5907.2	5685.6	5468.2	5255.0	5046.1	4841.4	4641.0	4444.8	4252.8
23	5774.2	5553.4	5336.8	5124.6	4916.7	4713.1	4513.8	4318.8	4128.1
24	5686.0	5464.3	5247.1	5034.2	4825.8	4621.8	4422.2	4226.9	4036.1
25	5557.9	5336.9	5120.4	4908.4	4700.9	4497.9	4299.3	4105.2	3915.6

<i>iZ</i>	73	72	71	70	69	68	67	66	65
26	5453.6	5232.6	5016.1	4804.3	4597.0	4394.3	4196.2	4002.6	3813.6
27	5337.0	5116.3	4900.2	4688.8	4482.0	4279.9	4082.5	3889.7	3701.6
28	5208.3	4988.1	4772.7	4562.0	4356.1	4154.9	3958.5	3766.8	3579.9
29	2964.6	2838.1	2714.3	2593.3	2475.0	2359.5	2246.8	2136.8	2029.6
30	2900.0	2774.1	2650.9	2530.6	2413.0	2298.3	2186.3	2077.2	1970.8
31	2801.2	2675.5	2552.6	2432.7	2315.6	2201.4	2090.1	1981.7	1876.1
32	2744.8	2619.5	2497.2	2377.8	2261.3	2147.7	2037.1	1929.4	1824.6
33	2711.2	2585.3	2462.4	2342.4	2225.5	2111.6	2000.6	1892.7	1787.7
34	2626.2	2501.2	2379.4	2260.5	2144.7	2032.0	1922.3	1815.7	1712.0
35	2582.5	2457.4	2335.4	2216.5	2100.7	1988.1	1878.5	1772.0	1668.6
36	2532.0	2406.9	2284.9	2166.2	2050.6	1938.1	1828.9	1722.8	1619.9
37	2266.2	2147.3	2031.6	1919.1	1809.9	1703.8	1600.9	1501.3	1404.8
38	2210.9	2092.5	1977.4	1865.5	1756.9	1651.5	1549.4	1450.5	1355.0
39	2142.3	2024.8	1910.6	1799.7	1692.1	1587.8	1486.9	1389.2	1294.9
40	2081.1	1963.9	1850.1	1739.6	1632.6	1529.0	1428.7	1331.9	1238.5
41	1986.3	1871.2	1759.5	1651.2	1546.4	1445.0	1347.1	1252.6	1161.5
42	1917.2	1802.8	1691.9	1584.5	1480.6	1380.2	1283.4	1190.1	1100.3
43	1822.4	1710.3	1601.7	1496.7	1395.3	1297.4	1203.1	1112.3	1025.1
44	1741.6	1631.1	1524.1	1420.8	1321.2	1225.1	1132.7	1043.9	958.71
45	1661.2	1552.3	1447.1	1345.6	1247.8	1153.6	1063.2	976.44	893.38
46	1581.6	1474.8	1371.7	1272.4	1176.8	1084.9	996.79	912.39	831.72
47	1071.7	997.54	926.06	857.23	791.06	727.55	666.69	608.50	552.96
48	1015.3	943.09	873.51	806.60	742.36	680.78	621.87	565.62	512.04
49	910.81	842.36	776.57	713.47	653.03	595.27	540.18	487.77	438.03
50	861.92	795.26	731.28	669.99	611.37	555.44	502.20	451.63	403.75
51	809.60	744.94	682.97	623.68	567.09	513.19	461.98	413.47	367.64
52	751.74	689.38	629.72	572.77	518.51	466.95	418.09	371.93	328.47
53	700.77	640.52	582.97	528.14	476.01	426.59	379.88	335.87	294.58
54	657.40	598.99	543.30	490.33	440.08	392.54	347.71	305.61	266.22
55	527.72	475.46	425.91	379.10	335.00	293.64	254.99	219.08	185.88
56	490.85	440.41	392.71	347.74	305.50	266.00	229.23	195.19	163.89
57	445.27	397.22	351.91	309.35	269.53	232.45	198.12	166.52	137.67
58	409.32	363.24	319.91	279.33	241.50	206.42	174.10	144.52	117.70
59	355.48	312.57	272.41	235.01	200.38	168.50	139.38	113.02	89.426
60	316.91	276.40	238.66	203.69	171.49	142.06	115.40	91.503	70.378
61	274.93	237.24	202.33	170.19	140.83	114.25	90.446	69.419	51.170
62	235.46	200.63	168.58	139.33	112.85	89.168	68.269	50.157	34.831
63	201.94	169.74	140.33	113.72	89.902	68.880	50.654	35.223	22.588
64	172.77	143.04	116.12	91.999	70.686	52.176	36.472	23.571	13.475
65	146.36	119.07	94.588	72.925	54.075	38.038	24.815	14.405	6.8086
66	119.45	94.893	73.160	54.249	38.160	24.895	14.451	6.8305	
67	96.131	74.214	55.128	38.875	25.453	14.863	7.1040		
68	72.614	53.723	37.672	24.463	14.094	6.5658			



