

А.В. Градобоев



# ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**А.В. Градобоев**

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА**

Монография

Издательство  
Томского политехнического университета  
2011

УДК 539.1  
Г75

**Градобоев А.В**

Закономерности строения Вещества: монография. –  
Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.  
– 260с.

ISBN 978-5-98298-870-6

В монографии Вещество представлено в виде триединства Периодической системы атомов элементов Вещества, Периодической системы ядер и Системы фундаментальных частиц. Путем ограничения минимальной удельной энергии связи нуклонов ядра и использования ряда выявленных закономерностей показана конечность Периодической системы атомов, которая содержит 172 элемента, распределенных по 12 периодам и 7 классам. Представлены закономерности изменения размеров атомов и энергии ионизации внутри периодов Системы и при переходе от периода к периоду для элементов, отнесенных к различным семействам, группам и подгруппам по типу заполняемой электронной оболочки. Представлена Периодическая система ядер, которая включает 172 ядра, распределенных по 12 периодам 4 классам (суперлегкие, легкие, тяжелые и супертяжелые ядра). Выделено 5 семейств ядер, каждое из которых характеризуется собственной ядерной формулой. Выполнен анализ изменения нуклонного состава внутри периодов представленных систем. Дан прогноз электронных формул и нуклонного состава неизвестных элементов. Путем анализа хронологии открытия элементов Вещества и развития Естественного знания показана фундаментальность Периодического закона, открытого Д.И. Менделеевым.

Предназначена для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, изучающих атомную и ядерную физику, химию и закономерности строения элементов Вещества.

УДК 539.1

### ***Рецензенты***

Доктор химических наук,  
Лауреат Государственной премии СССР,  
ведущий научный сотрудник  
Института атомной энергии им. И.В. Курчатова

***Троценко Николай Михайлович***

Доктор физико-математических наук,  
заведующий кафедрой высшей математики ТПУ  
***Арефьев Константин Петрович***

ISBN 978-5-98298-870-6

© ГОУ ВПО НИ ТПУ Юргинский  
технологический институт (филиал), 2011  
© Градобоев А.В.  
© Обложка. Издательство Томского  
политехнического университета, 2011



## ВВЕДЕНИЕ

Со времени открытия Периодического закона и разработки первого варианта Периодической системы элементов русским ученым Д.И. Менделеевым (1869г.), прошло уже достаточно много времени. Современная Периодическая система элементов, которая полностью основана на открытиях Д.И. Менделеева, является фундаментом для изучения как строения атома (атомная физика) так и строения ядра (ядерная физика), а также для изучения химического взаимодействия различных элементов Вещества, результатом которого является образование долгоживущих соединений. Структура Периодической системы (длинный, полудлинный и короткий варианты) для 118 элементов, известных к настоящему времени, является общепризнанной.

Практика показала, что развитие естествознания, начиная с 70-80 годов XIX века вплоть до настоящего времени, дает только дополнительные доказательства справедливости предложений и открытий Д.И. Менделеева. Это, прежде всего, относится к таким отраслям знаний как ядерная и атомная физика, а также квантовая физика, т. е. к фундаментальным наукам, изучающим структуру и строение Вещества.

Практически, начиная с момента разработки первых вариантов Периодической системы, стоит вопрос о ее конечности. Но, не смотря на различные попытки оценки конечности Периодической системы, вплоть до настоящего времени этот вопрос остается открытым и актуальным.

Ранее в работе [1] была предпринята попытка оценить конечность Периодической системы путем анализа закономерностей строения, как электронных оболочек атомов элементов, так и закономерностей строения их ядер, в зависимости от их положения в Периодической системе. При этом в основном рассматривались наиболее стабильные изотопы. Таким образом, фактически авторы попытались найти ограничение Периодической системы собственно внутри самой этой системы. И такие ограничения Периодической системы были найдены. Данная работа является логическим продолжением работы [1]. В ней представлены дополнительные сведения по анализу закономерностей Периодической системы атомов, которые не были ранее опубликованы, поскольку появились в результате продолжения работ в данном направлении, а также добавлены некоторые принципиально новые материалы.

В главе 1 кратко рассмотрена история создания и развития Периодической системы и структура Материи, которая, на основе существующих к настоящему времени представлений, может быть представлена в виде двух субстанций – Вещества (массы) и Поля (энергии). Тогда

общую структуру Вещества можно представить в виде триединства следующих взаимозависимых и взаимосвязанных систем:

- Периодическая система атомов элементов Вещества (ПСАЭВ), которая должна быть построена по законам атомной физики и квантовой физики, т.е. по законам строения электронной оболочки атомов.
- Периодическая система ядер элементов Вещества (ПСЯЭВ), которая должна быть построена на основе законов ядерной физики и соответствующего раздела квантовой физики. Данная система должна отражать закономерности строения ядер.
- Система фундаментальных частиц (СФЧ), которая должна быть построена на основе законов физики элементарных частиц, физики высоких энергий и, в свою очередь, соответствующего раздела квантовой физики. Данная система должна находиться на стыке двух субстанций Материи, т.е. этой системе должны быть присущи как характеристики Вещества (массы), так и характеристики Поля (энергии).

Между указанными выше тремя системами должны существовать прямые и обратные связи, т.е. закономерности построения ПСАЭВ (фактически закономерности построения электронной оболочки атомов элементов Вещества) должны проявляться в закономерностях построения ядер элементов Вещества и в закономерностях построения СФЧ и наоборот.

Точно также закономерности построения ядер элементов Вещества, должны проявляться в закономерностях построения ПСАЭВ и в закономерностях построения СФЧ.

Аналогичным образом закономерности построения СФЧ должны проявляться в закономерностях построения ПСАЭВ и ПСЯЭВ, поскольку по определению фундаментальные частицы, образующие СФЧ, являются теми «кирпичиками», из которых должны состоять атомы и ядра элементов Вещества. В заключение Главы 1 дано определение элемента Вещества, на основе предложенной структуры Материи.

В Главе 2 кратко представлены общепринятые основные положения и модели, используемые для описания строения атомов, а точнее для описания строения его электронной оболочки. Здесь, в частности, приведены основные закономерности построения электронных оболочек атомов и описание порядка их заполнения электронами. По типу электронных оболочек, заполняемых в данном периоде системы, все элементы разделены на характерные семейства, группы и подгруппы, что позволяет выполнить анализ закономерностей изменения основных свойств атомов элементов, как внутри периода, так и при переходе от

периода к периоду Системы.

Далее в Главе 3 рассмотрены некоторые характеристики атомов (радиусы атомов и энергии ионизации) в зависимости от их положения в ПСАЭВ. В частности в Главе 3 представлен анализ изменения орбитального радиуса и первой энергии ионизации в зависимости от порядка заполнения электронами электронных орбиталей. На основании установленных закономерностей показано объединение элементов внутри выделенных семейств в подгруппы. Предположено, что это объединение должно отражать порядок заполнения электронных орбиталей, что подтверждается результатами, полученными для р-элементов.

В Главе 4 рассмотрены основные свойства ядер атомов и закономерности их изменений в зависимости от положения элементов в ПСАЭВ, т.е. фактически рассмотрено влияние закономерностей строения ядер на закономерности строения электронных оболочек атомов. При этом для отдельного рассмотрения выделены «чистые» s-элементы, т. е. элементы которые содержат электронные оболочки только s-типа и характеризуются собственной зависимостью удельной энергии связи нуклонов ядра от номера элемента.

На основании представленного анализа зависимости удельной энергии связи нуклонов ядра от массового числа  $A$ , выдвинуто предположение о том, что удельная энергия связи нуклонов ограничена снизу значением 6 МэВ, а Периодическая система элементов, соответственно, ограничена сверху элементом с массовым числом  $A_{\max} = 468$ .

Далее по результатам анализа изменения нуклонного состава ядер для различных семейств элементов получены оценки максимального значения отношения числа нейтронов к числу протонов в ядрах, а также предельного номера элемента, который замыкает Периодическую систему для каждого из выделенных семейств, групп и подгрупп.

Получено, что соотношение между нуклонами в ядрах атомов элементов, которое наблюдается на практике для наиболее стабильных изотопов, очень четко отражает строение электронных оболочек уже всего атома в целом, что является наглядной демонстрацией связи основных положений ядерной физики с основными положениями атомной физики.

В Главе 5 представлена структура Периодической системы с учетом ее конечности (она содержит 172 элемента, 12 периодов и 7 классов), которая получена на основании оценок предельных номеров элементов, отнесенных к различным семействам, группам и подгруппам. На основании представленных результатов анализа введен новый структурный признак – класс. **Класс** объединяет периоды Периодической системы элементов с идентичным набором типов электронных орбита-

лей, заполняемых в объединяемых периодах. Представлено математическое описание структуры ПСАЭВ, при этом установленные соотношения описывают как распределение атомов по периодам, так и распределение атомов по классам.

Здесь же представлен анализ закономерностей распределения элементов и их изотопов по периодам и классам системы и введено понятие дефицита элементов в периоде. Под дефицитом элементов в периоде ПСАЭВ понимается разность между теоретической и реальной емкостью периодов. При этом установлено существование двух независимых механизмов возникновения дефицита элементов. Также в Главе 5 рассмотрена вероятная природа возникновения дефицита элементов. Кроме того здесь представлены полученные оценки некоторых характеристик неизвестных элементов и прогноз дальнейших перспектив развития Периодической системы.

В Главе 6 впервые представлена Периодическая система ядер атомов элементов Вещества (содержит ядра 172 элементов, 12 периодов и 4 класса). Каждый из классов характеризуется соответствующим максимальным значением отношения числа нейтронов ядра к числу протонов  $N/Z$ . Таким образом, выделен класс суперлегких ядер, класс легких ядер, класс тяжелых ядер и класс супертяжелых ядер. Все ядра разделены на 5 семейств, каждое из которых характеризуется своей специфической ядерной формулой, отражающей структуру построения ядер. Представлен анализ изменения нуклонного состава ядер и их изотопов для каждого из выделенных семейств внутри при переходе от периода к периоду Системы.

Основные результаты и выводы, полученные в данной работе, суммированы в Заключение.

В Приложениях представлен используемый справочный материал, а также результаты оценки нуклонного состава ядер атомов неизвестных элементов. Представлены значения орбитального и эффективного радиусов, а также энергий ионизации для элементов, отнесенных к различным семействам, группам и подгруппам.

В конце книги приведен список литературы. Поскольку в данной работе в основном используются достаточно широко известные факты, опубликованные в самой разнообразной литературе, то в список литературы включены только наиболее интересные и значимые, на их взгляд, публикации.

Автор будет признателен за критические замечания по представленному в монографии материалу, которые могут быть отправлены по E-mail: [gradoboev1@mail.ru](mailto:gradoboev1@mail.ru) или в адрес редакции.

*«Без Периодического закона мы не имели никаких поводов предсказывать свойства неизвестных элементов, даже не могли судить о недостатке или отсутствии тех или других из них. Открытие элементов было уделом одного наблюдения. И оттого-то только слепой случай и особая прозорливость и наблюдательность вели к открытию новых элементов... Закон периодичности открывает в этом последнем отношении новый путь»*

Д.И. Менделеев, июль 1871г.

## ГЛАВА 1. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА И РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

### 1.1 СОЗДАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ РАЗВИТИЕ

С глубокой древности человеку известны такие элементы как железо, золото, медь, олово, ртуть, свинец, серебро и углерод. Еще четыре элемента (висмут, мышьяк, сурьма и цинк) были открыты алхимиками в средние века. Бурное развитие науки и техники привели к новым открытиям и уже к середине XIX века были известны 63 элемента. В Приложении 1 представлена более подробная хронология открытия элементов Периодической системы.

Достаточно большое количество известных элементов, а также знание их химических свойств и атомных весов позволили поднять вопрос об их классификации. Еще до Д.И. Менделеева предпринимались различные попытки классифицировать известные элементы. Одна из первых попыток принадлежит А.Л. Лавуазье (Франция, 1789г.), который все известные простые тела на основании их химических свойств разделил на четыре характерные группы: металлы, неметаллы, земли и неизвестные радикалы кислот. Затем Я. Берцелиус (Швеция, 1808г.) делит все элементы на металлы и неметаллы и вводит новое понятие «металлоид».

К настоящему времени деление элементов на металлы, и неметаллы является общепринятым. При этом **металлы**, как правило, твердые при нормальных условиях вещества, имеющие характерный металлический блеск, ковкие и пластичные, обладают высокой электропроводностью при комнатной температуре. При взаимодействии друг с другом



металлы не образуют соединения, а образуют сплавы, которые обладают всеми свойствами металлов.

К **неметаллам** относятся, в основном, газы и жидкости, а также некоторые твердые вещества, которые имеют достаточно низкую электропроводность. Неметаллы при взаимодействии друг с другом чаще всего образуют летучие соединения (молекулярные газы).

При взаимодействии металлов и неметаллов, чаще всего образуются твердые нелетучие соединения, которые обладают низкой электропроводностью, а также и некоторыми другими свойствами неметаллов.

После введения понятия «атом» и «атомный вес» появилась теория Праута о первичной материи, основанная на целочисленной кратности атомных весов. Попытки классификации элементов на основе атомного веса предпринимались многими исследователями, но они носили чисто эмпирический характер, и в большинстве случаев рассматривались как некий методический прием, поэтому не имели предсказательной силы.

В 1869г. Д.И. Менделеев сообщил об открытии периодического закона – **фундаментального закона естествознания**, современная формулировка которого следующая: **свойства элементов, а также формы и свойства их соединений находятся в периодической зависимости от зарядов ядер их атомов**.

Открытие Периодического закона позволило Д.И. Менделееву впервые создать свою классификацию известных к тому времени 63 элементов на основе их атомного веса и химических свойств, которая получила название **Периодической системы элементов**.

На рис. 1.1 воспроизведен первый вариант Периодической системы, разработанный Д.И. Менделеевым в 1869г. При этом Д.И. Менделеев расположил известные элементы в порядке уве-

ESSAI D'UNE SYSTEME DES ÉLÉMENTS  
D'APRES LEURS POIDS ATOMIQUES ET FONCTIONS CHIMIQUES,

par D. Mendeleeff,

profess. de l'Univers. à S.-Petersbourg.

		Ti = 50	Zr = 90	? = 180.	
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197	
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198	
		Ni = Co = 59	Pl = 106,6	Os = 199.	
		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200	
H = 1					
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

18<sup>III</sup> 69

**Рис.1.1.** Первый вариант Периодической системы Д.И. Менделеева

личения атомного веса и получил повторение их химических свойств.

На основании сформулированного Периодического закона, Д.И. Менделеев предсказал ряд неизвестных в то время элементов (галлий, скандий, германий), описав их основные свойства, которые практически полностью совпали с полученными в дальнейшем данными.

Примером высокой достоверности предсказаний Д.И. Менделеева может служить таблица 1.1, в которой приведены свойства экакремния, предсказанного Д.И. Менделеевым практически при создании Периодической системы, и свойства германия, открытого К.А. Винклером только через пятнадцать лет после этого (1886г.). Надо отметить, что практика подтвердила справедливость и многих других предсказаний Д.И. Менделеева (в частности, для целого ряда известных элементов Д.И. Менделеев исправил атомные веса).

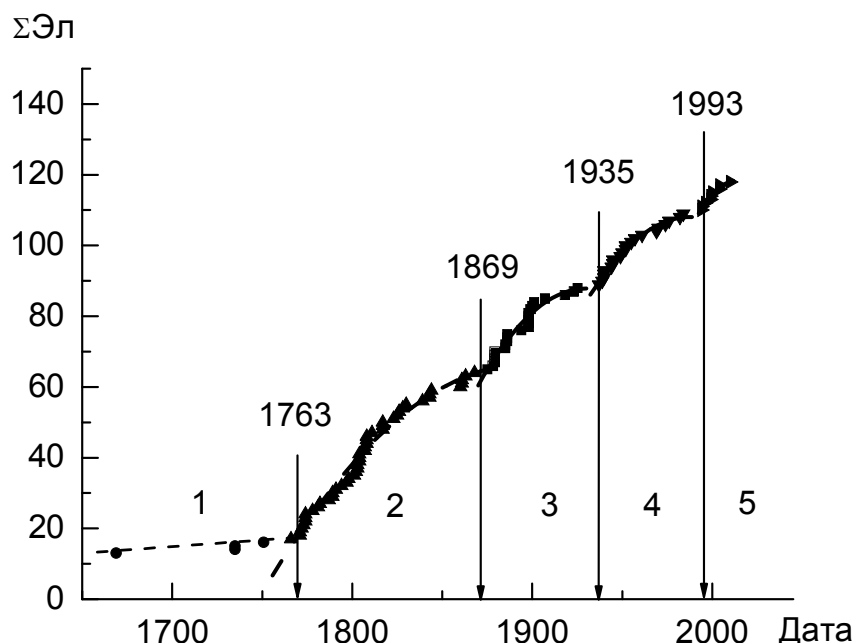
**Таблица 1.1** Сопоставление свойств экакремния и германия

Свойства	Экакремний Д.И. Менделеев, 1871г.	Германий К.А. Винклер, 1886г.
Атомная масса	~ 72	72,6
Плотность	~5,5	5,85
Оксид	ЭО <sub>2</sub>	GeO <sub>2</sub>
Плотность оксида	~4,7	4,70
Хлорид формулы	ЭCl <sub>4</sub>	GeCl <sub>4</sub>
Хлорид будет жидкостью с температурой кипения	~90 °С	83 °С

Именно Периодическая система Д.И. Менделеева раскрыла всестороннюю связь между многими элементами, которые до этого рассматривались независимо друг от друга.

На рис.1.2 представлена графически хронология открытия новых элементов Вещества, а в Приложении 1 приведены данные, используемые нами при построении этой зависимости [2,3]. Подобные зависимости уже рассматривались и анализировались ранее [4,5], но в основном в качестве примера прогнозирования развития науки и техники.

Рассмотрим более подробно развитие Периодической системы путем анализа представленной зависимости. Из результатов, представленных на рис.1.2 видно, что в развитии Периодической системы очень четко выделяется пять характерных этапов, которые выделены вертикальными стрелками и отмечены цифрами. Рассмотрим более подробно



**Рис.1.2.** Хронология открытия элементов Периодической системы

каждый из выделенных этапов.

**Первый этап (до 1763г.).** Данный этап можно назвать *подготовительным этапом*, поскольку в это время идет формирование первичных взглядов на строение Вещества, формирование наук и научных сообществ (Королевское общество в Лондоне создано в 1660г., Академия наук во Франции – 1666г., Прусская Академия наук в Берлине – 1700г., Петербургская Академия наук – 1724г. и т.д.). Кроме того, идет интенсивное развитие промышленности, которое требует решения различных конструкторских, технологических, материаловедческих и других чисто исследовательских задач.

Интенсивное развитие промышленного производства делает востребованным многие научные разработки, т.е. наука как отрасль занятости становится востребованной обществом, фактически превращаясь в производительную силу. В этот период формируется классическая механика, закладываются основы неорганической химии, молекулярной физики и термодинамики. В теории прогнозирования [5] подобный период получил название *лаг-фазы*, которая предшествует ярко выраженному периоду интенсивного роста.

Лag-фаза, при этом, характеризуется как накопительный период, в течение которого происходит достаточно медленное накопление комплекса неких исходных данных и при достижении критического значе-

ния развитие переходит в экспоненциальную фазу.