<b><i>iZ</i></b>	<b>73</b>	<b>72</b>	<b>71</b>	<b>70</b>	<b>69</b>	<b>68</b>	<b>67</b>	<b>66</b>	<b>65</b>
69	51.076	35.928	23.438	13.606	6.4309				
70	35.573	23.100	13.309	6.2000					
71	22.983	13.180	6.0853						
72	14.438	6.9199							
73	7.9487								
<b>Σ</b>	<b>442390</b>	<b>427320</b>	<b>412570</b>	<b>398140</b>	<b>384030</b>	<b>370230</b>	<b>356730</b>	<b>343540</b>	<b>330660</b>

<b><i>iZ</i></b>	<b>64</b>	<b>63</b>	<b>62</b>	<b>61</b>	<b>60</b>	<b>59</b>	<b>58</b>	<b>57</b>	<b>56</b>
1	55730	54002	52301	50628	48982	47362	45771	44206	42668
2	55175	53446	51745	50071	48425	46806	45215	43652	42116
3	13316	12892	12474	12064	11660	11263	10873	10490	10114
4	13191	12766	12349	11938	11534	11138	10748	10365	9989.4
5	12963	12539	12121	11710	11307	10910	10521	10138	9763.2
6	12787	12363	11946	11536	11133	10738	10349	9967.8	9593.7
7	12610	12186	11770	11361	10958	10564	10176	9795.6	9422.4
8	12356	11933	11518	11110	10709	10316	9929.9	9551.3	9180.0
9	12181	11759	11344	10936	10536	10143	9757.9	9380.1	9009.7
10	12023	11600	11185	10777	10377	9985.1	9600.3	9223.0	8853.3
11	5196.4	5008.3	4823.5	4642.3	4464.5	4290.2	4119.4	3952.0	3788.1
12	5143.2	4954.6	4769.6	4588.1	4410.1	4235.6	4064.7	3897.3	3733.4
13	5020.5	4832.2	4647.5	4466.4	4288.9	4115.0	3944.8	3778.1	3615.0
14	4940.9	4753.1	4568.9	4388.3	4211.4	4038.1	3868.4	3702.4	3540.1
15	4870.9	4683.1	4499.0	4318.6	4141.9	3968.9	3799.5	3633.9	3471.9
16	4766.8	4579.3	4395.6	4215.7	4039.5	3867.1	3698.4	3533.5	3372.4
17	4681.3	4494.5	4311.4	4132.2	3956.7	3785.1	3617.3	3453.2	3293.0
18	4606.1	4419.4	4236.6	4057.7	3882.6	3711.4	3544.1	3380.6	3221.0
19	4356.4	4171.0	3989.5	3812.1	3638.7	3469.4	3304.1	3142.8	2985.6
20	4275.0	4090.2	3909.4	3732.7	3560.1	3391.6	3227.2	3066.9	2910.6
21	4170.6	3986.3	3806.1	3630.1	3458.3	3290.7	3127.2	2967.9	2812.7
22	4065.0	3881.5	3702.3	3527.3	3356.5	3189.9	3027.6	2869.5	2715.7
23	3941.7	3759.6	3581.8	3408.4	3239.2	3074.4	2913.8	2757.5	2605.6
24	3849.7	3667.7	3490.1	3317.0	3148.2	2983.8	2823.9	2668.3	2517.2
25	3730.5	3549.9	3373.7	3202.1	3034.9	2872.2	2714.0	2560.3	2411.0
26	3629.2	3449.3	3274.0	3103.3	2937.2	2775.6	2618.6	2466.2	2318.3
27	3518.2	3339.4	3165.3	2995.8	2831.0	2670.9	2515.4	2364.6	2218.4
28	3397.8	3220.4	3047.7	2879.8	2716.7	2558.3	2404.7	2255.8	2111.7
29	1925.1	1823.4	1724.4	1628.3	1534.8	1444.2	1356.3	1271.1	1188.7
30	1867.2	1766.4	1668.5	1573.3	1480.9	1391.3	1304.5	1220.5	1139.3
31	1773.5	1673.7	1576.9	1482.9	1391.8	1303.6	1218.3	1135.8	1056.3
32	1722.8	1623.8	1527.8	1434.7	1344.6	1257.4	1173.1	1091.7	1013.2
33	1685.8	1586.8	1490.8	1397.9	1307.9	1220.9	1136.9	1055.9	977.86
34	1611.5	1513.9	1419.5	1328.0	1239.6	1154.3	1072.0	992.73	916.51
35	1568.4	1471.2	1377.2	1286.3	1198.4	1113.7	1032.1	953.56	878.15