**Второй этап (1763 – 1869гг.).** Этот этап можно назвать *первым химическим этапом*, поскольку он проявляется на фоне развития индустрии и научно-технического прогресса и его логическим завершением является открытие Периодического закона и создание Периодической системы Д.И. Менделеевым. Именно развитие химической теории и совершенствование различных химических методов (создание кислородной теории горения, химической атомистики, открытие основных стехиометрических законов, введение в химию понятия атомизма, создание первой таблицы атомных весов и т.д.) позволило ученым открывать все новые элементы.

**Третий этап (1869-1935гг.).** Этот этап с достаточным основанием можно назвать *Менделеевской частью химического этапа (вторым химическим)*. Чем характерна вторая часть химического этапа? Наметившаяся к 1869г. стагнация в процессе открытия новых элементов была успешно преодолена. И весь этот процесс получил мощнейшее стимулирование за счет возможности предсказания целого ряда физико-химических свойств неизвестных элементов, которая была получена после открытия Периодического закона Д.И. Менделеевым.

Крупнейшими событиями на рубеже XIX – XX веков стало открытие инертных газов – аргона (Дж. Рэлей и У. Рамзай, 1894г.), гелия (У. Рамзай, 1895г.), криптона, неона и ксенона (У. Рамзай и М. Траверс, 1898г.), радона (Ф.Дорн, 1900г.), а также самопроизвольной радиоактивности урана (А. Беккерель, 1896г.) и тория (М. Склодовская-Кюри и Г. Шмидт, 1898г.), открытие радиоактивных элементов полония и радия (М. Склодовская-Кюри и П. Кюри, 1898г.).

По предложению У. Рамзая открытые инертные газы Д.И. Менделеев включил в особую нулевую группу своей Периодической системы, которая позднее была преобразована в восьмую группу (в принятых к настоящему времени обозначениях).

В начале XX века произошли не менее значимые открытия изотопов, что привело к созданию нового научного направления – *радиохимии*. Указанные открытия привели к созданию нового направления и в физике – *атомной физики*, в основе которой лежат модели строения атомов (Э.Резерфорд, 1911г. и Н. Бор, 1913г.), а также *ядерной физики*.

Дальнейшее развитие естествознания, а именно появление новых областей знания, таких как *атомная физика*, *ядерная физика* и *квантовая физика*, только развивало и дополняло новыми знаниями и закономерностями Периодическую систему, созданную Д.И. Менделеевым, что особо подчеркивает *фундаментальность* открытого им Периодического закона.



**Четвертый этап (1935 – 1993гг.).** К 1935г. практически полностью исчерпаны возможности методов разделения элементов путем использования различных химических реакций и только, развитие ядерной физики дает новый толчок вперед. Этот этап с полным основанием мы можем назвать **ядерным этапом**. Развитие атомной физики позволяет на основе предложенной Бором модели атома водорода и созданной в дальнейшем квантово-механической модели водородоподобного атома ввести понятие об **электронной периодичности**.

В данном случае под электронной периодичностью следует понимать периодическое повторение строения электронных оболочек атомов. Это позволило сформировать учение о периодичности уже на атомарном уровне.

Развитие ядерной физики позволило открыть целый ряд новых элементов путем реализации различных **ядерных реакций**. Если в химических реакциях были выделены в чистом виде элементы вплоть до урана, то все последующие элементы, включая также неизвестные ранее технеций, астат и франций, были получены только в ядерных реакциях. Практика в дальнейшем показала, что использование ядерных реакций позволяет получить практически любой из известных элементов. Т.е. физики-ядерщики реализовали на практике мечту алхимиков средневековья о преобразовании одного элемента в другой. Полученные на практике результаты позволили наглядно продемонстрировать справедливость основных закономерностей ядерной физики.

Современный, **пятый этап (начиная с 1993г.)**, с полным основанием можно назвать **этапом физики высоких энергий**. Именно создание современной ускорительной техники и позволило открыть элементы, замыкающие седьмой период Системы. На данном этапе кроме задачи открытия новых элементов, решается задача исследования структуры ядра и различных частиц, полученных искусственно. В этом плане вполне возможно запуск БАКа (Большого адронного коллайдера) позволит получить новые элементы, которые уже будут характеризовать восьмой период ПСАЭВ.

Таким образом, представленный выше краткий анализ хронологии открытия элементов Вещества позволяет наглядно продемонстрировать важность и фундаментальность открытий Д.И. Менделеева для развития Естествознания в целом и, особенно, для развития физики, как базовой науки Естествознания. Появление новых разделов физики только дополнительно доказывали справедливость гениального открытия Д.И. Менделеева.

## 1.2 СТРУКТУРА МАТЕРИИ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Современный уровень развития Естествознания, а именно атомной и ядерной физики, физики высоких энергий, физики элементарных частиц и квантовой физики, позволяет рассмотреть структуру Вещества и основные закономерности его строения.

Структуру Материи можно представить в виде двух субстанций: **Вещества (массы)** и **Поля (энергии)**, но этим и обычно и ограничиваются. На наш взгляд в настоящее время структуру Материи можно представить более подробно в виде схемы, которая показана на рис.1.3.

Рассмотрим подробнее представленную схему. Вещество (массу), в свою очередь, можно характеризовать с помощью трех систем:

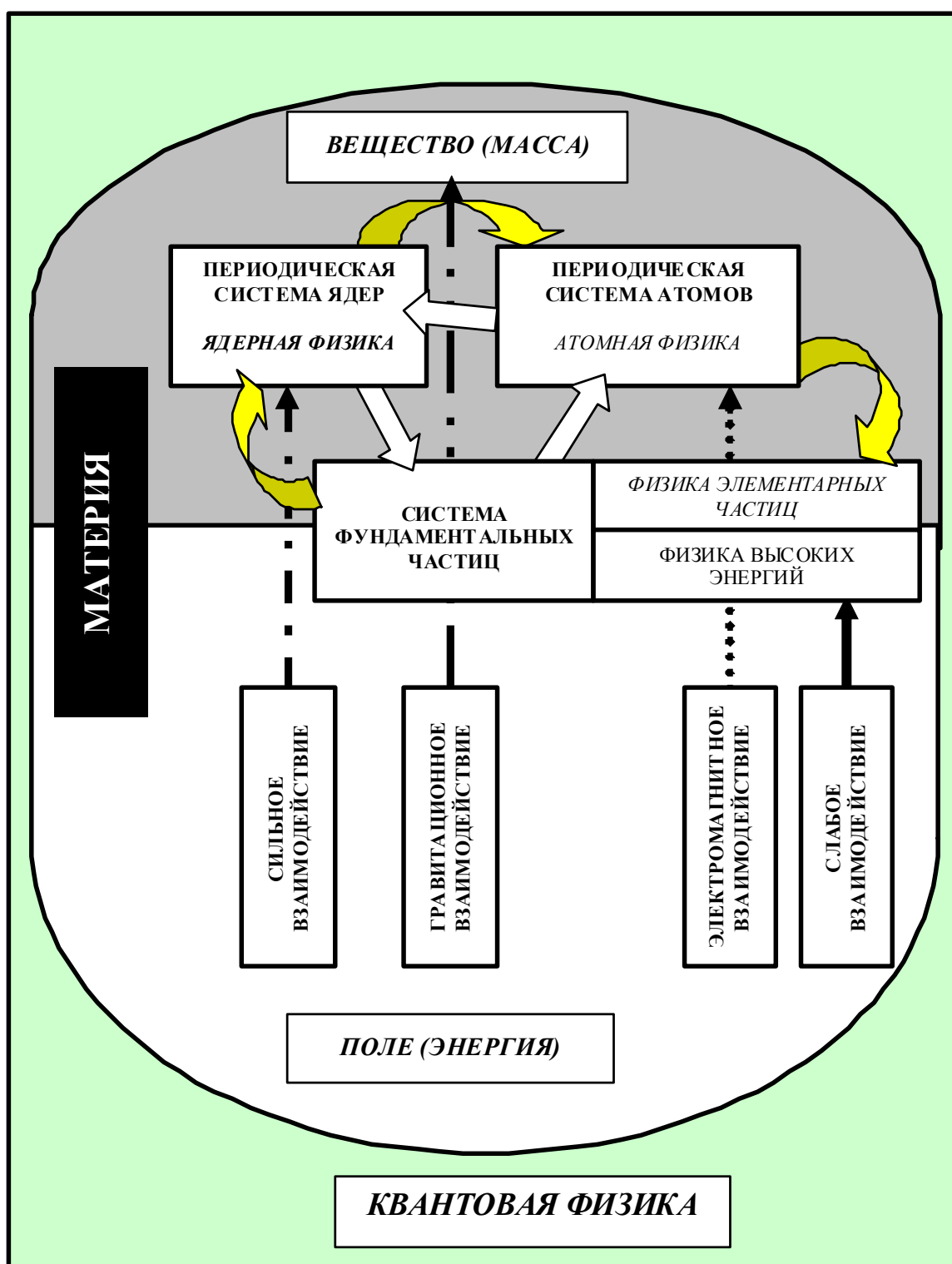
- Периодическая система атомов элементов Вещества (далее ПСАЭВ);
- Периодическая система ядер элементов Вещества (далее ПСЯЭВ);
- Система фундаментальных частиц (далее СФЧ).

В основе предложенной структуры Материи лежат следующие положения. Основные закономерности **ПСАЭВ** должны определяться положениями **атомной физики**, как науки о строении электронных оболочек атомов элементов Вещества. В свою очередь, закономерности **ПСЯЭВ** должны определяться положениями **ядерной физики**, как науки о строении ядер элементов Вещества.

Тогда закономерности **СФЧ** должны определяться основными положениями физики элементарных частиц (принятое в настоящее время название данного раздела физики) и физики высоких энергий.

Из рис.1.3 видно, что СФЧ находится на стыке Вещества и Поля. Тогда она должна содержать как минимум два класса фундаментальных частиц:

- **Первый класс** должен характеризовать Вещество, а частицы, образующие этот класс, должны иметь массу – основной признак Вещества (в настоящее время этим разделом физики занимается физика элементарных частиц и в некоторой степени физика высоких энергий);
- **Второй класс** должны составлять частицы с нулевой массой, которые будут характеризовать Поле (энергию), а точнее взаимодействие (в настоящее время этим разделом физики в основном занимается физика высоких энергий).



**Рис.1.3. Структура Материи**

Можно также предполагать, что в СФЧ, подобно ПСАЭВ и ПСЯЭВ, проявятся некоторые характерные законы периодичности. Конечно же, применение термина «фундаментальные» к системе частиц является достаточно условным и с развитием соответствующих разделов физики может потерять свой смысл, поскольку «фундаментальность» частиц определяется уровнем развитием наших знаний на момент составления СФЧ. Это вполне естественно, учитывая то, что нет предела совершенству. Подобное уже произошло с атомной физикой, поскольку атом изначально предполагали неделимым. В любом случае формирование такой структуры на наш взгляд является очень полезным и востребованным для определения дальнейших направлений исследований и понимания достигнутого уровня знаний.

Рассматривая дальше предложенную структуру Материи, получаем, что Поле (энергию) можно характеризовать четырьмя видами взаимодействия:

- **Сильное взаимодействие**, которое обеспечивает стабильность ядер атомов элементов Вещества и должно определять строение ПСЯЭВ;
- **Электромагнитное взаимодействие**, которое обеспечивает стабильность атомов и определяет строение их электронной оболочки, и строение ПСАЭВ в целом;
- **Слабое взаимодействие**, которое должно обеспечивать стабильность фундаментальных частиц и определять закономерности строения СФЧ;
- **Гравитационное взаимодействие**, должно описывать взаимодействие Поля (энергии) и Вещества (массы) в целом, т.е. это должна быть некая интегральная характеристика поля.

Рассматривая Вещество (массу) необходимо помнить, что между ПСАЭВ, ПСЯЭВ и СФЧ должны существовать прямые и обратные связи, т.е. закономерности ПСАЭВ должны оказывать влияние на закономерности ПСЯЭВ и СФЧ, точно также как и закономерности ПСЯЭВ должны проявляться в закономерностях ПСАЭВ и СФЧ и т.д. Наличие таких прямых и обратных связей показано на рис.1.3 соответствующими стрелками. Можно также предположить существование аналогичных связей и для Поля (энергии) (между различными видами взаимодействий) и между Полем (энергией) и Веществом (массой) в целом и в частности (это положение является фактической основой для создания единой теории поля).

Таким образом, **Вещество (массу) можно представить в виде триединства ПСАЭВ, ПСЯЭВ и СФЧ, а Поле (энергию) – в виде че-**



*тырех взаимодействий, между которыми также могут существовать прямые и обратные связи* (этот вопрос, возможно, будет решен только после создания единой теории поля).

Особо отметим, что весь массив Вещества (массы) и Поля (энергии), как основных компонентов Материи, базируется на положениях квантовой физики, а точнее соответствующих разделов квантовой физики, которые определяют закономерности строения соответствующих Систем. Тогда для описания выделенных выше Систем и взаимодействий необходимо применять физический и математический аппарат квантовой физики, что и используется на практике.

Предложенная структура Материи и предложенные закономерности строения Вещества позволяют ввести некоторые новые определения.

**Элемент (элемент Вещества)** – структурная единица Вещества, имеющая атомное строение.

**Номер элемента** определяет количество электронов в электронной оболочке, положительный заряд ядра, строго определенное место атома в Периодической системе атомов (ПСАЭВ) и строго определенной место ядра в Периодической системе ядер (ПСЯЭВ).

**Элементы Вещества** способны создавать соединения путем образования химических связей (т. е. путем взаимодействия электронных оболочек).

Необходимость введения представленных выше определений обусловлена комплексом причин. К настоящему времени наиболее широко распространен термин «химический» элемент, появление которого обусловлено историей развития наших знаний о структуре ПСАЭВ. Фактически до развития атомной физики новые элементы Вещества получали выделением из природных соединений путем использования различных химических реакций. С другой стороны развитие атомной физики (науки о строении электронной оболочки атомов) и практическая реализация ядерных реакций синтеза и распада элементов Вещества показали, что в отличие от химических методов методами ядерной физики можно получать даже элементы, отсутствующие в природе по ряду причин.

Представленные выше определения мы и будем пользоваться в дальнейшем в качестве базовых определений.

## РЕЗЮМЕ К ГЛАВЕ 1

1. Дмитрий Иванович Менделеев (1834 – 1907) в 1869г. открыл Периодический закон – *фундаментальный закон Естествознания*. На основе Периодического закона, атомного веса и сходства химических свойств, известных к тому времени 63 элементов, он создал Периодическую систему. Дальнейшее развитие Естествознания, а именно, появление новых областей знания, таких как атомная физика, ядерная физика и квантовая физика, только развивает и дополняет новыми знаниями и закономерностями Периодическую систему, что особо подчеркивает фундаментальность открытого им Периодического закона.
2. Анализ хронологии открытия элементов позволяет наглядно продемонстрировать важность и фундаментальность открытий Д.И. Менделеева для развития Естествознания в целом и для развития физики, как базовой науки Естествознания, в частности.
3. Современное развитие Естествознания позволяет предложить структуру Материи в виде двух субстанций – Вещества (массы) и Поля (энергии).
4. Закономерности строения Вещества определяются триединством Периодической системы атомов элементов, Периодической системой ядер элементов и Системой фундаментальных частиц.
5. Закономерности строения Поля определяются четырьмя видами взаимодействия
  - сильное взаимодействие – обеспечивает стабильность ядер элементов и должно определять закономерности строения ПСЯЭВ;
  - электромагнитное взаимодействие – обеспечивает стабильность электронной оболочки атомов и должно определять закономерности ПСАЭВ;
  - слабое взаимодействие – определяет стабильность фундаментальных частиц и должно определять закономерности СФЧ;
  - гравитационное взаимодействие – определяет взаимодействие Вещества (массы) и Поля (энергии) в целом.
6. Закономерности строения Вещества и Поля определяются закономерностями соответствующих разделов физики и квантовой физики.

*«Теперь же очевидно, что Периодический закон дает следствия, которых не отваживалась предвидеть прежняя система. Раньше была только схема, только группировка, подчинение данным фактам, между тем как Периодический закон сам подчиняет себе факты и имеет тенденцию углубить философский принцип, который управляет таинственной природой элементов»*

Д.И. Менделеев, март 1879г.

## ГЛАВА 2. СТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ОБОЛОЧКИ И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АТОМОВ ИЗВЕСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕЩЕСТВА

### 2.1 АТОМ ВОДОРОДА ПО БОРУ

Первые идеи об атомном строении Вещества были выдвинуты в глубокой древности, но только в конце XIX – начале XX века, полученные экспериментальные данные позволили приступить к исследованию строения атома и разработке его моделей. Прежде всего, следует отметить работы Дж. Томсона (1897г.), который показал, что катодные лучи представляют собой поток отрицательно заряженных частиц, которые были названы им электронами. Позднее Р. Милликен экспериментально определил заряд электрона и его массу.

Э. Резерфорд (1910г.) в опытах по исследованию прохождения  $\alpha$ -частиц через металлические фольги сделал вывод о том, что атом состоит из положительно заряженного ядра малого размера по сравнению с размерами атома, которое окружено электронами. Работая с канальными лучами, Резерфорд определил отношение заряда к массе и для этих лучей. При этом оказалось, что отношение заряда к массе зависит от природы газа. Наименьшая величина была получена при исследовании ионизации водорода. Таким образом, Резерфорд практически предсказал существование протона и определил его массу.

На основании исследования рассеяния  $\alpha$ -частиц атомами различных металлов Э. Резерфорд (1911г.) предложил планетарную модель атома, состоящую из положительно заряженного ядра, которое находится в центре атома, и электронов, которые вращаются вокруг него. Поскольку атом нейтрален, то число электронов должно быть равно положительному заряду ядра.

Планетарная модель Резерфорда противоречила факту устойчивого

существования атомов с точки зрения классической физики. Прежде всего, она противоречила законам классической электродинамики, поскольку, в соответствии с законами классической электродинамики, движущийся электрон, как и любая другая движущаяся частица, должен непрерывно излучать электромагнитные волны, теряя при этом энергию. Следствием такой потери энергии является движение электрона по спирали, его падение на ядро и разрушение атома. Но атомы стабильны.

Кроме того, модель Резерфорда не могла объяснить линейчатый спектр излучения, поскольку при непрерывном излучении энергии электроном должен был наблюдаться непрерывный спектр излучения. На самом деле спектр водорода состоит из отдельных линий и серий. Таким образом, модель Резерфорда не смогла объяснить устойчивость атома водорода и линейчатость его спектра.

Выход был предложен Нильсом Бором в 1913г. При построении своей модели Бор исходил из планетарной модели Резерфорда, но при этом использовал учение Эйнштейна о квантах световой энергии (1905г.) и квантовую теорию излучения Планка (1900г.).

Согласно квантовой теории Планка вещества поглощают и излучают энергию отдельными порциями – **квантами**. При этом энергия кванта электромагнитного излучения пропорциональна частоте этого излучения  $\nu$

$$E = h\nu \quad (2.1)$$

где  $h$  – постоянная Планка, которая относится к числу фундаментальных констант в Естествознании.

Основные положения своей теории Бор сформулировал в виде двух постулатов, которые накладывают определенные ограничения на разрешенные классической физикой формы движения электронов.

**Первый постулат Бора**: электрон в атоме может находиться только в стационарных или квантовых состояниях с дискретными значениями энергии  $E$ , в которых атом не излучает.

Этот постулат является условием квантования орбит движущегося электрона и находится в явном противоречии с классической физикой, согласно которой энергия движущегося электрона может принимать любые значения.

Тогда для атома водорода радиусы стационарных орбит относятся между собой как квадраты целых чисел, т. е.  $r_1^2 : r_2^2 : r_3^2 : \dots : r_n^2 = 1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots : n^2$ . В этом случае энергия электрона на этих орбитах определяется следующим уравнением



$$E = \frac{2\pi^2 m e^4 Z^2}{h^2} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (2.2)$$

где  $m$  – масса электрона;  $e$  – заряд электрона;  $n$  – целое число, называемое **главным квантовым числом**, величина которого в модели атома Бора означает порядковый номер разрешенной орбиты, считая от ядра;  $Z$  – порядковый номер элемента.

**Второй постулат Бора:** при переходе из одного стационарного состояния в другое атом испускает или поглощает квант электромагнитной энергии, частота которого определяется соотношением

$$E_n - E_m = h\nu \quad (2.3)$$

Если  $n > m$ , то атом переходит из стационарного состояния с более высокой энергией в состояние с меньшей энергией с испусканием кванта излучения.

При  $n < m$  наблюдается обратная картина, т. е. переход из состояния с меньшей энергией в состояние с большей энергией с поглощением кванта энергии.

Формулу (2.3) можно преобразовать следующим образом для любого произвольного атома с учетом (2.2)

$$E = h\nu = \frac{me^4 Z^2}{2\hbar^2} \left[ \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right] \quad (2.4)$$

где  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  – еще одна запись постоянной Планка.

Из (2.4) получаем

$$h = \frac{c}{\lambda} = \frac{me^4 Z^2}{4\pi\hbar^3} \left[ \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right] = R \cdot Z^2 \left[ \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right] \quad (2.5)$$

где  $c$  – скорость света;  $\lambda$  – длина волны;

$$R = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3} \quad (2.6)$$

– теоретическое выражение для постоянной Ридберга  $R$ , полученной

ранее экспериментально при описании линий спектра атома водорода.

На основании полученных формул и предложенной модели атома Бор рассчитал длины волн для всех серий в спектре атома водорода. В таблице 2.1 представлено сопоставление расчетов Бора с экспериментальными результатами. Отметим, что к моменту расчетов Бора серия Лаймана еще не была открыта, т. е. практически Бор предсказал ее существование.

Из результатов, представленных в таблице 2.1, видно великолепное совпадение теоретических расчетов Бора с экспериментальными результатами.

**Таблица 2.1.** Сопоставление расчетов Бора с экспериментальными результатами для серий водородного спектра

Название серии	Длина волны, Å	
	Расчет	Эксперимент
Серия Пашена	18756	18751,3
	12822	12817,5
	10941	10938,0
	10052	10049,8
Серия Бальмера	6564,7	6564,66
	4862,8	4862,71
	4341,7	4341,71
	4102,93	4102,91
	3971,23	3971,20
	3799,01	2799,00
	3712,62	3712,70
Серия Лаймана	1215,68	1216,0
	1095,73	1028,0
	972,5	972,0

Когда электрон находится на ближайшей к ядру атома орбите, он наиболее прочно связан с ядром. Самое устойчивое состояние электрона (и, соответственно, атома) называется **стационарным** (иногда называют **нормальным**) **состоянием**. Все остальные состояния атома (электрона), когда энергия электрона больше чем в стационарном состоянии, принято называть **возбужденными состояниями**.

Для перевода электрона, принадлежащего атому, из стационарного состояния в возбужденное состояние необходимо затратить энергию.

При этом чем более удалена орбита электрона от ядра атома, тем большую энергию необходимо затратить. Если мы удалим электрон из атома в бесконечность, тогда будет полностью отсутствовать какое-либо взаимодействие между этим электроном и ядром атома, то нам потребуется затратить на это максимальное значение энергии.

Процесс отрыва электрона от атома (т. е. его удаление в бесконечность) получил название **ионизации**, а требуемая для реализации этого процесса энергия получила название – **энергии ионизации**. Для многоэлектронных атомов можно говорить соответственно о первой, второй и т. д. энергиях ионизации.

Тогда, используя формулу (2.5) получаем, что **энергия ионизации изменяется пропорционально квадрату порядкового номера элемента и обратно пропорционально квадрату главного квантового числа  $n$** .

Для водорода (главное квантовое число  $n = 1$ ) энергия ионизации оказалась равной

$$E_i(\text{H}) = R = 13,6 \text{ эВ},$$

что очень хорошо совпало с постоянной Ридберга, определенной ранее экспериментально.

Поскольку фактически энергия ионизации характеризует энергию связи электрона в атоме, то можно записать выражение для энергии связи электрона на  $n$ -ой орбите в атоме водорода

$$E_{\text{св}} = -\frac{13,6 \text{ эВ}}{n^2} \quad (2.7)$$

В данном случае знак «**минус**» указывает на то, что при переводе электрона на удаленные от ядра орбиты энергия затрачивается. Т.е. получаем, что энергия связи электрона на  $n$ -ой орбите (соответственно энергия ионизации) должна изменяться прямо пропорциональной квадрату порядкового номера элемента и обратно пропорциональной квадрату главного квантового числа (говоря о ПСАЭВ – обратно пропорционально квадрату номера периода).

Теория Бора прекрасно описывала спектр атома водорода, но не позволяла объяснить спектры многоэлектронных атомов, для которых было обнаружено расщепление линий спектра, которое усиливалось в магнитном поле (эффект Зеемана) и в электрическом поле (эффект Штарка).

Таким образом, введение одного главного квантового числа, характеризующего энергетическое состояние электрона в атоме, оказалось недостаточным для описания всего многообразия полученных опытных данных. Причина этого в том, что корпускулярно – волновой дуализм электрона можно описать только на основе положений квантовой механики.

## 2.2 КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОДОРОДОПОДОБНЫХ АТОМОВ

Квантово-механическая теория строения водородоподобного атома основана на уравнении Шредингера, которое было предложено им в 1926г. Сущность этого уравнения заключается в том, что движение электрона, как и любого другого микрообъекта, описывается волновым уравнением, а его местоположение определяется вероятностными принципами.

Для описания движения электрона в атоме Шредингер предложил использовать уравнение для стоячей монохроматической волны, введя в него соотношение Луи де Бройля, которое связывает волновые и корпускулярные свойства электрона

$$\nu = \frac{h}{mV} \quad (2.8)$$

здесь  $V$  – скорость электрона.

В уравнении Шредингера электрон описывается волновой функцией, которая является функцией пространственных координат и времени. Квадрат волновой функции определяет вероятность нахождения электрона в бесконечно малом объеме пространства. Таким образом, с помощью уравнения Шредингера можно определить вероятность нахождения электрона в различных местах вблизи ядра.

Когда уравнение Шредингера решается для свободной частицы, то нет никаких ограничений на энергию частицы, которая может принимать любое значение. В случае связанного электрона (например, электрона в атоме, связанного силами притяжения с ядром) его энергия **квантуется**, т. е. может принимать только строго определенные значения. При этом для описания квантования энергии потребовалось введение целого набора квантовых чисел, который мы и рассмотрим более подробно.

Волновые функции, полученные при решении уравнения Шредингера для электрона в атоме, называются **электронными орбиталями** и определяются **тремя квантовыми числами** –  $n_e$  – главное (радиальное) квантовое число (в данном случае мы ввели дополнительно индекс «е», для того чтобы подчеркнуть что имеем дело с главным квантовым числом, характеризующим строение электронной оболочки атома),  $l$  – орбитальное квантовое число и  $m_l$  – магнитное квантовое число.

Рассмотрим более подробно суть используемых квантовых чисел при решении уравнения Шредингера.



**Главное (радиальное) квантовое число  $n_e$**  определяет разрешенные значения энергии электрона, которая квантуется и может быть описана формулой (2.2). Здесь и далее будем использовать обозначение  $n_e$ , чтобы подчеркнуть, что данное главное квантовое число (номер периода ПСАЭВ) мы используем для описания электронной оболочки атома. В дальнейшем при построении ПСЯЭВ будем использовать обозначение  $n_j$  – главное квантовое число описывающее ядра атомов (номер периода ПСЯЭВ).

Следует особо отметить, что существование дискретных уровней энергии в данном случае **непосредственно вытекает** из решения уравнения Шредингера, **а не постулируется**, как это было сделано ранее в теории Бора. Чем больше  $n$ , тем больше объем внутреннего пространства орбитали. Все электроны с одинаковым значением  $n$  образуют **ряд энергетических уровней** атома или **ряд наборов орбиталей**, который называют **электронным слоем** или **энергетическим уровнем**. В таблице 2.2 представлены принятые обозначения электронных слоев (уровней) при различных значениях главного квантового числа.

**Таблица 2.2.** Система обозначения уровней (электронных слоев)

Значение $n_e$	1	2	3	4	5	6	7
Обозначение слоя (уровня)	K	L	M	N	O	P	Q

В водородоподобном атоме все орбитали с одинаковым значением  $n$  имеют одинаковую энергию, т. е. являются вырожденными.

**Орбитальное (азимутальное) квантовое число  $l$**  определяет величину орбитального момента количества движения электрона и может принимать целочисленные значения в диапазоне от 0 до  $(n_e - 1)$ .

При этом каждому орбитальному моменту соответствует определенная форма орбитали (уровня).

Электронные слои с одинаковой энергией подразделяются на подуровни в соответствии со значением орбитального квантового числа  $l$ . Для данного главного квантового числа  $n$  орбитальное квантовое число  $l$  может принимать значения  $l = 0, 1, 2, \dots, n_e - 1$ , т. е. всего  $n_e$  значений.

Таким образом, уровень с  $n_e = 2$  содержит два подуровня орбиталей с  $l = 0$  и  $l = 1$ . Общепринятое обозначение подуровней с разными значениями  $l$  показано в таблице 2.3.

**Таблица 2.3.** Система обозначения подуровней с различными значениями  $l$

Значение $l$	0	1	2	3	4
Обозначение подуровня	s	p	d	f	g

Из представленных результатов видно, что уровень с  $n_e = 1$  имеет только один подуровень –  $s$ ; уровень с  $n_e = 2$  – два подуровня –  $s$  и  $p$ ; уровень с  $n = 3$  три подуровня –  $s$ ,  $p$  и  $d$  и т.д.

Для описания электронных оболочек атомов различных известных элементов Периодической системы (вплоть до известного  $Z = 118$ ) в настоящее время используются только  $s$ -,  $p$ -,  $d$ - и  $f$ - подуровни.

**Магнитное квантовое число  $m_l$**  определяет проекцию орбитального углового момента на выбранную ось, проходящую через ядро, в качестве которой обычно используют ось  $z$ . Магнитное квантовое число может принимать целочисленные значения от  $-l$  до  $+l$ , включая 0, т. е. подуровни с квантовым числом  $l$  содержат  $(2l + 1)$  орбиталей.

Тогда для заданного главного квантового числа  $n$  с учетом орбитального  $l$  и магнитного  $m_l$  квантовых чисел получаем следующее число возможных состояний электрона

$$\sum_{l=0}^{n_e-1} (2l + 1) = n_e^2 \quad (2.9)$$

Значение  $m_l$  указывает на ориентацию орбиты, которую занимает электрон, при этом значению  $m_l = +l$  соответствует вращение против часовой стрелки в плоскости  $x - y$  (при взгляде сверху), а значению  $m_l = -l$  соответствует вращение по часовой стрелке в той же самой плоскости, при  $m_l = 0$  плоскость круговой орбиты проходит через ось  $z$ . Отметим, что представленное выше описание вращения электрона, конечно же является условным.

Если рассмотреть подуровни с различными значениями  $l$  (см. таблицу 2.3), то получим, что  $s$ -подуровню ( $l = 0$ ,  $m_l = 0$ ) соответствует только одна орбиталь, которая называется ***s-орбиталью***. Для  $p$ -подуровня ( $l = 1$ ,  $m_l = +1, 0, -1$ ) существует три орбитали, которые, соответственно, называют ***p-орбиталями***. Для  $d$ -подуровня – существует пять ***d-орбиталей***, для  $f$ - подуровня – существует семь ***f-орбиталей*** и т. д.

Таким образом, электронные орбитали объединяются в уровни, которые характеризуются значением главного квантового числа  $n_e$  (см. таблица 2.2). В свою очередь, уровни подразделяются на подуровни, каждый из которых характеризуется значением орбитального квантового числа  $l$  (см. таблицу 2.3), а подуровни подразделяются на орбитали с различными значениями магнитного квантового числа  $m_l$ .

Для полного определения состояния электрона в многоэлектронном атоме рассмотренных трех квантовых чисел недостаточно, поэтому

дополнительно используют два квантовых числа, которые относятся к собственному угловому моменту вращения электрона (**спин**). Спин описывают квантовым числом  $s$ , которое аналогично числу  $l$  для орбитального движения, но ограничено одним значением  $\frac{1}{2}$ , и **спиновым магнитным квантовым числом**  $m_s$ , которое может иметь два значения:  $+\frac{1}{2}$  (соответствует вращению электрона против часовой стрелки при взгляде сверху) и  $-\frac{1}{2}$  (соответствует вращению электрона по часовой стрелке). В данном случае выбор направления вращения также является условным.

Два состояния электрона, которые характеризуют спиновым магнитным квантовым числом  $m_s$ , обычно условно обозначают стрелками: при этом стрелка направлена вверх ( $\uparrow$ ) если  $m_s = +\frac{1}{2}$  и направлена вниз ( $\downarrow$ ) если  $m_s = -\frac{1}{2}$ .

Таким образом, для полного описания состояния электрона в водородоподобном атоме необходимо четыре квантовых числа  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  и  $m_s$ , а пятое квантовое число фиксировано для всех электронов атома ( $s = \frac{1}{2}$ ).

С учетом спинового магнитного квантового числа и соотношения (2.9) получаем следующее число максимально возможных состояний электрона для заданного значения главного квантового числа  $n$

$$\sum_{l=0}^{n_e-1} 2 \cdot (2l+1) = 2n_e^2 \quad (2.10)$$

В таблице 2.4 представлено содержание электронов на различных уровнях и подуровнях, а также значения квантовых чисел. Представленные результаты получены на основании таблиц 2.2 и 2.3.

Поскольку существуют самые различные системы обозначения подуровней, как это показано в таблице 2.4, в дальнейшем мы будем использовать обозначения, приведенные в таблице 2.3 и первое обозначение, приведенное в таблице 2.4.

Далее более подробно рассмотрим волновую функцию, получаемую в результате решения уравнения Шредингера. Это решение, записанное в полярных координатах, можно представить в виде комбинации двух функций

$$\Psi(r, \varphi) = R(r) \cdot \Theta(\theta, \varphi) \quad (2.11)$$

где  $R(r)$  – радиальная составляющая волновой функции, которая определяет изменение орбиты электрона в зависимости от расстояния до ядра и не зависит от направления;  $\Theta(\theta, \varphi)$  – угловая составляющая волновой функции, которая определяет орбиту электрона в зависимости от

угловых координат;  $\theta$  – угол между радиус-вектором точки и осью  $z$  (широта);  $\varphi$  – угол между проекцией радиус-вектора точки на плоскость ( $x - y$ ) и осью  $x$  (долгота).

Уравнение (2.11) имеет бесконечное множество решений. Но для того, чтобы они имели смысл для описания движения электрона в атоме, они должны удовлетворять определенным стандартным условиям.

**Таблица 2.4.** Содержание электронов на различных уровнях и подуровнях

Уровень	Кол-во электронов	$n_e$	$l$	$m_l$	$m_s$	Подуровень	Кол-во электронов
K	2	1	0	0	$\uparrow\downarrow$	1s, K, K <sub>1</sub>	2
L	8	2	0	0	$\uparrow\downarrow$	2s, L <sub>1</sub> , K <sub>2</sub>	2
			1	- 1	$\uparrow\downarrow$	2p, L <sub>2</sub>	6
				0	$\uparrow\downarrow$		
				+ 1	$\uparrow\downarrow$		
M	18	3	0	0	$\uparrow\downarrow$	3s, M <sub>1</sub> , K <sub>3</sub>	2
			1	- 1	$\uparrow\downarrow$	3p, M <sub>2</sub>	6
				0	$\uparrow\downarrow$		
				+ 1	$\uparrow\downarrow$		
			2	- 2	$\uparrow\downarrow$	3d, M <sub>3</sub>	10
				- 1	$\uparrow\downarrow$		
				0	$\uparrow\downarrow$		
				+ 1	$\uparrow\downarrow$		
				+ 2	$\uparrow\downarrow$		
N	32	4	0	0	$\uparrow\downarrow$	4s, N <sub>1</sub> , K <sub>4</sub>	2
			1	- 1	$\uparrow\downarrow$	4p, N <sub>2</sub>	6
				0	$\uparrow\downarrow$		
				+ 1	$\uparrow\downarrow$		
			2	- 2	$\uparrow\downarrow$	4d, N <sub>3</sub>	10
				- 1	$\uparrow\downarrow$		
				0	$\uparrow\downarrow$		
				+ 1	$\uparrow\downarrow$		
				+ 2	$\uparrow\downarrow$		
			3	- 3	$\uparrow\downarrow$	4f, N <sub>4</sub>	14
				- 2	$\uparrow\downarrow$		
				- 1	$\uparrow\downarrow$		
				0	$\uparrow\downarrow$		
				+ 1	$\uparrow\downarrow$		
				+ 2	$\uparrow\downarrow$		
				+ 3	$\uparrow\downarrow$		

В соответствие с тремя степенями свободы появляются три величины, которые могут принимать только целочисленные значения. Радиальная часть волновой функции содержит квантовые числа  $n_e$  и  $l$ , а уг-

ловая – квантовые числа  $l$  и  $m_l$ .

Тогда общее решение уравнения Шредингера (2.11) можно записать следующим образом

$$\Psi_{n_e, l, m_l} = R_{n_e, l}(r) \cdot \Theta_{l, m_l}(\theta, \varphi) \quad (2.12)$$

При этом квантовые числа могут принимать следующие значения

$$\begin{aligned} n_e &= 1, 2, 3, \dots, \infty \\ l &= 0, 1, 2, 3, \dots, (n_e - 1) \\ m_l &= 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l \end{aligned} \quad (2.13)$$

В таблице 2.5 приведены радиальная и угловая части волновой функции электронов в водородоподобном атоме.

Рассмотрим функцию радиального распределения электронной плотности, которая позволяет оценить прочность связи электрона с ядром на основе вероятности нахождения электрона на данном расстоянии от ядра. Радиальная функция электронной плотности описывается следующей формулой

$$R_{n, l}(r) = 4\pi r^2 \psi^2 \quad (2.14)$$

здесь  $r$  – расстояние от ядра и  $\psi^2$  – вероятность нахождения частицы в бесконечно малом объеме.