<i>iZ</i>	64	63	62	61	60	59	58	57	56
36	1520.1	1423.5	1330.1	1239.9	1152.8	1068.9	988.17	910.61	836.21
37	1311.6	1221.5	1134.7	1051.0	970.58	893.33	819.29	748.45	680.82
38	1262.6	1173.5	1087.7	1005.2	925.86	849.82	777.03	707.51	641.24
39	1203.9	1116.2	1031.9	950.81	873.07	798.64	727.53	659.73	595.25
40	1148.4	1061.8	978.54	898.70	822.25	749.20	679.54	613.29	550.43
41	1073.9	989.70	908.95	831.63	757.74	687.29	620.28	556.71	496.57
42	1014.1	931.31	852.09	776.39	704.21	635.55	570.41	508.79	450.69
43	941.45	861.36	784.84	711.87	642.46	576.61	514.33	455.60	400.43
44	877.15	799.22	724.92	654.24	587.18	523.75	463.95	407.77	355.21
45	814.01	738.33	666.34	598.05	533.44	472.53	415.31	361.78	311.94
46	754.79	681.59	612.12	546.39	484.39	426.12	371.58	320.78	273.71
47	500.07	449.85	402.28	357.37	315.12	275.52	238.58	204.30	172.68
48	461.12	412.87	367.29	324.37	284.12	246.53	211.61	179.35	149.76
49	390.97	346.58	304.86	265.82	229.45	195.76	164.74	136.39	110.72
50	358.55	316.03	276.19	239.04	204.57	172.78	143.68	117.26	93.516
51	324.50	284.06	246.30	211.24	178.87	149.19	122.20	97.898	76.290
52	287.71	249.64	214.28	181.62	151.65	124.39	99.825	77.960	58.794
53	255.99	220.11	186.93	156.47	128.71	103.66	81.323	61.691	44.766
54	229.55	195.59	164.35	135.83	110.02	86.929	66.555	48.897	33.957
55	155.42	127.68	102.66	80.367	60.801	43.960	29.843	18.452	9.7865
56	135.32	109.49	86.391	66.024	48.391	33.492	21.327	11.895	5.1976
57	111.56	88.198	67.575	49.694	34.555	22.160	12.506	5.5952	
58	93.626	72.304	53.734	37.915	24.847	14.530	6.9639		
59	68.588	50.511	35.193	22.635	12.837	5.7993			
60	52.021	36.433	23.613	13.563	6.2808				
61	35.699	23.005	13.089	5.9509					
62	22.292	12.539	5.5730						
63	12.748	5.7033							
64	6.1838								
<b>Σ</b>	<b>318070</b>	<b>305780</b>	<b>293790</b>	<b>282090</b>	<b>270680</b>	<b>259550</b>	<b>248710</b>	<b>238150</b>	<b>227870</b>

<i>iZ</i>	55	54	53	52	51	50	49	48	47
1	41158	39675	38219	36791	35389	34015	32668	31348	30056
2	40607	39126	37672	36246	34848	33477	32133	30817	29529
3	9744.2	9381.7	9026.0	8677.3	8335.4	8000.3	7672.2	7350.9	7036.5
4	9620.5	9258.5	8903.5	8555.4	8214.2	7880.0	7552.7	7232.4	6919.0
5	9395.0	9033.9	8679.8	8332.9	7993.0	7660.2	7334.5	7015.9	6704.3
6	9226.7	8866.9	8514.2	8168.7	7830.4	7499.2	7175.1	6858.2	6548.5
7	9056.6	8697.9	8346.5	8002.4	7665.5	7335.8	7013.4	6698.2	6390.3
8	8816.1	8459.6	8110.4	7768.6	7434.1	7107.1	6787.3	6474.9	6169.9
9	8646.8	8291.4	7943.4	7602.9	7269.8	6944.2	6626.1	6315.4	6012.2
10	8491.2	8136.6	7789.6	7450.2	7118.3	6794.0	6477.2	6168.0	5866.3
11	3627.7	3470.7	3317.2	3167.2	3020.7	2877.6	2738.0	2601.9	2469.2

<i>iZ</i>	55	54	53	52	51	50	49	48	47
12	3573.0	3416.1	3262.8	3113.0	2966.7	2823.9	2684.6	2548.9	2416.7
13	3455.5	3299.6	3147.3	2998.6	2853.5	2712.0	2574.1	2439.8	2309.1
14	3381.3	3226.2	3074.8	2927.0	2782.8	2642.3	2505.4	2372.2	2242.6
15	3313.7	3159.1	3008.2	2861.0	2717.5	2577.7	2441.6	2309.2	2180.5
16	3215.0	3061.3	2911.5	2765.4	2623.1	2484.5	2349.7	2218.6	2091.3
17	3136.6	2984.0	2835.2	2690.2	2549.0	2411.6	2278.0	2148.3	2022.3
18	3065.2	2913.3	2765.2	2621.1	2480.7	2344.3	2211.7	2082.9	1958.0
19	2832.4	2683.2	2538.1	2397.0	2259.9	2126.9	1997.9	1873.0	1752.1
20	2758.5	2610.4	2466.4	2326.5	2190.7	2058.9	1931.3	1807.7	1688.2
21	2661.7	2514.9	2372.2	2233.7	2099.4	1969.2	1843.2	1721.4	1603.7
22	2566.1	2420.8	2279.6	2142.7	2010.1	1881.7	1757.5	1637.6	1521.9
23	2458.0	2314.6	2175.6	2040.9	1910.5	1784.4	1662.6	1545.1	1431.9
24	2370.4	2228.1	2090.2	1956.6	1827.5	1702.8	1582.5	1466.6	1355.1
25	2266.2	2125.9	1990.1	1858.8	1732.0	1609.6	1491.7	1378.3	1269.4
26	2175.0	2036.3	1902.1	1772.6	1647.6	1527.1	1411.2	1300.0	1193.2
27	2076.9	1940.1	1808.0	1680.4	1557.6	1439.4	1325.9	1217.1	1112.9
28	1972.4	1837.8	1708.0	1582.9	1462.6	1347.0	1236.2	1130.1	1028.8
29	1109.1	1032.3	958.15	886.80	818.22	752.39	689.33	629.02	571.48
30	1060.9	985.26	912.44	842.41	775.18	710.75	649.11	590.26	534.21
31	979.65	905.88	834.99	767.00	701.89	639.67	580.34	523.89	470.34
32	937.69	865.08	795.40	728.65	664.82	603.92	545.94	490.89	438.76
33	902.84	830.82	761.79	695.75	632.71	572.66	515.60	461.54	410.47
34	843.34	773.21	706.12	642.08	581.08	523.13	468.22	416.35	367.53
35	805.85	736.65	670.56	607.57	547.69	490.92	437.25	386.69	339.23
36	764.99	696.93	632.05	570.33	511.79	456.41	404.21	355.17	309.31
37	616.38	555.15	497.12	442.30	390.67	342.25	297.03	255.02	216.20
38	578.22	518.47	461.98	408.74	358.76	312.04	268.57	228.37	191.42
39	534.08	476.23	421.70	370.48	322.57	277.98	236.71	198.75	164.11
40	490.97	434.91	382.24	332.98	287.11	244.64	205.56	169.89	137.61
41	439.87	386.60	336.77	290.38	247.43	207.91	171.82	139.18	109.97
42	396.12	345.06	297.53	253.51	213.02	176.05	142.60	112.67	86.265
43	348.82	300.76	256.27	215.34	177.97	144.15	113.90	87.204	64.068
44	306.28	260.97	219.29	181.23	146.80	115.99	88.803	65.243	45.307
45	265.80	223.34	184.58	149.51	118.13	90.445	66.450	46.146	29.533
46	230.37	190.77	154.90	122.76	94.350	69.676	48.735	31.527	18.052
47	143.71	117.40	93.754	72.760	54.424	38.745	25.724	15.360	7.6534
48	122.84	98.579	76.987	58.060	41.799	28.204	17.274	9.0102	
49	87.724	67.401	49.752	34.777	22.476	12.849	5.8964		
50	72.458	54.083	38.390	25.380	15.052	7.4071			
51	57.372	41.146	27.610	16.766	8.6123				
52	42.327	28.560	17.492	9.1241					
53	30.549	19.040	10.239						
54	21.732	12.224							