**Таблица 2.5.** Радиальная и угловая части волновой функции электронов в водородоподобном атоме

Квантовые числа			Символ орбитали	Радиальная часть	Угловая часть
$n_e$	$l$	$m_l$			
1	0	0	1s	$2e^{-r}$	$(2\sqrt{\pi})^{-1}$
	0	0	2s	$-\frac{1}{2\sqrt{2}}(2-r)e^{-r/2}$	$(2\sqrt{\pi})^{-1}$
	1	0	2p <sub>z</sub>	$\frac{1}{2\sqrt{6}}re^{-r/2}$	$\sqrt{\frac{3}{4\pi}}\cos\theta$



Кванто- вые числа			Символ орбита- ли	Радиальная часть	Угловая часть
$n_e$	$l$	$m_l$			
2		+1	$2p_x$	$\frac{1}{2\sqrt{6}} r e^{-r/2}$	$\sqrt{\frac{3}{4\pi}} \sin\theta \cdot \cos\varphi$
		- 1	$2p_y$	$\frac{1}{2\sqrt{6}} r e^{-r/2}$	$\sqrt{\frac{3}{4\pi}} \sin\theta \cdot \sin\varphi$
3	0	0	$3s$	$\frac{2}{81\sqrt{3}} (27 - 18r + 2r^2) e^{-r/3}$	$(2\sqrt{\pi})^{-1}$
	1	0	$3p_z$	$\frac{4}{81\sqrt{6}} (6r - r^2) e^{-r/3}$	$\sqrt{\frac{3}{4\pi}} \cos\theta$
		+1	$3p_x$	$\frac{4}{81\sqrt{6}} (6r - r^2) e^{-r/3}$	$\sqrt{\frac{3}{4\pi}} \sin\theta \cdot \cos\varphi$
		- 1	$3p_y$	$\frac{4}{81\sqrt{6}} (6r - r^2) e^{-r/3}$	$\sqrt{\frac{3}{4\pi}} \sin\theta \cdot \sin\varphi$
4	2	0	$3d_z^2$	$\frac{4}{81\sqrt{30}} r^2 e^{-r/3}$	$\sqrt{\frac{5}{16\pi}} (3\cos^2\theta - 1)$
		1	$3d_{xz}$	$\frac{4}{81\sqrt{30}} r^2 e^{-r/3}$	$\sqrt{\frac{5}{16\pi}} \sin\theta \cdot \cos\theta \cdot \cos\varphi$
		- 1	$3d_{yz}$	$\frac{4}{81\sqrt{30}} r^2 e^{-r/3}$	$\sqrt{\frac{5}{16\pi}} \sin\varphi \cdot \cos\theta \cdot \sin\varphi$
		2	$3d_{x^2-y^2}$	$\frac{4}{81\sqrt{30}} r^2 e^{-r/3}$	$\sqrt{\frac{5}{16\pi}} \sin^2\theta \cdot \cos 2\varphi$
		- 2	$3d_{xy}$	$\frac{4}{81\sqrt{30}} r^2 e^{-r/3}$	$\sqrt{\frac{5}{16\pi}} \sin^2\theta \cdot \sin 2\varphi$

В общем случае радиальная составляющая для орбитали с главным квантовым числом  $n_e$  имеет  $(n_e - l)$  пиков, при этом самый удаленный от ядра пик имеет максимальную интенсивность.

Таким образом, можно определить расстояние от ядра атома, на котором вероятность нахождения электрона будет максимальной. Это расстояние будет уменьшаться с ростом заряда ядра в связи с ростом взаимодействия электрона с ядром и увеличиваться с ростом  $n$ , поскольку, чем больше энергия электрона, тем больше вероятность того, что электрон будет находиться дальше от ядра. Точки, в которых радиальная волновая функция равна нулю, называют **радиальными узлами**.

s-Орбиталь имеет одинаковую амплитуду на данном расстоянии от ядра независимо от угловых координат, т. е. угловая часть волновой функции в уравнении (2.12) в данном случае является константой, которая не зависит от угловых координат (см. таблицу 2.6). Фактически любая ns-орбиталь симметрична и может быть представлена в виде сферы с ядром в центре, как это показано на рис. 2.1 для граничной поверхности s-орбитали.

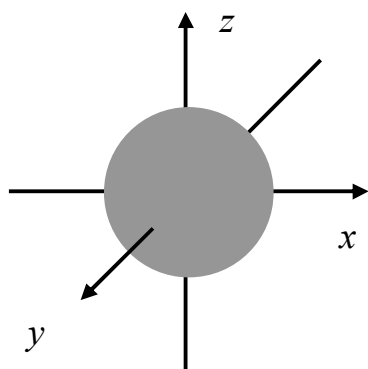
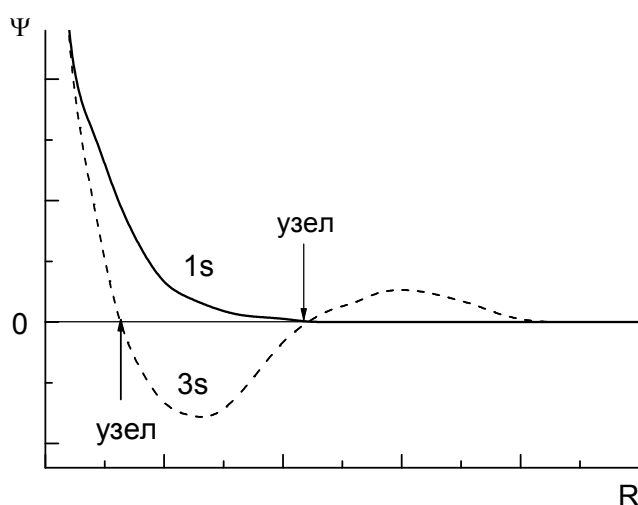


Рис.2.1. Граничная поверхность s-орбитали.

Под **граничной поверхностью** обычно понимают область высокой (более 90%) вероятности нахождения электрона. Граничную поверхность можно характеризовать изoeлектронной плотностью, т. е. она является поверхностью равной электронной плотности. Таким образом, фактически граничная поверхность показывает область, внутри которой с наибольшей вероятностью находится электрон. Поскольку радиальная составляющая

для орбитали с главным квантовым числом  $n_e$  имеет  $(n_e - l)$  пиков, то это приводит к неоднородному распределению электронной плотности внутри граничной поверхности s-орбитали.

На рис. 2.2 показано изменение радиальной волновой функции от расстояния для 1s- и 2s-орбитали. Волновая функция для 1s-орбитали экспоненциально убывает до нуля с ростом расстояния от ядра и никогда не достигает нуля. Все орбитали имеют экспоненциальную зависимость на достаточно большом расстоянии от ядра и никогда не достигают нулевого значения, но некоторые орбитали проходят через нуль вблизи ядра, формируя, таким образом, радиальный узел и, соответственно, узловую поверхность, как это показано для 3s-орбитали на рис.



**Рис.2.2.** Радиальные волновые функции 1s- и 3s-орбиталей водородоподобного атома

2.2. В общем случае орбиталь с квантовыми числами  $n$  и  $l$  имеет  $[(n_e - l) - 1]$  радиальных узловых поверхностей.

Для электронных орбиталей с  $l > 0$  (p-, d-, f – и т.д. орбитали) вероятность нахождения электрона зависит как от направления, так и от угловых координат (см. таблицу 2.4). Т. е. угловая часть волновой функции в формуле (2.12) не является константой, а зависит от

направления. При этом угловая часть волновой функции может принимать значения равные нулю, формируя, таким образом, **узловые поверхности**.

Графически волновые функции для трех p-орбиталей можно представить, как результат вращения их двумерного изображения вокруг соответствующей оси  $p_x$ ,  $p_y$  и  $p_z$  (см. рис. 2.3).

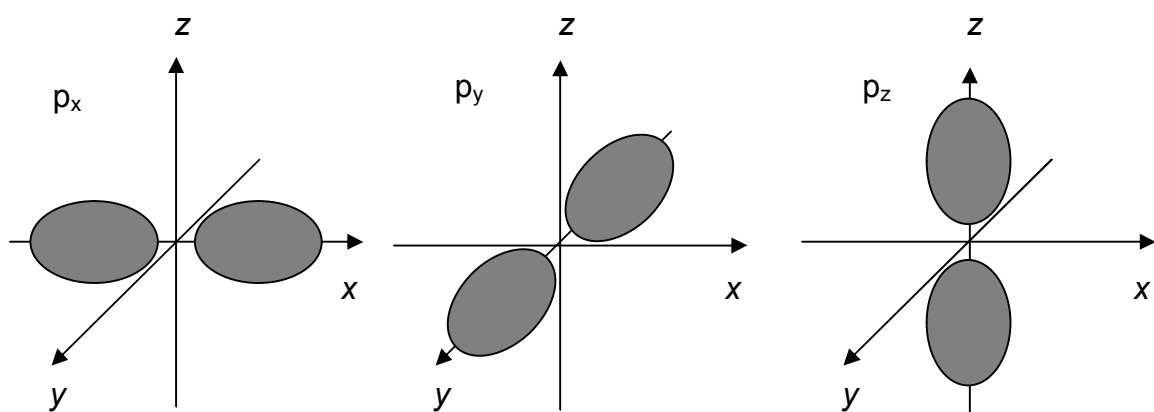
Узловые плоскости для p-орбиталей проходят через ядро и разделяют области с положительной и отрицательной амплитудами, при этом:

- для  $p_x$  узловой является плоскость  $(y - z)$ ;
- для  $p_y$  – узловая плоскость  $(x - z)$ ;
- для  $p_z$  – узловая плоскость  $(x - y)$ .

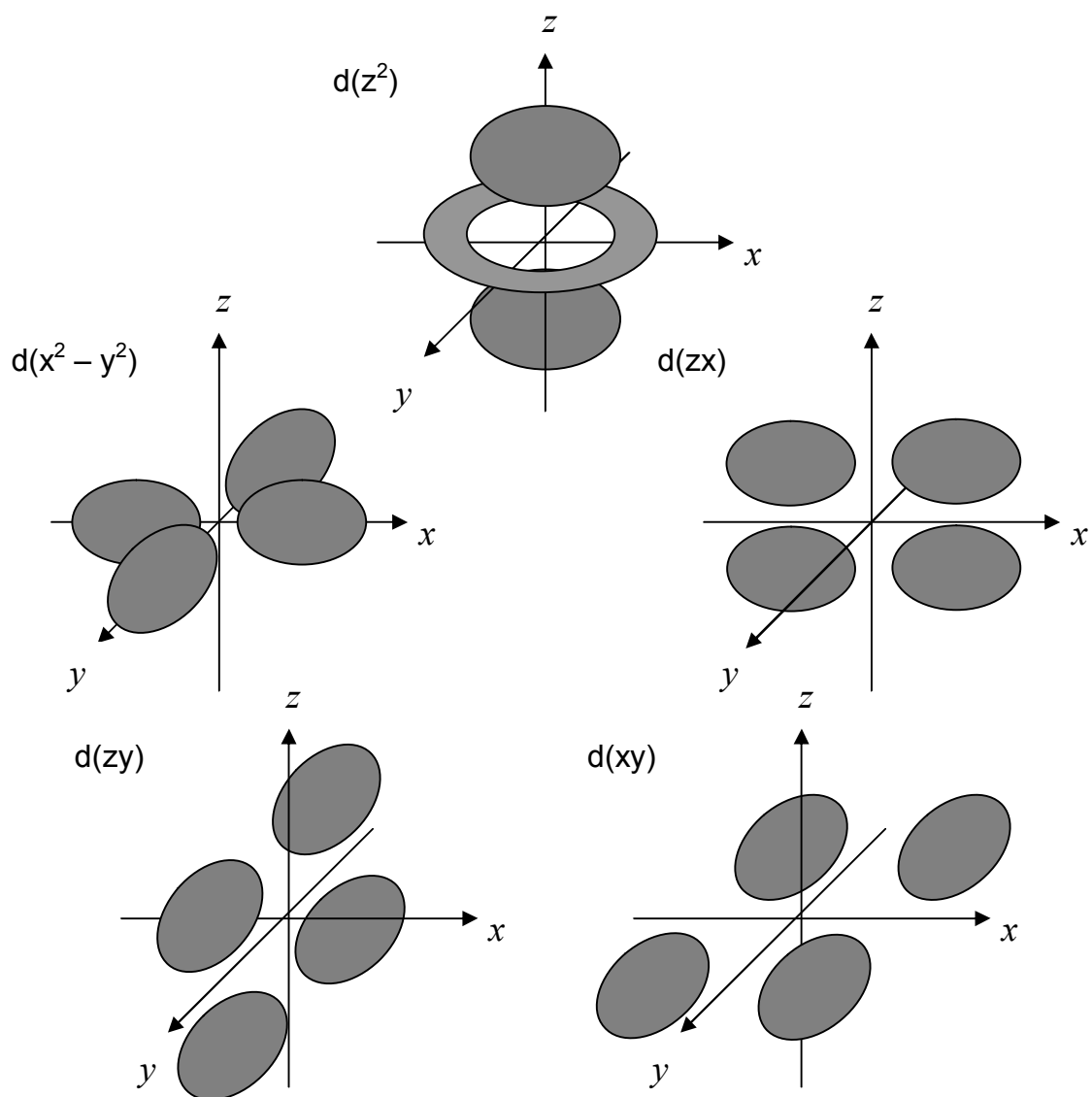
Напомним, что на каждой из p-орбиталей может находиться по два электрона с различными значениями спинового магнитного квантового числа  $m_s$ .

На рис. 2.4 показаны граничные поверхности для d-орбиталей. Четыре орбитали имеют две взаимно перпендикулярные узловые плоскости, которые пересекаются по линии, проходящей через ядро. Орбиталь  $d_{z^2}$  имеет не узловую плоскость, а узловую поверхность в виде двух конусов, вершины которых сходятся в ядре. Как и в случае p-орбиталей на каждой из d-орбиталей может находиться по два электрона.

Аналогичным образом можно представить и граничные поверхности для f-орбиталей.



**Рис.2.3.** Граничные поверхности p-орбиталей



**Рис.2.4.** Граничные поверхности d-орбиталей

Таким образом, граничная поверхность орбитали показывает область, внутри которой с наибольшей вероятностью находится электрон, при этом орбитали с орбитальным квантовым числом  $l$  имеют  $l$  узловых поверхностей.

Мы достаточно кратко рассмотрели квантово-механическую модель строения электронной оболочки водородоподобного атома. Данная модель позволяет описать состояния электрона в водородоподобном атоме путем использования четырех квантовых чисел  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  и  $m_s$ , при этом пятое квантовое число фиксировано для всех электронов атома. Тогда, для каждого значения главного квантового числа максимальное число возможных состояний электрона составляет  $2n^2$  (2.10).



## 2.3 СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННОЙ ОБОЛОЧКИ МНОГОЭЛЕКТРОННЫХ АТОМОВ

На практике в основном мы имеем дело с *многоэлектронными атомами*, для которых точное решение уравнения Шредингера сильно усложняется, поэтому обычно используют *орбитальное приближение*, в котором полагают, что каждый электрон находится на орбитали, сходной с орбиталями водородоподобного атома. Такой подход, используя различные приближения, позволяет решать задачу для многоэлектронного атома. В частности, используя приближение Томаса и Ферми для атомов с большим числом электронов (начиная примерно со второй половины известной к настоящему времени Периодической системы) было определено радиальное распределение электронной плотности. Аналогичным образом, используя приближение Хартри – Фока (метод самосогласованного поля), определены одноэлектронные волновые функции для более легких ядер.

Основные принципиальные различия, к которым приводят приближенные расчеты для многоэлектронных атомов, можно свести к следующим:

- Наличие большого числа электронов приводит только к изменению радиальной составляющей электронной плотности и не влияет на ее угловое распределение.
- В многоэлектронном атоме, аналогично водородоподобному атому, состояние электрона определяется четырьмя квантовыми числами, которые принимают те же самые значения, что и для атома водорода.
- В отличие от атома водорода в многоэлектронных атомах энергия электронов определяется как значением главного квантового числа  $n$ , так и значением орбитального квантового числа  $l$ . Напомним, что для водородоподобного атома энергия электронов определяется только значением главного квантового числа (см. формулу (2.2)).

Рассмотрим строение электронной оболочки многоэлектронных атомов более подробно. Прежде всего, отметим, что запись распределения электронов по уровням и подуровням принято называть *электронной формулой* атома элемента, которая обычно приводится для основного (невозбужденного) состояния атома, а именно такое состояние атомов мы и рассматриваем в данной работе.

При записи электронной формулы атома вначале цифрой обозначают значение квантового числа  $n$ , затем идет обозначение подуровня

(s, p, d и f), каждому из которых соответствует определенное значение орбитального квантового числа  $l$  (см. таблицу 2.3) и затем показателем степени обозначается количество электронов на данном подуровне. Например, электронная формула водорода имеет следующий вид  $1s^1$ , гелия –  $1s^2$ , лития –  $1s^2 2s^1$  и т.д.

При записи электронной формулы многоэлектронного атома (т. е. порядка заполнения электронами орбиталей), учитывают **принцип Паули**, **правило Гунда** и **правило Клечковского (принцип минимальной энергии)**. Рассмотрим суть используемых подходов.

Суть **принципа Паули**, о котором мы уже говорили ранее, заключается в ведении запрета, согласно которого в атоме не может быть двух электронов с одинаковым набором квантовых чисел. Отсюда следует, что на одном уровне, т. е. с одинаковой энергией, не может находиться более двух электронов, при этом они должны иметь противоположные спины.

В соответствии с принципом Паули, заполнение подуровней изображают следующим образом. Каждый отдельный энергетический уровень орбитали представляют в виде квадрата, а заселение уровня электронами обозначают стрелкой, направление которой вверх или вниз указывает различие в спиновом магнитном квантовом числе  $m_s$ , как это показано на рис.2.5 для s- и p-орбиталей.

**Правило Гунда.** В соответствие с правилом Гунда заполнение орбиталей одного подуровня в основном состоянии атома начинается электронами с одинаковыми спинами, и только после заполнения всех подуровней начинается заполнение электронами с противоположными спинами. Иначе правило Гунда можно сформулировать следующим образом: в пределах подуровня (при данном значении  $l$ ) электроны располагаются таким образом,

$s^1$	<table><tr><td>↑</td></tr></table>	↑	$p^1$	<table><tr><td>↑</td><td></td><td></td></tr></table>	↑		
↑							
↑							
$s^2$	<table><tr><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	$p^2$	<table><tr><td>↑</td><td>↑</td><td></td></tr></table>	↑	↑	
↑↓							
↑	↑						
		$p^3$	<table><tr><td>↑</td><td>↑</td><td>↑</td></tr></table>	↑	↑	↑	
↑	↑	↑					
		$p^4$	<table><tr><td>↑↓</td><td>↑</td><td>↑</td></tr></table>	↑↓	↑	↑	
↑↓	↑	↑					
		$p^5$	<table><tr><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑</td></tr></table>	↑↓	↑↓	↑	
↑↓	↑↓	↑					
		$p^6$	<table><tr><td>↑↓</td><td>↑↓</td><td>↑↓</td></tr></table>	↑↓	↑↓	↑↓	
↑↓	↑↓	↑↓					

чтобы суммарный спин электронов на подуровне был максимальным.

На рис. 2.5 показан порядок заполнения уровней p-орбиталей электронами в соответствие с правилом Гунда.

Здесь приведена схема заполнения уровней электронами, а также буквенная запись, описываемого процесса заполнения уровней (т.

**Рис. 2.5.** Порядок заполнения электронами уровней s- и p-орбиталей

е. фактически электронная формула).