<i>i Z</i>	55	54	53	52	51	50	49	48	47
55	3.8457								
<b>Σ</b>	<b>217860</b>	<b>208130</b>	<b>198660</b>	<b>189460</b>	<b>180520</b>	<b>171850</b>	<b>163440</b>	<b>155290</b>	<b>147390</b>

<i>i Z</i>	46	45	44	43	42	41	40	39	38
1	28790	27552	26341	25157	24001	22872	21770	20695	19647
2	28268	27034	25828	24650	23499	22376	21280	20211	19171
3	6729.0	6428.3	6134.5	5847.6	5567.5	5294.4	5028.1	4768.6	4516.1
4	6612.5	6313.0	6020.5	5734.8	5456.2	5184.4	4919.6	4661.7	4410.8
5	6399.8	6102.4	5812.0	5528.8	5252.6	4983.5	4721.4	4466.5	4218.6
6	6245.9	5950.5	5662.3	5381.2	5107.2	4840.4	4580.8	4328.3	4083.0
7	6089.6	5796.2	5510.0	5231.1	4959.4	4694.9	4437.7	4187.7	3945.0
8	5872.3	5582.0	5299.0	5023.4	4755.2	4494.3	4240.8	3994.7	3755.9
9	5716.5	5428.2	5147.3	4873.9	4608.0	4349.6	4098.6	3855.0	3618.9
10	5572.3	5285.8	5006.8	4735.4	4471.6	4215.3	3966.6	3725.4	3491.9
11	2340.0	2214.3	2092.1	1973.3	1858.0	1746.1	1637.8	1532.9	1431.5
12	2288.0	2162.8	2041.2	1923.0	1808.4	1697.3	1589.8	1485.7	1385.2
13	2182.0	2058.5	1938.5	1822.2	1709.5	1600.4	1494.9	1392.9	1294.6
14	2116.6	1994.3	1875.6	1760.6	1649.2	1541.4	1437.3	1336.8	1240.0
15	2055.4	1934.1	1816.4	1702.5	1592.2	1485.6	1382.7	1283.5	1188.0
16	1967.8	1848.0	1732.0	1619.7	1511.2	1406.5	1305.5	1208.3	1114.9
17	1900.1	1781.8	1667.2	1556.5	1449.5	1346.4	1247.1	1151.5	1059.8
18	1837.0	1719.8	1606.5	1497.1	1391.5	1289.8	1191.9	1097.9	1007.8
19	1635.2	1522.3	1413.5	1308.7	1208.0	1111.3	1018.6	929.93	845.32
20	1572.8	1461.5	1354.3	1251.1	1152.1	1057.1	966.21	879.41	796.69
21	1490.2	1380.9	1275.7	1174.7	1077.9	985.21	896.70	812.35	732.17
22	1410.4	1303.2	1200.2	1101.5	1007.0	916.74	830.71	748.92	671.36
23	1323.0	1218.4	1118.1	1022.1	930.48	843.12	760.07	681.32	606.88
24	1248.0	1145.4	1047.1	953.24	863.79	778.74	698.10	621.87	550.04
25	1165.0	1065.0	969.56	878.58	792.07	710.05	632.51	559.45	490.88
26	1091.1	993.49	900.48	812.03	728.16	648.86	574.13	503.97	438.38
27	1013.3	918.45	828.25	742.70	661.81	585.59	514.03	447.13	384.90
28	932.26	840.47	753.44	671.16	593.64	520.87	452.86	389.61	331.11
29	516.69	464.67	415.40	368.90	325.15	284.17	245.94	210.48	177.77
30	480.96	430.50	382.84	337.97	295.90	256.63	220.14	186.46	155.57
31	419.66	371.88	326.98	284.97	245.85	209.62	176.27	145.81	118.24
32	389.56	343.28	299.93	259.50	222.00	187.42	155.77	127.05	101.25
33	362.39	317.31	275.22	236.12	200.02	166.91	136.80	109.67	85.546
34	321.75	279.01	239.32	202.67	169.07	138.51	111.00	86.523	65.094
35	294.88	253.63	215.50	180.46	148.53	119.71	93.995	71.385	51.880
36	266.61	227.08	190.73	157.54	127.52	100.67	76.995	56.486	39.148
37	180.59	148.18	118.98	92.974	70.173	50.574	34.177	20.983	10.991
38	157.73	127.30	100.13	76.216	55.560	38.162	24.021	13.139	5.5153
39	132.78	104.76	80.067	58.683	40.615	25.863	14.425	6.3031	