Из рис. 2.5 видно, что по порядку заполнения электронами р-орбитали можно выделить две характерные подгруппы атомов элементов:

- **подгруппа ( $p^1 - p^3$ )** характерна тем, что на любом из р-подуровней (которых три) содержится не более одного электрона, т. е. заполнение подуровней происходит только **не спаренными электронами**;
- **подгруппа ( $p^4 - p^6$ )** характерна тем, что хотя бы один из возможных р-подуровней является полностью заполненным, т. е. появляются подуровни заполненные **спаренными электронами**.

На рис. 2.6 показан порядок заполнения электронами уровней d- и f-орбиталей в соответствии с правилом Гунда. В данном случае, как и в случае р-орбитали, можно выделить несколько характерных подгрупп.

Прежде всего, для d-орбитали можно выделить подгруппы ( $d^1 - d^5$ ), ( $d^6 - d^{10}$ ). При этом, для подгруппы ( $d^1 - d^5$ ) характерно то, что на подуровнях содержатся только **не спаренные электроны**, в то время как для подгруппы ( $d^6 - d^{10}$ ) в процессе заполнения подуровней электронами **впервые появляются спаренные электроны**.

Тогда для f-орбитали аналогичным образом можно выделить следующие подгруппы ( $f^1 - f^7$ ), ( $f^8 - f^{14}$ ). При этом **подгруппа ( $f^1 - f^7$ )** характерна тем, что на f-подуровнях присутствуют только **не спаренные электроны**, а **подгруппа ( $f^8 - f^{14}$ )**, в свою очередь, характерна тем, что в ней появляются полностью заполненные **спаренными электронами** f-подуровни.

Таким образом, внутри каждого из подуровней порядок их заполнения электронами определяется правилом Гунда, что позволяет для р-, d- и f-подуровней выделить две характерные подгруппы элементов, первая из которых отличаются полным отсутствием спаренных электронов, а для второй подгруппы характерно присутствие хотя бы на одном из подуровней спаренных электронов.

Мы вернемся к рассмотрению порядка заполнения уровней электронами и выявленным характерным подгруппам в дальнейшем при рассмотрении закономерностей изменения орбитального радиуса атомов и первой энергии ионизации (см. Главу 4).

Порядок заполнения электронами подуровней при переходе от одного вида подуровня к другому виду определяется в соответствии с **принципом минимальной энергии**, который также называют **правилом Клечковского**.

В соответствие с принципом наименьшей энергии электроны в основном состоянии заполняют уровни в порядке повышения энергии.

$d^1$	↑				
$d^2$	↑	↑			
$d^3$	↑	↑	↑		
$d^4$	↑	↑	↑	↑	
$d^5$	↑	↑	↑	↑	↑
$d^6$	↑↓	↑	↑	↑	↑
$d^7$	↑↓	↑↓	↑	↑	↑
$d^8$	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑
$d^9$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑
$d^{10}$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓

**Рис. 2.6.** Порядок заполнения электронами уровней  $d$ - и  $f$ -орбиталей согласно правила Гунда (вариант)

$f^1$	↑						
$f^2$	↑	↑					
$f^3$	↑	↑	↑				
$f^4$	↑	↑	↑	↑			
$f^5$	↑	↑	↑	↑	↑		
$f^6$	↑	↑	↑	↑	↑	↑	
$f^7$	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
$f^8$	↑↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑
$f^9$	↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑	↑
$f^{10}$	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑	↑	↑
$f^{11}$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑	↑
$f^{12}$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑
$f^{13}$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑
$f^{14}$	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓	↑↓

Т. е. первыми заполняются уровни с минимальными энергиями. Поскольку в многоэлектронных атомах более удаленные от ядра электроны испытывают не только притяжение ядер, но и отталкивание от электронов, расположенных ближе к ядру (экранирование), то при заполнении уровней необходимо учитывать эффект экранирования, что усложняет порядок заполнения орбиталей. Следует отметить, что представленный на рис. 2.6 порядок заполнения d- и f-орбиталей является одним из возможных вариантов.

Энергия электрона на орбитали определяется главным квантовым числом  $n$  и орбитальным квантовым числом  $l$ , поэтому, вначале заполняются подуровни, для которых сумма значений квантовых чисел  $n$  и  $l$  является наименьшей.

Именно В.М. Клечковский впервые в 1961г. сформулировал общее положение (*правило Клечковского*): **увеличение энергии электронов и соответственно заполнение подуровней электронами в атоме происходит в соответствии с ростом суммы  $(n_e + l)$ , если наблюдается равенство данной суммы, то заполнение происходит в соответствии с ростом главного квантового числа  $n_e$ .**

В соответствии с правилом Клечковского подуровни выстраиваются в следующей последовательности

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s \approx 3d < 4p < 5s \approx 4d < 5p < 6s \approx 5d \approx 4f < 6p < 7s \approx 6d \approx 5f < 7p \text{ и т.д.} \quad (2.15)$$

Таким образом, мы достаточно кратко рассмотрели строение и порядок заполнения электронной оболочки многоэлектронных атомов, что принято отображать в виде электронной формулы атомов.

Более подробно электронные формулы атомов элементов Вещества приведены в Приложении 2.



## 2.4 ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА АТОМОВ И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ИЗВЕСТНЫХ АТОМОВ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕЩЕСТВА

Прежде чем приступить к рассмотрению современных вариантов ПСАЭВ, рассмотрим ее общую структуру и некоторые определения. Обычно Периодическую систему характеризуют как естественную классификацию элементов, которая опирается на Периодический закон и является его конкретизированным выражением.

В данном случае и далее мы опускаем слово «*химические*», а говорим об элементах Вещества, которые могут быть получены как в результате химических реакций, так и в результате ядерных реакций, что особенно проявило себя при открытии новых трансурановых элементов. При этом мы будем исходить из определения элемента Вещества, которое дали ранее в Главе 1.

Д.Н. Трифонов в [6] дает следующую формулировку для Периодической системы: *Периодическая система есть упорядоченное, опирающееся на закон периодичности множество элементов с однозначно фиксируемой нижней границей и подразделяющееся, в свою очередь, на подмножества – периоды и группы элементов, вычленение которых основано на закономерностях построения электронных конфигураций атома в зависимости от его порядкового номера.*

При этом в качестве подмножества элементов выделяются периоды системы. Под периодом мы будем понимать совокупность элементов, начинающуюся с элемента, в электронной оболочке атома которого впервые появляется электрон с данным значением главного квантового числа  $n_e$  (номер периода) и значением орбитального квантового числа  $l = 0$ , а заканчивается элементом, в электронной оболочке которого имеется электрон с максимальным значением орбитального квантового числа  $l_{max} = (n_e - 1)$ .

Таким образом, любой из периодов (в известной части ПСАЭВ) начинается  $n_e s$ -элементом, а заканчивается  $n_e p$ -элементом с полностью заполненной  $p$ -орбиталью, за исключением первого периода, который заканчивается  $1s^2$ -элементом (гелий).

К настоящему времени имеется достаточно большое количество вариантов построения ПСАЭВ, основные из которых представлены в [7]. При этом наибольшее распространение получил, так называемый, длиннопериодный вариант, который рекомендован к применению ИЮПАК (IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry). Напомним, что данная Международная организация занимается разработкой рекомендаций по номенклатуре, символам, единицам измерения

и обозначениям в области теоретической и прикладной химии.

Длиннопериодный вариант ПСАЭВ мы и будем использовать в качестве основы для проведения анализа основных закономерностей атомов и ядер элементов Вещества, введя при этом незначительные дополнения для удобства проведения такого анализа.

В дополнение к делению элементов по периодам, о котором мы уже говорили выше, все известные элементы разделим на два характерных семейства: *s-элементы* и *p-элементы*, как это схематично показано в таблице 2.6.

**Таблица 2.6.** Деление элементов на семейства по типу электронных орбиталей

Период  n <sub>e</sub>	Семейства элементов				
	s-элементы				p- элементы
	ss- элементы s <sup>1</sup> -s <sup>2</sup>	d-элементы			
		d <sup>1</sup>	f-элементы	d <sup>2</sup> -d <sup>10</sup>	
f <sup>1</sup> – f <sup>14</sup>					
1	1 – 2				
2	3 – 4				6 – 10
3	11 – 12				13 – 18
4	19 – 20	21		22 – 30	31 – 36
5	37 – 38	39		40 – 48	49 – 54
6	55 – 56	57	58 – 71	72 – 80	81 – 86
7	87 – 88	89	90 – 103	104 – 112	112 – 118

В основе такого деления лежит строение электронной оболочки атомов, а точнее ее электронная формула (см. Приложение 2). При этом получаем, что все s-элементы являются **металлами**, за исключением гелия. Но гелий сам по себе является особым элементом, поскольку из всех благородных газов он единственный имеет электронную орбиталь только s-типа. Таким образом, из представленных данных получаем, что ss-элементы не способны создавать соединения друг с другом путем образования химических связей, а способны создавать только сплавы. В то время как среди p-элементов есть **как металлы, так и неметаллы**.

В свою очередь, s-элементы разделим на группы *ss-*, *d-* и *f-элементы*, как это показано в таблице 2.6, выделив характерные подгруппы внутри семейств элементов (в обозначении подгрупп элементов мы используем обозначение новых электронных орбиталей, появляющихся в данном периоде в порядке их появления).

Каждый из элементов, отнесенных к одной из групп, будем характеризовать количеством электронов на электронной орбитали, которая

заполняется в данном столбце данного периода, т. е.:

- $ss^1, ss^2$  – для ss-элементов;
- $p^1, p^2, \dots, p^6$  – для группы p-элементов;
- $d^1, d^2, \dots, d^{10}$  – для d-элементов;
- $f^1, f^2, \dots, f^{14}$  – для f-элементов.

Пустые клетки в таблице 2.6 свидетельствуют о том, что элементы данного семейства данной подгруппы в данном периоде отсутствуют. В общем случае и ранее в длиннопериодном варианте Периодической системы уже выделяли подобные подгруппы.

На рис. 2.7 представлен в полном объеме используемый нами исходный вариант ПСАЭВ. Здесь же приведена расшифровка используемых обозначений. В данном случае в качестве одной из основных характеристик атома элемента мы приводим массовое число наиболее распространенного изотопа, поскольку именно эта характеристика элемента понадобится нам для дальнейших рассмотрений.

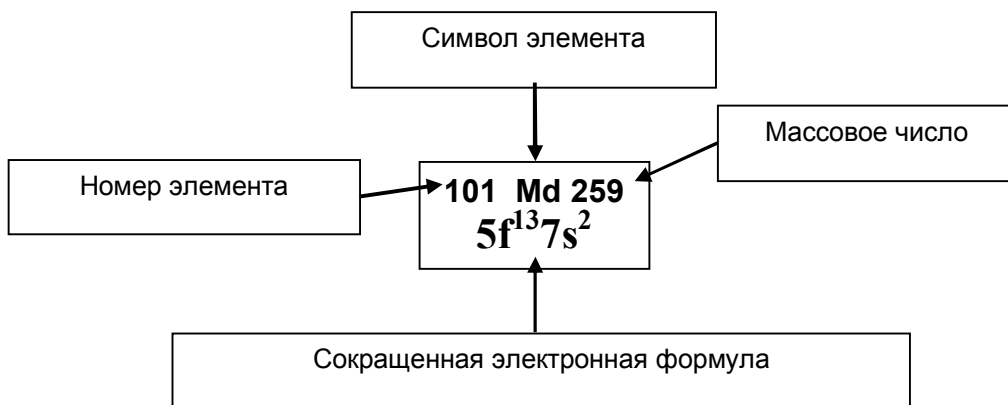
Особо отметим, что по типу заполняемых электронных орбиталей, гелий отнесен нами к  $ss^2$ -элементам. Фактически гелий является единственным благородным газом s-типа и появления его аналогов в будущем исключено, поскольку все последующие элементы будут иметь более сложную структуру электронной оболочки. Именно для этих элементов Вещества можно предполагать наиболее сильное проявление квантовых свойств. Исходя из этих соображений, возможно, что гелий и водород, необходимо помещать в отдельную строку и отдельный столбец ПСАЭВ, поскольку эти элементы можно отнести к простейшим: водород простейшая комбинация элементарной частицы – электрона с элементарной частицей – протоном; гелий – простейшая комбинация  $\alpha$ -частицы, которая может существовать самостоятельно достаточно длительное время, и двух электронов.

Фактически предлагаемое деление элементов на подгруппы очень четко отражает порядок заполнения электронами электронных орбиталей в зависимости от положения элемента в ПСАЭВ.

Введенное выше деление элементов на семейства и подгруппы позволяет существенным образом упростить рассмотрение изменения различных характеристик ядер и атомов элементов в зависимости от их положения в Периодической системе. Как это не странно, но подобного подхода мы не нашли в литературе, хотя, на наш взгляд, этот подход является наиболее естественным при анализе закономерностей ПСАЭВ.

Например, если рассматривать изменение свойств ядер и атомов подгруппы элементов внутри периода, то можно проследить основные закономерности в зависимости от содержания электронов *на заполняе-*

СЕМЕЙСТВА		ЭЛЕМЕНТОВ		p-элементы																		d-элементы																		s-элементы						f-элементы																		ss-элементы						ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																		ss-элементы																	
-----------	--	-----------	--	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------------	--	--	--	--	--	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



**Рис.1.9** Периодическая система атомов известных элементов с выделением характерных семейств и групп элементов.

*мой в данном периоде электронной орбитали.* При этом при неизменном содержании заполненных внутренних электронных орбиталей будут изменяться массовое число  $A$  и порядковый номер  $Z$ .

С другой стороны, рассматривая изменение свойств ядер и атомов для выбранной подгруппы элементов при переходе от периода к периоду *при неизменной заполняемой электронной орбитали*, получаем возможность анализа закономерностей в зависимости от количества полностью заполненных внутренних электронных орбиталей и, соответственно, различных значений  $A$  и  $Z$ .

Представленное нами деление элементов на семейства, группы и подгруппы позволяет достаточно просто выполнить анализ закономерностей изменения различных свойств элементов в зависимости от их положения в ПСАЭВ.

## РЕЗЮМЕ К ГЛАВЕ 2

1. Квантово-механическая модель атома позволяет описать состояния электрона в водородоподобном атоме путем использования четырех квантовых чисел  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$  и  $m_s$ , при этом пятое квантовое число фиксировано для всех электронов атома ( $s = 1/2$ ).
2. Заполнение электронных орбиталей многоэлектронных атомов электронами происходит с учетом запрета Паули, правила Гунда и правила Клечковского.
3. Деление элементов на семейства, группы и подгруппы позволяет упростить рассмотрение изменения различных характеристик ядер и атомов элементов.
4. Изменение свойств ядер и атомов элементов внутри периода происходит при неизменном содержании заполненных внутренних электронных орбиталей, переменном массовом числе, переменном ну-клонном составе и переменном числе электронов в заполняемой части электронной оболочки.
5. Изменение свойств ядер и атомов для выбранной подгруппы элементов, при переходе от периода к периоду происходит при неизменной заполняемой части электронной орбитали и при переменном числе внутренних заполненных электронных орбиталей, переменном массовом числе и переменном номере элемента.

## ГЛАВА 3. НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТОМОВ

### 3.1 РАЗМЕРЫ АТОМОВ

Известные фундаментальные характеристики атомов можно разделить на *статические* и *динамические*, при этом к статическим характеристикам отнесем основные характеристики атомов, наблюдаемые в невозбужденном состоянии. Именно характеристики атомов в невозбужденном состоянии и будут являться предметом рассмотрения в данной работе.

Рассмотрим основные закономерности изменения размеров атомов элементов. С точки зрения квантовой механики изолированный атом не имеет строго определенного размера, поскольку электронная плотность теоретически обращается в нуль только на бесконечно большом расстоянии от ядра. С другой стороны электронное облако становится размытым уже на расстоянии в несколько десятков нанометров от ядра. Исходя из этого, определить абсолютно точно размеры атомов невозможно.

Исторически сложилось так, что в результате изучения различных свойств и особенностей строения различных химических соединений элементов сложилось представление об *эффективных радиусах* атомов, которые проявляются при их взаимодействиях в различных химических соединениях. При этом эффективные радиусы определяли по экспериментальным данным о межъядерных расстояниях в молекулах и кристаллах, предполагая, что атомы представляют собой несжимаемые шары, которые соприкасаются поверхностями в соединениях.

Таким образом, были определены:

- *ковалентные радиусы* по расстоянию между ядрами в ковалентных молекулах;
- *металлические радиусы* – по расстоянию между ядрами в металлических кристаллах;
- *ионные радиусы* – по данным, полученным для ионных кристаллов.

При использовании описанных выше подходов были получены различные значения эффективных радиусов, при этом эффективные радиусы, определенные различными способами для одного и того же элемента могут не совпадать друг с другом, что, чаще всего, и наблюдается на практике. Это свидетельствует о том, что эффективные радиусы достаточно сильно зависят от характера химической связи, числа ближай-

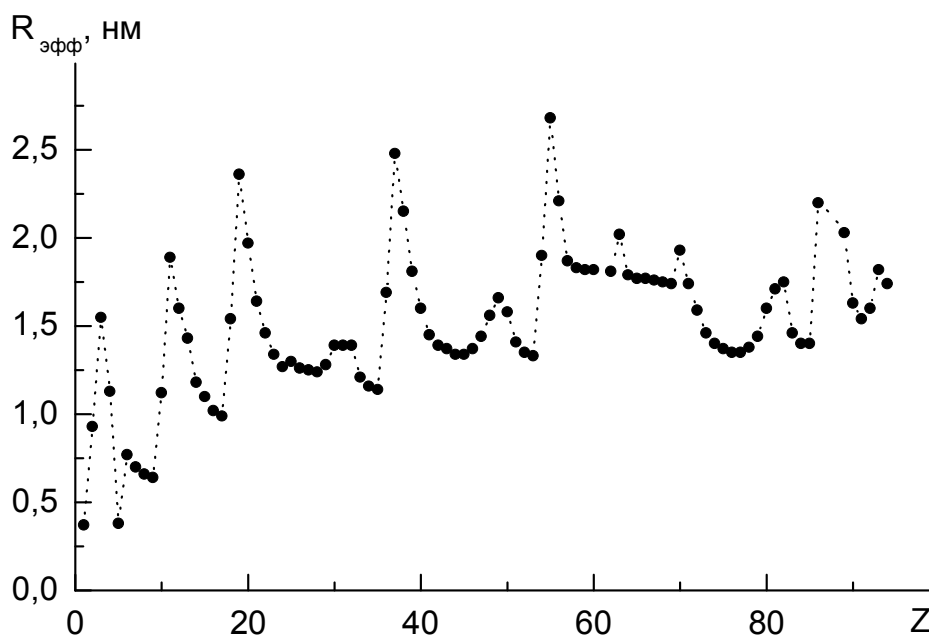


ших соседей в молекуле или в кристалле, а также от ряда других факторов. Отметим, что количество ближайших атомов в молекуле или кристалле принято называть **координационным числом**.

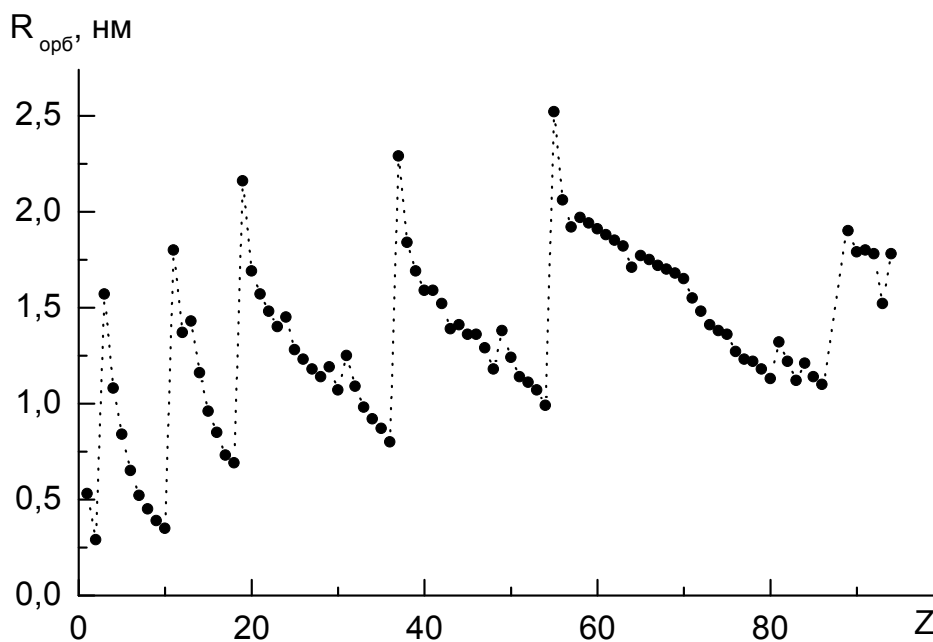
Развитие вычислительной техники, в свое время, позволило ввести понятие **орбитальных радиусов**, которые характеризуют расстояние от ядра атома до наиболее удаленного от него максимума функции радиального распределения электронной плотности. В результате расчета для любого атома получают только одно значение орбитального радиуса.

Таким образом, по сравнению с эффективными радиусами, которые зависят от ряда параметров, характеризующих **взаимодействие** элементов, орбитальный радиус однозначно характеризует атом вещества в изолированном состоянии и не зависит взаимодействия рассматриваемого атома с другими атомами.

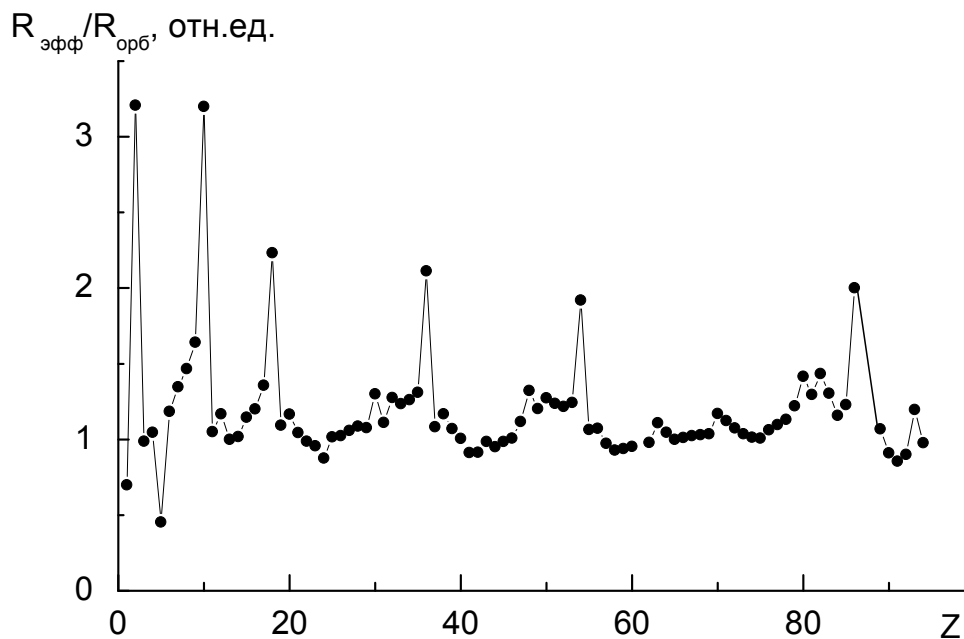
На рис. 3.1 – рис.3.3 показано изменение эффективных и орбитальных радиусов, а также их отношения для различных элементов в зависимости от порядкового номера. В данном случае, также как и на всех последующих рисунках, значение радиусов атомов элементов будем приводить в нм.



**Рис. 3.1.** Изменение эффективного радиуса в зависимости от порядкового номера элемента



**Рис. 3.2.** Изменение орбитального радиуса в зависимости от порядкового номера элемента



**Рис. 3.3.** Изменение отношения эффективного радиуса к орбитальному радиусу в зависимости от порядкового номера элемента

Из представленных результатов видно, что наблюдается устойчивая корреляция между этими двумя разновидностями радиусов атомов элементов. Следует отметить, что наибольшее расхождение между орбитальным и эффективным радиусами наблюдается для благородных газов ( $p^6$ -элементов), включая гелий ( $ss^2$ -элемент).

Также видно, что наблюдается ярко выраженная периодичность в изменении радиусов атомов при переходе от периода к периоду. Орбитальный радиус в начале периода имеет максимальное значение, а затем падает до некоторого минимума с ростом  $Z$  к концу периода. В начале следующего периода размеры атомов скачкообразно возрастают и закономерность, отмеченная выше, повторяется. При таком скачкообразном переходе наблюдается кратное изменение орбитального радиуса, а также максимальное различие между эффективным и орбитальным радиусами.

Обычно, при анализе закономерностей изменения размеров атомов элементов, и ограничиваются рассмотрением зависимостей, подобных показанным на рис. 3.1 – рис. 3.3. Но на основании подобных результатов очень сложно сделать какие-то более конкретные выводы и, тем более, прогнозировать значение размеров атомов для пока неизвестных элементов ПСАЭВ.

В данной работе рассмотрим более подробно изменение размеров атомов как внутри периодов, так и при переходе от периода к периоду ПСАЭВ. Особое внимание при анализе закономерностей изменения геометрических размеров атомов в зависимости от строения их электронных оболочек будем уделять именно **орбитальному радиусу**, поскольку именно он определяется строением электронной оболочки атомов.

После рассмотрения закономерностей изменения орбитального радиуса с изменением номера элемента, будем дополнительно рассматривать, каким образом изменяется **эффективный радиус** для каждой из выделенных подгрупп элементов.

Для упрощения анализа изменения радиуса атомов элементов, воспользуемся делением элементов на семейства и группы, которое изложено ранее в разделе 2.5. Эффективность такого подхода была показана нами ранее в [1].

### 3.1.1 p - ЭЛЕМЕНТЫ

Прежде всего, рассмотрим *p-элементы*, поскольку данный вид элементов наблюдается в достаточно большом количестве в шести из семи известных периодов (см. раздел 2.5, рис. 2.7). Кроме того, практически для всех известных *p-элементов* имеются данные, как по эффективному, так и по орбитальным радиусам атомов, что позволяет провести достаточно подробное сравнение этих характеристик.

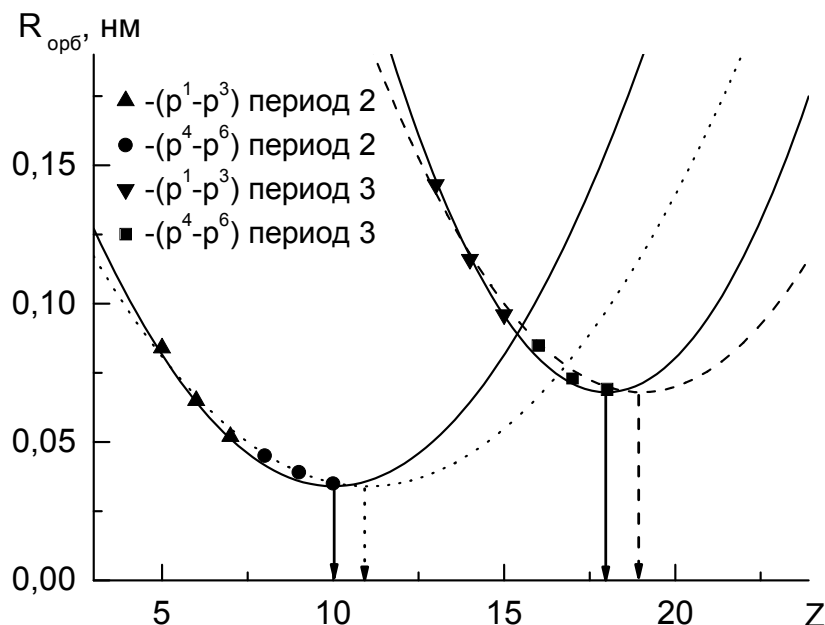
Вначале проведем анализ изменения орбитального радиуса внутри периода ПСАЭВ, т. е. рассмотрим зависимость орбитального радиуса от порядкового номера элемента и от количества электронов на заполняемой электронами *p*-орбитали. Затем рассмотрим изменение орбитального радиуса при переходе от периода к периоду, т. е. изменение орбитального радиуса в зависимости от порядкового номера элемента и от числа полностью заполненных внутренних орбиталей при неизменном числе электронов на заполняемой *p*-орбитали. Затем подобные зависимости рассмотрим для эффективных радиусов *p-элементов*. Аналогичный подход мы будем использовать и при рассмотрении других типов элементов.

Предварительный анализ показал, что все *p-элементы* по своим характерным зависимостям орбитального радиуса от порядкового номера распадаются на две характерные подгруппы – ( $p^1 - p^3$ ) и ( $p^4 - p^6$ ), как это мы уже наблюдали ранее в работе [1]. Кроме того, установлено, что наблюдается объединение периодов в группы. При этом можно объединить:

- второй и третий периоды, поскольку элементы, образующие эти периоды, содержат электронные орбитали только *s*- и *p*-типа;
- четвертый и пятый периоды, поскольку элементы, образующие эти периоды, содержат электронные орбитали только *s*-, *p*- и *d*-типа;
- шестой и седьмой периоды, поскольку элементы, образующие эти периоды, содержат электронные орбитали *s*-, *p*-, *d*- и *f*-типа.

Напомним, что подобное объединение периодов ПСАЭВ мы наблюдали ранее в [1] при анализе изменения размеров атомов, первой энергии ионизации и нуклонного состава ядер элементов различных периодов, что позволило ввести новый классификационный признак – *класс*.

Рассмотрим изменение орбитального радиуса в зависимости от порядкового номера для выделенных подгрупп *p-элементов*. На рис.3.4 показано изменение орбитального радиуса атомов *p-элементов* внутри



**Рис. 3.4.** Изменение орбитального радиуса для подгрупп р-элементов второго и третьего периодов: линии – установленные зависимости; символы – известные данные; стрелки – минимумы соответствующих зависимостей

периода в зависимости от порядкового номера элемента для второго и третьего периодов. Из представленных результатов видно, что с ростом количества электронов на р-орбитали, что сопровождается соответствующим ростом числа нуклонов в ядре атомов, орбитальный радиус р-элементов второго и третьего периодов уменьшается с ростом  $Z$ .

Кроме того, во всех случаях для орбитального радиуса р-элементов рассматриваемых периодов наблюдается квадратичная зависимость от номера элемента. На рис.3.4 стрелками отмечены минимумы для выявленных квадратичных зависимостей орбитального радиуса от номера элемента. Следует отметить, что для данных периодов различия между выделенными подгруппами р-элементов достаточно малы, но при этом выявляются очень четко. Возможно, это как раз и обусловлено тем фактом, что в рассматриваемых периодах р-элементы содержат электронные орбитали только s- и р-типа, а именно по этому признаку мы и объединили рассматриваемые периоды.

Для элементов  $(p^1 - p^3)$ -подгруппы второго и третьего периодов изменение орбитального радиуса описывается следующим соотношением

$$R_{\text{орб } i} \left[ (p^1 - p^3); 2, 3 \right] = a + b \cdot (Z_i - Z_{\text{max}})^2 \quad (3.1)$$

где  $R_{\text{орб } i}$  – орбитальный радиус  $i$ -того элемента рассматриваемой подгруппы  $p$ -элементов;  $Z_i$  – порядковый номер рассматриваемого  $i$ -того элемента;  $Z_{\text{max}}$  – максимальный номер  $p$ -элемента в рассматриваемом периоде, т.е. номер  $p^6$ -элемента для рассматриваемого периода;  $a$  и  $b$  – некоторые коэффициенты пропорциональности для данной подгруппы  $p$ -элементов, величина которых зависит от номера периода.

Для элементов  $(p^4 - p^6)$ -подгруппы второго и третьего периодов изменение орбитального радиуса описывается подобным соотношением

$$R_{\text{орб } i} \left[ (p^4 - p^6); 2, 3 \right] = c + d \cdot [Z_i - (Z_{\text{max}} + 1)]^2 \quad (3.2)$$

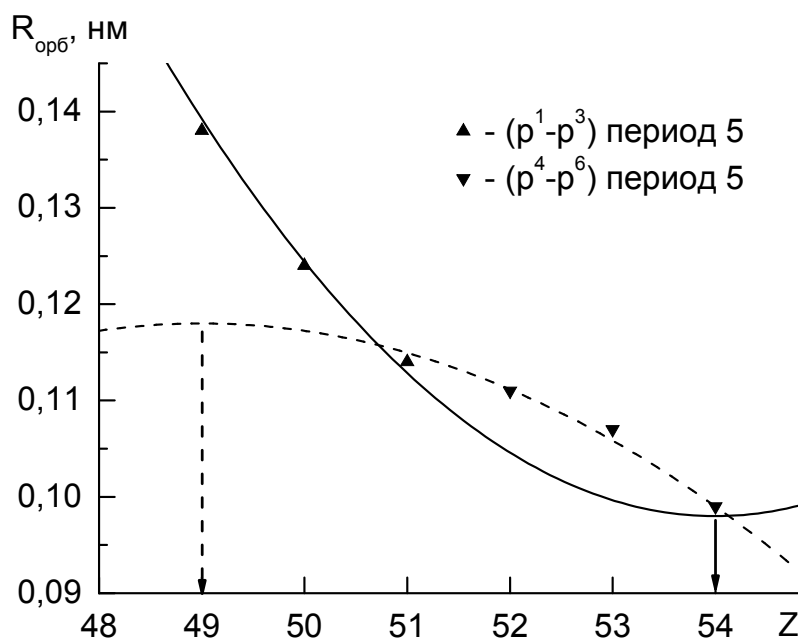
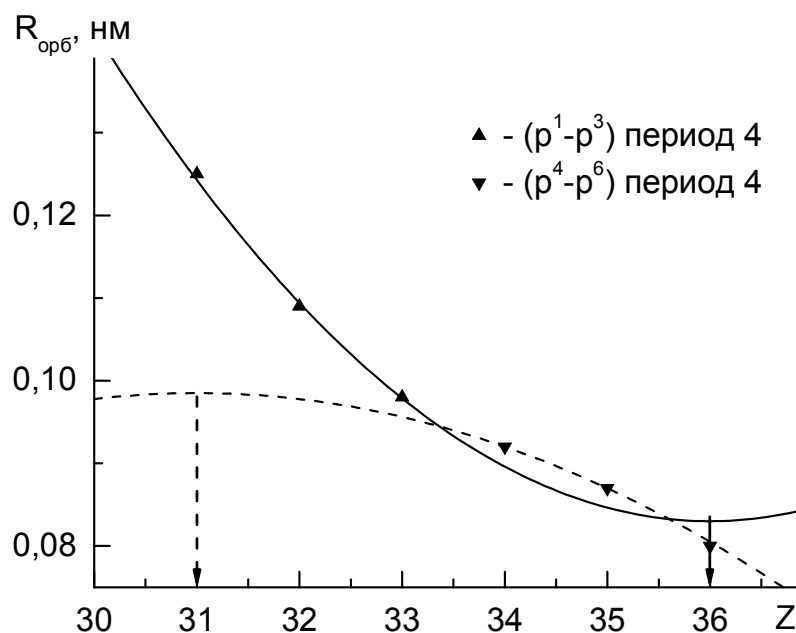
здесь  $c$  и  $d$  – коэффициенты пропорциональности для данной подгруппы  $p$ -элементов, величина которых зависит от номера периода; остальные обозначения идентичны (3.1).

Отметим, что коэффициенты пропорциональности в соотношениях, которые установлены в данной работе, для каждого конкретного соотношения являются своими, хотя мы и используем идентичные обозначения. Исходя из этого, в случаях, когда мы будем рассматривать зависимость таких коэффициентов пропорциональности от некоторых параметров, то мы в каждом конкретном случае будем отмечать соотношение, к которому относятся рассматриваемые коэффициенты.

Таким образом, для  $p$ -элементов второго и третьего периодов получили идентичные по виду соотношения, которые описывают изменение орбитального радиуса для каждой из выделенных подгрупп  $p$ -элементов.

Рассмотрим изменение орбитального радиуса для  $p$ -элементов четвертого и пятого периодов, которое показано на рис.3.5. Из представленных результатов видно, что с ростом количества электронов на  $p$ -орбитали, что сопровождается соответствующим ростом числа нуклонов в ядре атомов, орбитальный радиус  $p$ -элементов уменьшается. Т.е. общий характер изменения орбитального радиуса для  $p$ -элементов 4 и 5 периодов идентичен тому, что мы наблюдали ранее для 2 и 3 периодов. При этом появляются существенные отличия в закономерностях для подгрупп  $p$ -элементов. Для подгруппы  $(p^1 - p^3)$  наблюдается зависимость, которая описывается идентичным по виду соотношением (3.1) со своими коэффициентами пропорциональности. Положение минимума зависимости также остается без изменений.





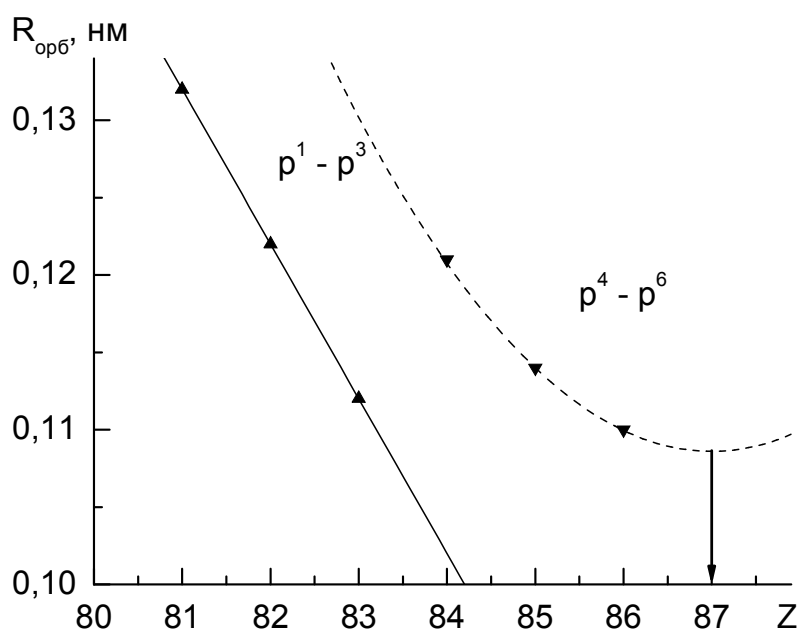
**Рис. 3.5.** Изменение орбитального радиуса для подгрупп р-элементов 4 и 5 периодов: символы – известные данные; линии – установленные закономерности; стрелки – экстремумы зависимостей

Для подгруппы ( $p^4 - p^6$ ) наблюдается соотношение идентичное по виду соотношению (4.2), но при этом меняется знак параболы и положение экстремума (показано стрелками на рис. 3.5)

$$R_{\text{орб } i} \left[ (p^4 - p^6); 4,5 \right] = c - d \cdot [Z_i - Z_{\text{min}}]^2 \quad (3.3)$$

здесь  $Z_{\text{min}}$  – номер  $p^1$ -элемента для рассматриваемого периода.