<i>i Z</i>	46	45	44	43	42	41	40	39	38
40	108.73	83.244	61.159	42.472	27.182	15.290	6.7954		
41	84.193	61.856	42.956	27.492	15.464	6.8729			
42	63.379	44.013	28.168	15.845	7.0421				
43	44.492	28.475	16.017	7.1187					
44	28.997	16.311	7.2492						
45	16.612	7.3833							
46	8.3094								
<b>Σ</b>	<b>139740</b>	<b>132340</b>	<b>125190</b>	<b>118280</b>	<b>111610</b>	<b>105180</b>	<b>98970</b>	<b>92992</b>	<b>87238</b>

<i>i Z</i>	37	36	35	34	33	32	31	30	29
1	18627	17633	16667	15729	14817	13933	13075	12245	11443
2	18157	17171	16213	15282	14379	13503	12655	11834	11041
3	4270.4	4031.6	3799.6	3574.5	3356.3	3145.0	2940.5	2742.9	2552.2
4	4166.8	3929.8	3699.7	3476.5	3260.3	3051.1	2848.7	2653.3	2464.9
5	3977.8	3744.1	3517.4	3297.8	3085.3	2879.9	2681.6	2490.3	2306.1
6	3844.8	3613.8	3390.0	3173.3	2963.8	2761.4	2566.2	2378.1	2197.2
7	3709.6	3481.3	3260.4	3046.6	2840.1	2640.9	2448.9	2264.1	2086.6
8	3524.5	3300.4	3083.7	2874.3	2672.3	2477.7	2290.4	2110.5	1937.9
9	3390.3	3169.1	2955.4	2749.2	2550.4	2359.1	2175.2	1998.8	1829.8
10	3265.8	3047.4	2836.5	2633.1	2437.4	2249.2	2068.5	1895.4	1729.9
11	1333.5	1239.0	1148.0	1060.5	976.44	895.84	818.72	745.06	674.88
12	1288.2	1194.7	1104.7	1018.3	935.37	855.97	780.09	707.73	638.90
13	1199.9	1108.8	1021.2	937.32	856.99	780.25	707.12	637.58	571.64
14	1146.8	1057.2	971.31	889.03	810.40	735.40	664.05	596.34	532.26
15	1096.2	1008.1	923.68	842.95	765.90	692.55	622.89	556.92	494.64
16	1025.2	939.25	857.08	778.67	704.02	633.14	566.01	502.65	443.04
17	971.91	887.80	807.50	731.00	658.31	589.43	524.35	463.08	405.61
18	921.52	839.10	760.54	685.84	615.00	548.03	484.91	425.65	370.26
19	764.75	688.21	615.70	547.23	482.80	422.40	366.03	313.70	265.41
20	718.05	643.50	573.04	506.66	444.36	386.15	332.03	281.99	236.03
21	656.15	584.30	516.62	453.10	393.74	338.55	287.53	240.67	197.98
22	598.05	528.97	464.13	403.53	347.17	295.04	247.15	203.50	164.09
23	536.74	470.91	409.38	352.16	299.25	250.64	206.33	166.33	130.64
24	482.62	419.60	360.99	306.79	257.00	211.61	170.63	134.05	101.88
25	426.78	367.17	312.04	261.39	215.23	173.55	136.34	103.63	75.388
26	377.36	320.91	269.04	221.73	178.99	140.83	107.23	78.210	53.757
27	327.32	274.41	226.16	182.57	143.64	109.37	79.772	54.830	34.551
28	277.37	228.38	184.15	144.68	109.96	79.995	54.789	34.338	18.643
29	147.83	120.64	96.215	74.550	55.644	39.498	26.113	15.487	7.6209
30	127.48	102.18	79.674	59.966	43.053	28.936	17.615	9.0887	
31	93.550	71.752	52.840	36.816	23.679	13.429	6.0668		
32	78.371	58.420	41.396	27.296	16.122	7.8724			
33	64.411	46.271	31.123	18.969	9.8092				