Соответственно для  $p$ -элементов шестого периода получаем зависимости, показанные на рис. 4.6. Прежде всего, видно, что, в отличие от закономерностей, которые мы наблюдали ранее для 2 – 5 периодов, с ростом номера элемента внутри каждой из подгрупп наблюдается снижение орбитального радиуса, но при этом происходит скачкообразный рост орбитального радиуса при переходе от подгруппы ( $p^1 - p^3$ ) к подгруппе ( $p^4 - p^6$ ).



**Рис. 3.6.** Изменение орбитального радиуса для подгрупп  $p$ -элементов 6 периода: линии – установленная зависимость; символы – известные данные

Кроме того, для подгруппы ( $p^1 - p^3$ ) наблюдается линейная зависимость орбитального радиуса от номера элемента

$$R_{\text{орб } i} \left[ (p^1 - p^3); 6 \right] = a - b \cdot Z_i \quad (3.4)$$

где  $a, b$  – коэффициенты пропорциональности, установленные для данного соотношения.

Для подгруппы  $(p^4 - p^6)$  наблюдается квадратичная зависимость, которая может быть описана следующим соотношением

$$R_{\text{орб } i} \left[ (p^4 - p^6); 6 \right] = c + d \cdot [Z_i - (Z_{\text{max}} + 1)]^2 \quad (3.5)$$

К сожалению, мы не смогли найти данных по орбитальным радиусам для р-элементов 7 периода. Поэтому мы не можем сказать, каким образом изменяются зависимости орбитального радиуса от номера элемента для подгрупп р-элементов 7 периода.

В таблице 3.1 суммированы установленные коэффициенты пропорциональности в уравнениях (3.1 – 3.4), описывающих изменение орбитального радиуса для выявленных подгрупп семейства р-элементов.

**Таблица 3.1.** Коэффициенты пропорциональности в уравнениях для орбитальных радиусов выделенных подгрупп р-элементов

Периоды	Коэффициенты пропорциональности			
	$(p^1 - p^3)$		$(p^4 - p^6)$	
	a	b	c	d
2	<b>+ 3,4·10<sup>-3</sup></b>	+ 1,90·10 <sup>-3</sup>	<b>+ 3,4·10<sup>-3</sup></b>	+ 1,3·10 <sup>-3</sup>
3	<b>+ 6,8·10<sup>-3</sup></b>	+ 3,07·10 <sup>-3</sup>	<b>+ 6,8·10<sup>-3</sup></b>	+ 2,0·10 <sup>-3</sup>
4	+ 8,3·10 <sup>-3</sup>	<b>+ 1,65·10<sup>-3</sup></b>	+ 9,85·10 <sup>-2</sup>	<b>- 7,6·10<sup>-4</sup></b>
5	+ 9,8·10 <sup>-3</sup>	<b>+ 1,65·10<sup>-3</sup></b>	+ 0,118	<b>- 7,6·10<sup>-4</sup></b>
6	+ 0,942	- 0,01	+ 0,108	+ 1,35·10 <sup>-3</sup>

Результаты, представленные в таблице 3.1, очень четко показывают объединение периодов в классы: второго и третьего, четвертого и пятого, для которых идентичное значение коэффициентов пропорциональности выделено полужирным шрифтом.

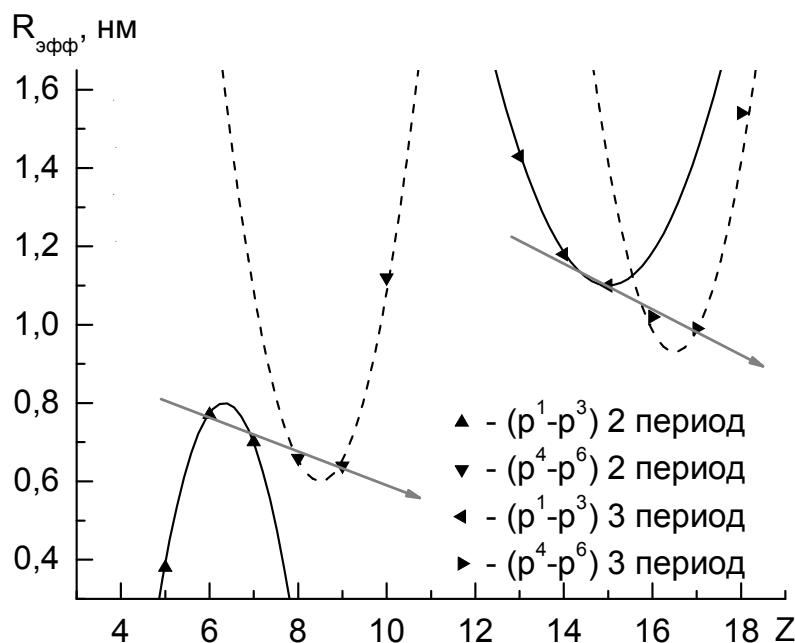
Таким образом, в результате анализа изменения орбитального радиуса в зависимости от номера р-элементов внутри периодов получили следующие результаты:

- все р-элементы делятся на две подгруппы: подгруппа  $(p^1 - p^3)$ , которая характерна тем, что на каждом из р-подуровней содержится только по одному электрону, т.е. эти элементы на р-оболочке содержат только **не спаренные электроны** и подгруппа  $(p^4 - p^6)$ , которая характерна тем, что в р-оболочке появляются **спаренные электроны**, т.е. деление р-элементов на подгруппы происходит в соответствии с правилом заполнения электро-

нами р-орбитали (правилом Гунда);

- второй и третий, четвертый и пятый, а также шестой и, предположительно, седьмой периоды объединяются в группы, которые характерны идентичным видом закономерностей изменения орбитальных радиусов с порядковым номером элемента (см. таблицу 4.1);
- в большинстве случаев изменение орбитального радиуса описывается квадратичными зависимостями, экстремумы которых располагаются в характерных точках (это может быть  $p^1$ -элемент,  $p^6$ -элемент или  $(p^6 + 1)$ -элемент для рассматриваемого периода);
- исключение составляют  $(p^1 - p^3)$ -элементы шестого периода (можно также предположить, что и седьмого периода), для которых наблюдается линейная зависимость орбитального радиуса от номера элемента.

Далее рассмотрим изменение эффективных радиусов для выявленных подгрупп р-элементов, при этом будем использовать представленные выше группировку периодов и деление р-элементов на подгруппы. На рис.3.7 представлено изменение эффективного радиуса для р-элементов 2 и 3 периодов. Если зависимости, представленные на



**Рис. 3.7.** Изменение эффективного радиуса для р-элементов второго и третьего периодов: линии — установленные зависимости; символы — известные данные

рис.3.7, сопоставить с зависимостями, показанными на рис. 3.4, то видно, что эффективные радиусы р-элементов 2 и 3 периодов зависят от номера элемента несколько иначе, чем мы наблюдали для орбитальных радиусов. Но при этом также обнаруживается достаточно четкое деление р-элементов на рассмотренные выше подгруппы.

В частности, с ростом числа электронов на р-орбитали для элементов второго периода наблюдается скачкообразный рост эффективного радиуса при переходе от  $p^1$ -элемента к  $p^2$ -элементу.

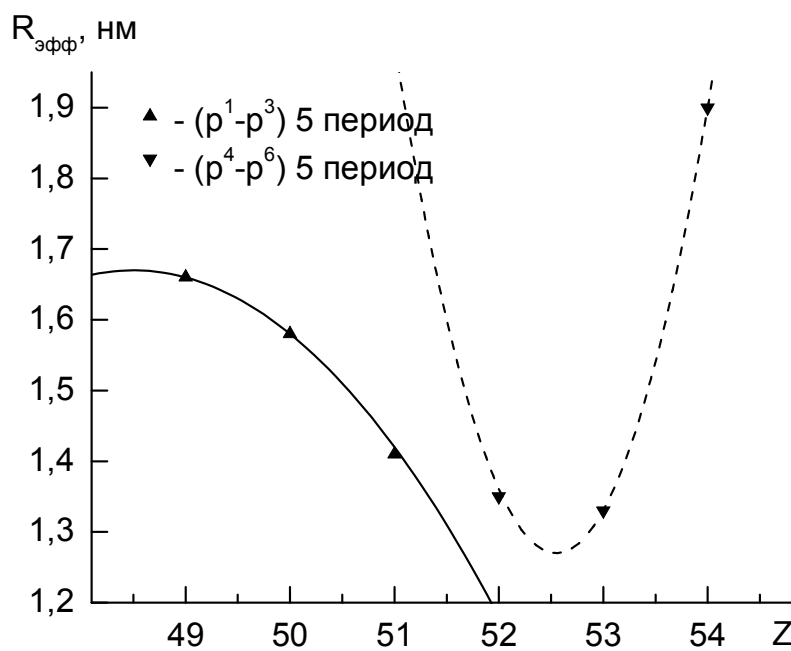
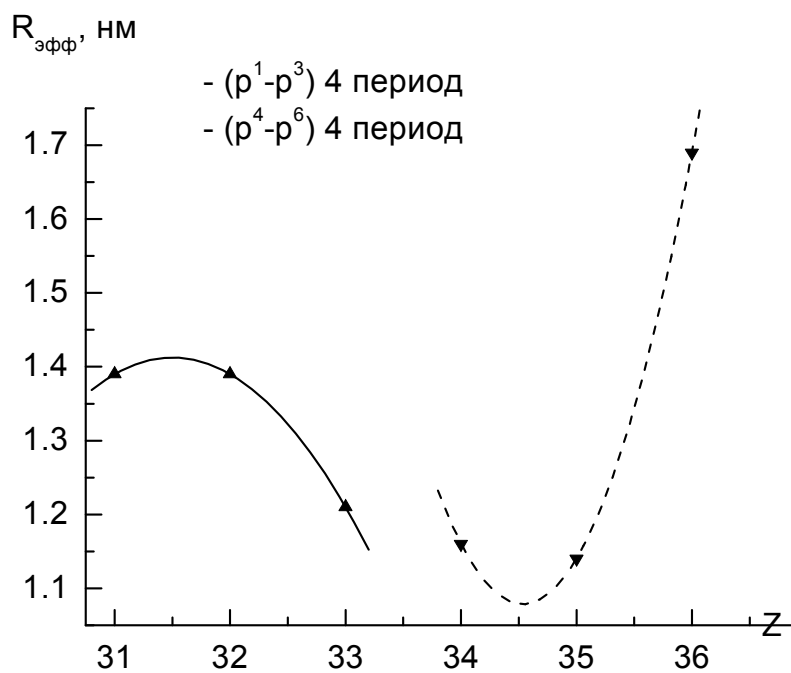
Далее в ряду ( $p^2 - p^5$ ) наблюдается плавное снижение орбитального радиуса (показано стрелкой на рис.3.7). И при переходе от  $p^5$ -элемента к  $p^6$ -элементу опять наблюдаем резкое возрастание эффективного радиуса.

Для р-элементов 3 периода наблюдается резкое снижение эффективного радиуса при переходе от  $p^1$ -элемента к  $p^2$ -элементу, затем происходит плавное снижение эффективного радиуса в ряду ( $p^2 - p^5$ ) (показано стрелкой на рис.3.7). И при переходе от  $p^5$ -элемента к  $p^6$ -элементу наблюдаем резкое возрастание эффективного радиуса. Подобно тому, как мы наблюдали это ранее для р-элементов 2 периода.

Изменение эффективного радиуса для подгрупп р-элементов 2 и 3 периодов описывается квадратичными зависимостями, но их характер отличается от зависимостей, выявленных нами ранее для орбитальных радиусов (3.1, 3.2). В свою очередь, для орбитального радиуса р-элементов 2 и 3 периодов (см. рис.3.4) мы наблюдаем плавное снижение при переходе от  $p^1$ -элемента к  $p^6$ -элементу.

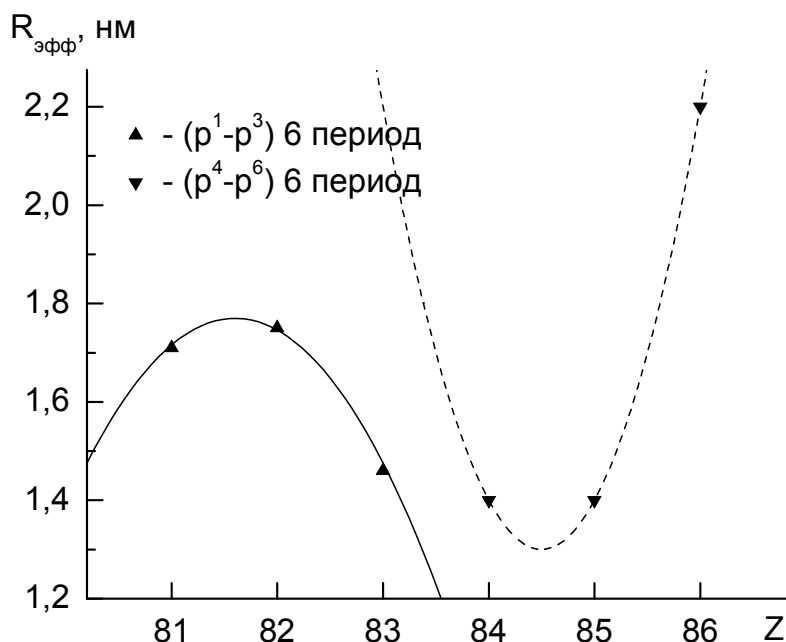
Можно предположить, что такое различие в поведении орбитального и эффективного радиусов р-элементов 2 и 3 периодов обусловлено проявлением «химизма» р-элементов, т.е. их способностью создавать химические соединения. Это предположение основано на том факте, что методы определения эффективного радиуса основаны на анализе химических соединений, которые способны создавать элементы Вещества (в нашем случае р-элементы).

Рассмотрим изменение эффективных радиусов для р-элементов четвертого и пятого периодов, которое показано на рис. 3.8. Здесь также выделяются подгруппы р-элементов. Для 4 и 5 периодов также наблюдается заметное различие в характере изменения эффективного радиуса с номером элемента по сравнению с зависимостью, установленной для орбитального радиуса (сопоставьте с результатами, которые приведены на рис. 3.5). Для р-элементов четвертого и пятого периодов наблюдается плавное снижение эффективного радиуса при переходе от  $p^1$ -элемента к  $p^5$ -элементу и резкое увеличение эффективного радиуса при переходе к



**Рис. 3.8.** Изменение эффективного радиуса для  $p$ -элементов четвертого и пятого периодов: линии – установленные зависимости; символы – известные данные





**Рис. 3.9.** Изменение эффективного радиуса р-элементов 6 периода: линии – установленные зависимости; символы – известные данные;

$p^6$ -элементу. При этом изменение эффективного радиуса внутри подгрупп описывается квадратичными зависимостями, которые по характеру отличаются от квадратичных зависимостей установленных ранее для орбитальных радиусов (см. рис.3.5).

Можно предположить, как и в предыдущем случае, что такое различие между орбитальным и эффективным радиусами обусловлено проявлением «химизма» элементов при определении эффективных радиусов.

Далее рассмотрим изменение эффективных радиусов р-элементов шестого периода, которое показано на рис.3.9.

Из представленных результатов видно, что и в этом случае наблюдается отличие от зависимостей, которые были получены ранее для орбитальных радиусов р-элементов шестого периода (см. рис. 3.6). Как и в предыдущих случаях наблюдается плавное снижение эффективного радиуса при переходе от  $p^1$ -элемента к  $p^5$ -элементу и резкое повышение эффективного радиуса при переходе от  $p^5$ -элемента к  $p^6$ -элементу.

Таким образом, мы рассмотрели изменение эффективных радиусов в зависимости от номера для р-элементов различных периодов и сопоставили выявленные закономерности. Прежде всего, для эффективных радиусов наблюдается то же самое деление р-элементов на выявленные

ранее подгруппы. При этом установлено, что характер изменения орбитального радиуса отличается от характера изменения эффективного радиуса.

Сделано предположение, что наблюдаемое отличие между закономерностями, описывающими изменение орбитальных радиусов, и закономерностями, описывающими изменение эффективных радиусов, обусловлено проявлением «химизма» р-элементов, т.е. их способностью создавать различные химические соединения с другими элементами Вещества. Это предположение основано на том факте, что определение эффективного радиуса производится по результатам анализа химических соединений, образуемых р-элементами и элементами Вещества другого типа.

Далее рассмотрим общий характер изменения эффективных радиусов р-элементов различных периодов системы. Из рис. 3.7 – 3.9 видно, что изменение эффективного радиуса ( $p^1 - p^3$ )-элементов для всех рассматриваемых периодов может быть описано одним и тем же соотношением

$$R_{\text{эфф } i} \left[ (p^1 - p^3); n_e \right] = a(n_e) + b(n_e) \cdot [Z_i - c(n_e)]^2 \quad (3.6)$$

где  $R_{\text{эфф } i}$  – эффективный радиус  $i$ -того элемента подгруппы ( $p^1 - p^3$ ) для рассматриваемого периода  $n_e$ , нм;  $a(n_e)$ ,  $b(n_e)$ ,  $c(n_e)$  – коэффициенты пропорциональности, величина которых определяется номером периода ПСАЭВ  $n_e$ .

Основная особенность заключается в том, что для всех периодов коэффициент  $b$  в соотношении (3.6) меньше нуля за исключением третьего периода, для которого  $b > 0$ . Возможно, такое поведение эффективного радиуса обусловлено тем, что в данном периоде вместо новой электронной орбитали d-типа происходит дублирование оболочки р-типа.

Для элементов подгруппы ( $p^4 - p^6$ ) изменение эффективного радиуса описывается идентичным по виду соотношением (3.6), но только со своими значениями коэффициентов пропорциональности  $a_1$ ,  $b_1$  и  $c_1$

$$R_{\text{эфф } i} \left[ (p^4 - p^6); n_e \right] = a_1(n_e) + b_1(n_e) \cdot [Z_i - c_1(n_e)]^2 \quad (3.7)$$

Кроме того, замечена следующая особенность выявленных закономерностей. Если в соотношениях (3.3 – 3.5), которые описывают изменение орбитального радиуса, экстремумы приходятся на целое число  $Z$ ,

которое расположено вблизи  $p^1$ - или  $p^6$ -элемента, то соответствующие экстремумы для в соотношениях (3.6 – 3.7), которые описывают изменение эффективного радиуса, отличаются от целых чисел.

В таблице 3.2 суммированы полученные коэффициенты для уравнений, описывающих изменение эффективного радиуса для выделенных подгрупп р-элементов.

**Таблица 3.1.** Коэффициенты пропорциональности в уравнениях для эффективных радиусов выделенных подгрупп р-элементов

Периоды	Коэффициенты пропорциональности					
	$(p^1 - p^3)$			$(p^4 - p^6)$		
	a	b	c	a <sub>1</sub>	b <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>
2	+ 0,80	- 0,230	+ 6,33	+ 1,10	+ 0,085	+ 15,0
3	+ 0,60	+ 0,215	+ 8,50	+ 0,930	+ 0,215	+ 16,5
4	+ 1,41	- 0,085	- 31,5	+ 1,075	+ 0,285	- 34,5
5	+ 1,67	- 0,04	- 48,5	+ 1,27	+ 0,3	-52,5
6	+ 1,03	+ 0.40	- 84,5	+ 1,77	- 0,15	- 86,5

Суммируем основные результаты, полученные в результате анализа изменения орбитального и эффективного радиусов атомов р-элементов в зависимости от их порядкового номера и положения в ПСАЭВ, которое определяется периодом.