<i>iZ</i>	37	36	35	34	33	32	31	30	29
34	46.710	31.369	19.072	9.8187					
35	35.482	22.189	12.002						
36	24.979	13.980							
37	4.2023								
<b>Σ</b>	<b>81705.</b>	<b>76390.</b>	<b>71281.</b>	<b>66387.</b>	<b>61705.</b>	<b>57228.</b>	<b>52956.</b>	<b>48884.</b>	<b>45006.</b>

<i>iZ</i>	28	27	26	25	24	23	22	21	20
1	10667	9918.8	9197.7	8503.7	7837.1	7197.6	6585.3	6000.2	5442.4
2	10275	9537.2	8826.6	8143.4	7487.7	6859.6	6259.0	5685.9	5140.3
3	2368.4	2191.4	2021.3	1858.0	1701.7	1552.2	1409.6	1273.8	1145.0
4	2283.4	2108.8	1941.2	1780.5	1626.7	1479.9	1340.1	1207.1	1081.2
5	2129.0	1958.9	1796.0	1640.1	1491.3	1349.5	1214.9	1087.3	966.77
6	2023.4	1856.8	1697.4	1545.1	1400.0	1262.0	1131.2	1007.5	890.99
7	1916.4	1753.3	1597.6	1449.0	1307.8	1173.7	1046.9	927.39	815.09
8	1772.7	1614.9	1464.4	1321.3	1185.5	1057.1	936.04	822.35	716.01
9	1668.3	1514.3	1367.7	1228.6	1097.0	972.77	856.03	746.75	644.93
10	1571.9	1421.5	1278.7	1143.4	1015.7	895.52	782.92	677.89	580.41
11	608.17	544.93	485.16	428.86	376.04	326.68	280.79	238.38	199.44
12	573.58	511.79	453.51	398.76	347.53	299.82	255.63	214.96	177.82
13	509.30	450.56	395.42	343.87	295.92	251.57	210.82	173.67	140.12
14	471.83	415.04	361.89	312.37	266.50	224.27	185.68	150.74	119.43
15	436.05	381.16	329.95	282.44	238.62	198.49	162.06	129.31	100.26
16	387.19	335.11	286.79	242.22	201.42	164.38	131.10	101.58	75.818
18	318.72	271.04	227.23	187.27	151.18	118.94	90.570	66.056	45.403
19	221.15	180.92	144.73	112.57	84.449	60.362	40.309	24.291	12.308
20	194.16	156.38	122.68	93.060	67.529	46.083	28.722	15.446	6.2550
21	159.45	125.09	94.889	68.856	46.989	29.287	15.750	6.3780	
22	128.92	97.979	71.281	48.820	30.597	16.612	6.8653		
23	99.252	72.170	49.394	30.923	16.757	6.8977			
24	74.120	50.764	31.816	17.274	7.1388				
25	51.633	32.361	17.570	7.2610					
26	33.874	18.563	7.8216						
27	18.933	7.9777							
28	7.7046								
<b>Σ</b>	<b>41322</b>	<b>37830</b>	<b>34525</b>	<b>31402</b>	<b>28456</b>	<b>25684</b>	<b>23080</b>	<b>20640</b>	<b>18359</b>

<i>iZ</i>	19	18	17	16	15	14	13	12	11
1	4911.8	4408.3	3932.1	3483.1	3061.4	2666.8	2299.4	1959.3	1646.3
2	4622.2	4131.6	3668.5	3233.0	2825.0	2444.5	2091.4	1766.0	1468.0
3	1022.9	907.82	799.56	698.17	603.65	516.00	435.23	361.32	294.29
4	962.12	850.02	744.86	646.64	555.37	471.03	393.64	323.19	259.68
5	853.33	746.98	647.70	555.49	470.36	392.31	321.34	257.44	200.62
6	781.65	679.45	584.42	496.54	415.81	342.25	275.84	216.58	164.48

<i>iZ</i>	19	18	17	16	15	14	13	12	11
7	710.03	612.22	521.66	438.34	362.26	293.43	231.85	177.51	130.41
8	617.04	525.42	441.16	364.27	294.73	232.54	177.72	130.26	90.153
9	550.57	463.67	384.23	312.25	247.73	190.67	141.06	98.919	64.233
10	490.50	408.16	333.37	266.15	206.48	154.38	109.84	72.866	43.451
11	163.96	131.96	103.43	78.371	56.781	38.663	24.016	12.840	5.1342
12	144.19	114.09	87.502	64.439	44.898	28.877	16.377	7.3986	
13	110.16	83.805	61.046	41.885	26.323	14.358	5.9923		
14	91.759	67.732	47.345	30.599	17.493	8.0274			
15	74.898	53.228	35.250	20.963	10.368				
16	53.819	35.580	21.102	10.384					
17	40.265	24.661	12.863						
18	28.610	15.678							
19	4.3593								
<b>Σ</b>	<b>16234</b>	<b>14260</b>	<b>12426</b>	<b>10741</b>	<b>9198.6</b>	<b>7793.8</b>	<b>6523.8</b>	<b>5383.5</b>	<b>4366.8</b>

<i>iZ</i>	10	9	8	7	6	5	4	3	2
1	1360.6	1102.1	870.78	666.69	489.82	340.15	217.70	122.45	54.424
2	1197.5	954.58	739.14	551.22	390.82	257.93	152.55	74.685	24.335
3	234.13	180.84	134.42	94.879	62.205	36.402	17.471	5.4114	
4	203.11	153.48	110.79	75.042	46.237	24.372	9.4486		
5	150.87	108.20	72.606	44.088	22.647	8.2824			
6	119.54	81.756	51.126	27.654	11.337				
7	90.566	57.962	32.604	14.490					
8	57.407	32.020	13.991						
9	37.007	17.240							
10	21.597								
<b>Σ</b>	<b>3472.3</b>	<b>2688.2</b>	<b>2025.5</b>	<b>1474.1</b>	<b>1023.1</b>	<b>667.13</b>	<b>397.16</b>	<b>202.55</b>	<b>78.759</b>

$Z = 1; E = 13.606$

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ	4-6
1. О ФОРМИРОВАНИИ АТОМОВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	7-23
1.1. О последовательности формирования электронных оболочек атомов по существующим представлениям	7-11
1.2. Энергетическая последовательность формирования атомов естественного ряда химических элементов	11-23
2. СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБОЛОЧЕК АТОМОВ ЕСТЕСТВЕННОГО РЯДА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	24-43
2.1. Особенности изменения эффективных параметров изономерных серий электронов в зависимости от $Z$	24-28
2.2. Строение электронных оболочек атомов	28-37
2.3. Размеры свободных атомов с позиций эффективных параметров их внешних электронов	37-44
3. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КАК ОТРАЖЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АТОМОВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	45-55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55-57
ЛИТЕРАТУРА	58-60
ПРИЛОЖЕНИЕ	61-81



## CONTENTS

	Pages
FOREWORD	4-6
1. ON THE FORMATION OF ATOMS OF THE CHEMICAL ELEMENTS	7-23
1.1. A consecutive formation of the electronic shells of atoms by current representations	7-11
1.2. Energy sequence in the formation of atoms of the chemical elements in natural series	11-23
2. STRUCTURE OF THE ELECTRONIC SHELLS OF ATOMS OF THE CHEMICAL ELEMENTS IN NATURAL SERIES	24-43
2.1. Peculiarities of changes in the effective parameters of the electronic isonumeric series depending on $Z$	24-28
2.2. Structure of the electronic shells of atoms	28-37
2.3. Dimensions of free atoms from positions of the effective parameters of their outer electrons	37-44
3. PERIODIC SYSTEM AS A REFLECTION OF THE ENERGY SEQUENCE IN THE FORMATION OF ATOMS OF THE CHEMICAL ELEMENTS	45-55
CONCLUSION	55-57
REFERENCES	58-60
APPENDIX	61-81

Научное издание

**Горох Алексей Васильевич**

Периодическая система химических элементов.  
Генетический аспект

Рекомендовано к изданию  
Ученым советом  
Донецкого физико-технического института  
им. А.А. Галкина НАН Украины

Технический редактор  
А.В. Василенко

Подписано к печати 26.03.2002 г.  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 5,32. Усл. кр.-отт. 6,94. Уч.-изд. л. 5,45.  
Тираж 250 экз.

---

Отпечатано в ООО «НОРД компьютер»  
83000, г. Донецк, б. Пушкина, 23