Прежде всего, следует отметить, что орбитальный и эффективный радиусы атомов наглядно отражают закономерности изменения строения электронных орбиталей р-элементов и определяются порядковым номером элемента  $Z$  и номером периода.

По характеру изменения орбитального и эффективного радиусов атомов все р-элементы распадаются на две характерные подгруппы:  $(p^1 - p^3)$  – и  $(p^4 - p^6)$  – подгруппы, которые отражают порядок заполнения электронами р-орбиталей.

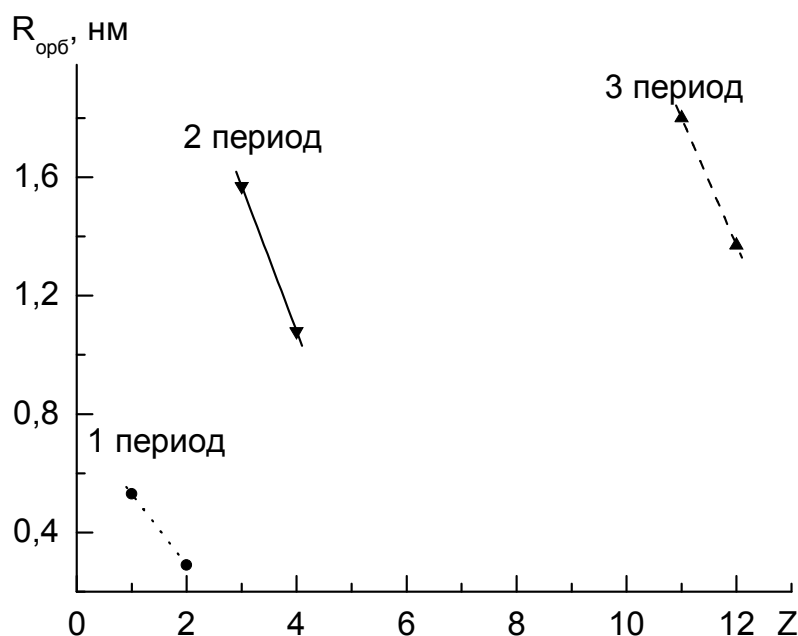
Можно предположить, что различие в поведении орбитального и эффективного радиусов обусловлено проявлением «химизма» р-элементов, т.е. их способностью создавать химические соединения.

Идентичный характер установленных зависимостей позволяет объединить периоды ПСАЭВ следующим образом: второй и третий, четвертый и пятый, шестой и (предположительно) седьмой.

### 3.1.2 ss- Элементы

Рассмотрим изменение орбитального и эффективного радиусов для ss-элементов (см. таблицу 2.6, рис. 2.7), при этом будем использовать тот же самый подход, что и для p-элементов. В данном случае изменение орбитального радиуса для ss-элементов 5, 6 и 7 периодов будем рассматривать вместе с орбитальным радиусом d<sup>1</sup>-элементов. О таком объединении мы уже говорили ранее [1].

На рис. 3.10 показано изменение орбитального радиуса для ss-элементов. Видно, что мы наблюдаем результаты, которые заметно отличаются от результатов, полученных ранее для p-элементов.



**Рис. 3.10** Изменение орбитального радиуса ss-элементов первого, второго и третьего периодов в зависимости от порядкового номера: символы – данные для элементов; линии – результат статистической обработки

Для первого, второго и третьего периодов наблюдается снижение орбитального радиуса с ростом номера элемента внутри периода, подобно тому, как мы это наблюдали ранее для p-элементов.

Во всех трех случаях можно предполагать, что зависимость орбитального радиуса от номера элемента описывается линейной функцией следующего вида

$$R_{orb}(ss, \text{периоды } 1, 2, 3) = a - b \cdot Z \quad (3.8)$$

Таким образом, мы можем объединить в одну группу три первых периода ПСАЭВ. Такое объединение появляется впервые.

Если объединяем три указанных выше периода, то тогда мы можем рассмотреть изменения орбитальных радиусов  $ss^1$ - и  $ss^2$ -элементов внутри выделенной группы. Полученные результаты показаны на рис. 3.11, где рассматриваемую зависимость мы представили в виде зависимости, как от номера элемента, так и от номера периода. Видно, что изменение орбитального радиуса внутри выделенной группы периодов достаточно хорошо описывается идентичной зависимостью. При этом, коэффициенты пропорциональности, которые входят в эту зависимость, определяются порядковым номером элемента и номером периода.

На рис. 3.12 показано изменение орбитального радиуса  $ss$ -элементов для четвертого, пятого и шестого периодов ПСАЭВ. В данном случае к  $ss$ -элементам добавлен  $d^1$ -элемент соответствующего периода. Из рис. 3.12 следует, что можно объединить в одну группу четвертый, пятый и шестой периоды, для которых наблюдается идентичная зависимость орбитального радиуса от номера  $ss$ -элемента.

В общем случае установленные зависимости для четвертого, пятого и шестого периодов можно описать следующим соотношением

$$R_{orb i}(ss + d^1) = a(n_e) + 0,15 \cdot [Z_i - Z(d_n^1)]^2 \quad (3.10)$$

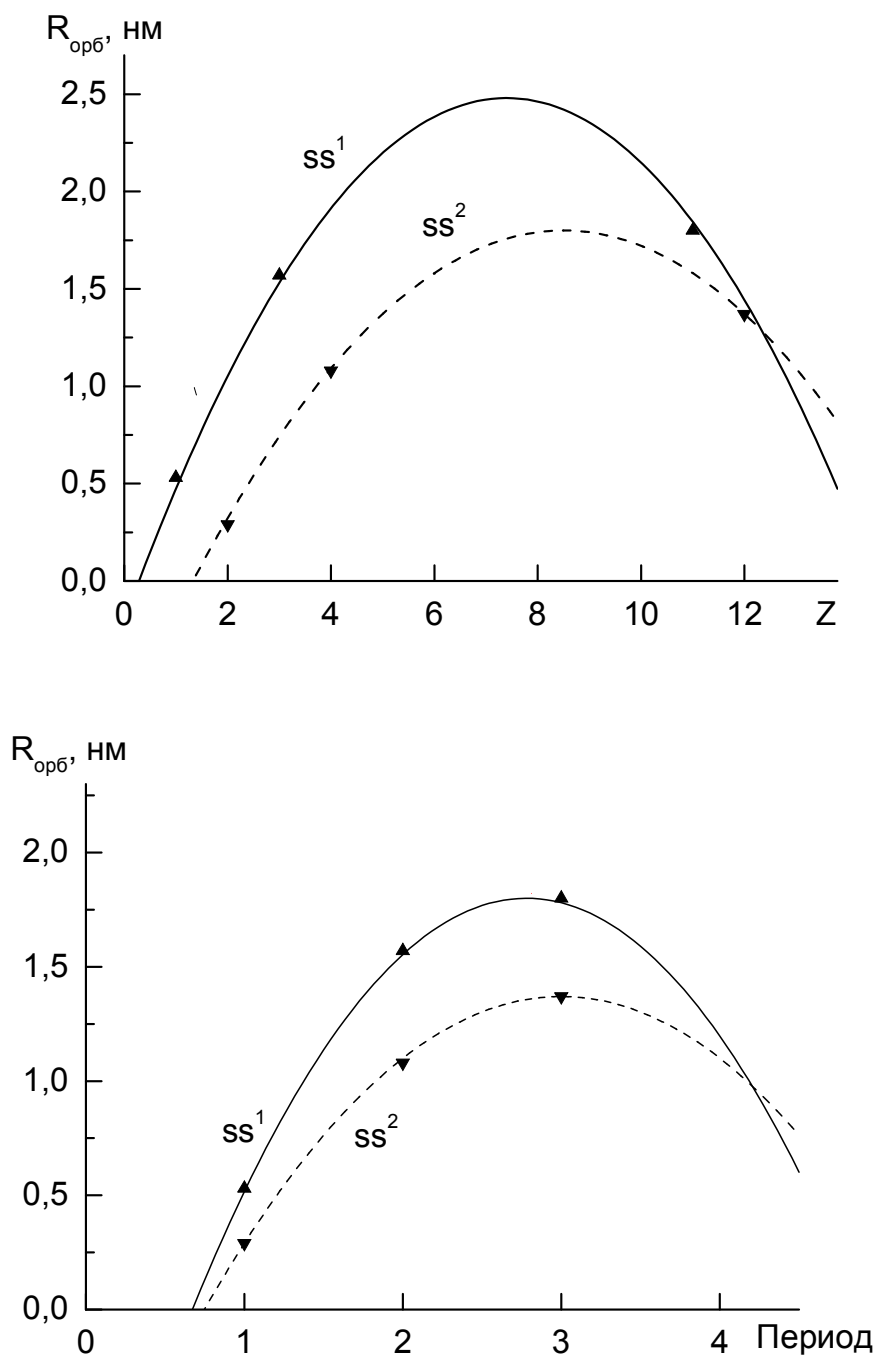
здесь  $a(n_e)$  – коэффициент пропорциональности, величина которого определяется номером периода, как это показано на рис. 3.13;  $Z(d_n^1)$  – величина равная порядковому номеру  $d^1$ -элемента для рассматриваемого периода  $n_e$ , т.е. минимум установленной зависимости для орбитального радиуса приходится на номер добавленного  $d^1$ -элемента.

Аналогичным образом можно представить изменение орбитального радиуса  $ss$ - и  $d^1$ -элементов рассматриваемых периодов, в зависимости от номера периода, которое показано на рис. 3.14.

Таким образом, из представленных результатов видно, что в данном случае мы наблюдаем достаточно четкое объединение четвертого и пятого, а также шестого и седьмого периодов в классы. Подобное объединение периодов мы уже наблюдали ранее.

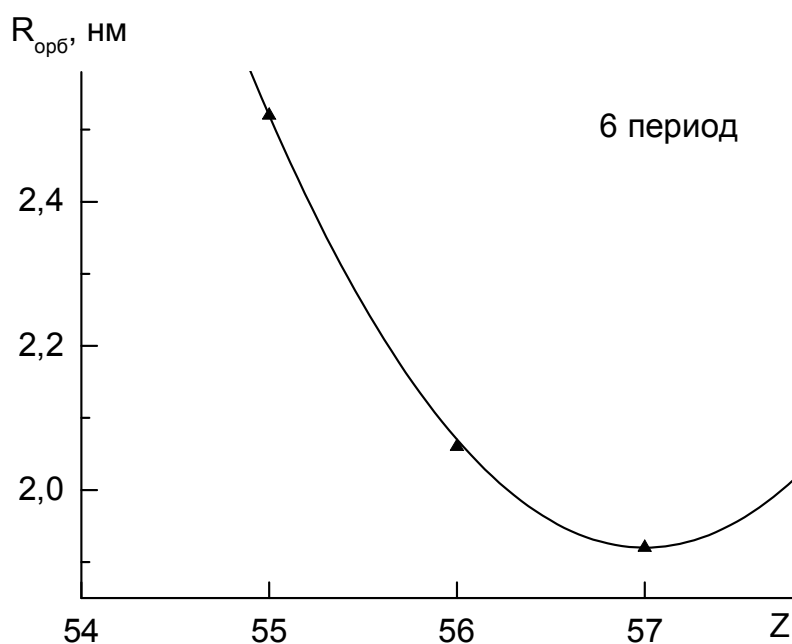
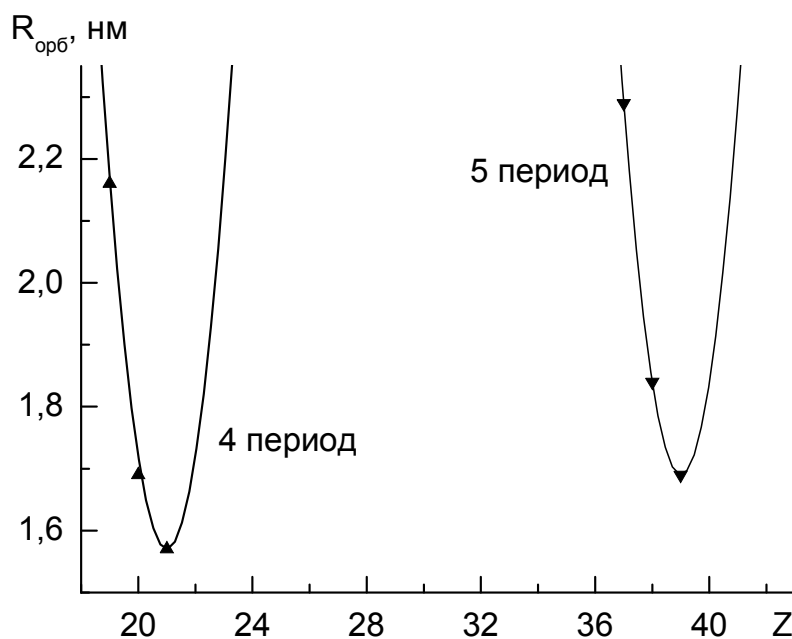
Таким образом, в результате анализа орбитального радиуса  $ss$ -элементов выделены две характерные группы периодов:

- Первая группа периодов объединяет первый, второй и третий

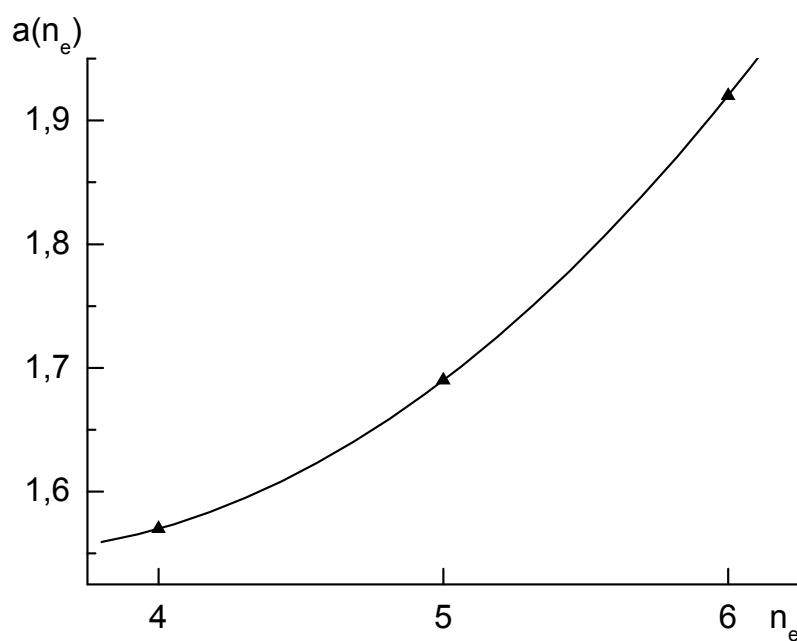


**Рис. 3.11.** Изменение орбитального радиуса  $ss$ - для группы периодов (1 + 2 + 3) в зависимости от номера элемента и от номера периода: символы – данные для элементов; числа – номера периодов; линии – результат статистической обработки

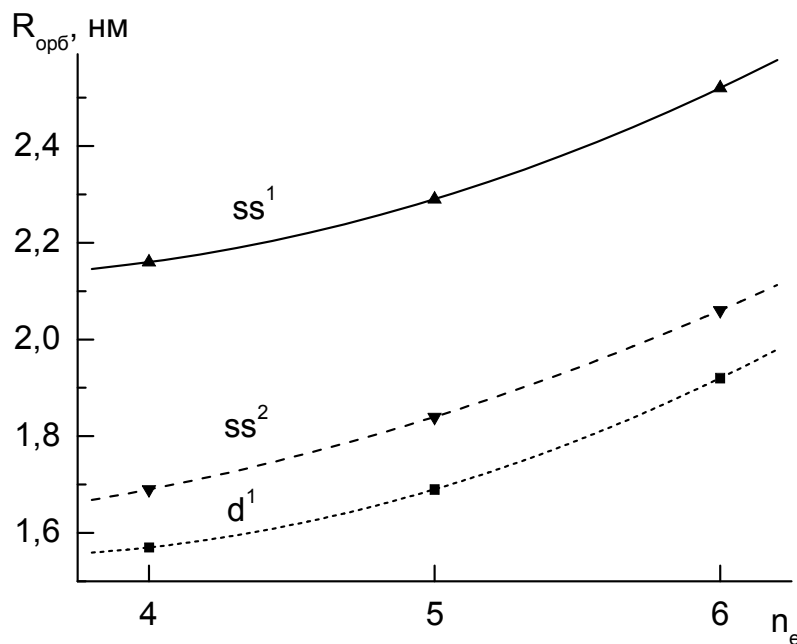




**Рис. 3.12.** Изменение орбитального радиуса  $ss$ -элементов четвертого, пятого и шестого периодов, к которым добавлены  $d^1$ -элементы, в зависимости от порядкового номера: символы – данные для элементов; числа – номера периодов; линии – результат статистической обработки



**Рис. 3.13.** Изменение коэффициента  $a(n)$  в соотношении (3.10) для группы периодов (4 + 5 + 6) при переходе от периода к периоду

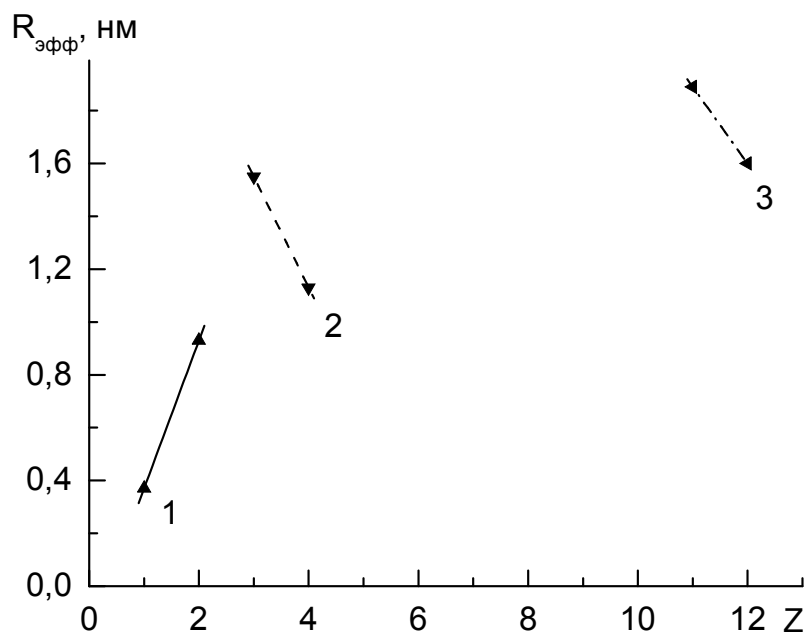


**Рис. 3.14.** Изменение орбитального радиуса  $ss$ - и  $d^1$ -элементов четвертого, пятого и шестого периодов в зависимости от номера периода

периоды. Изменение орбитального радиуса линейно снижается внутри периода, а при переходе от периода к периоду описывается квадратичной зависимостью.

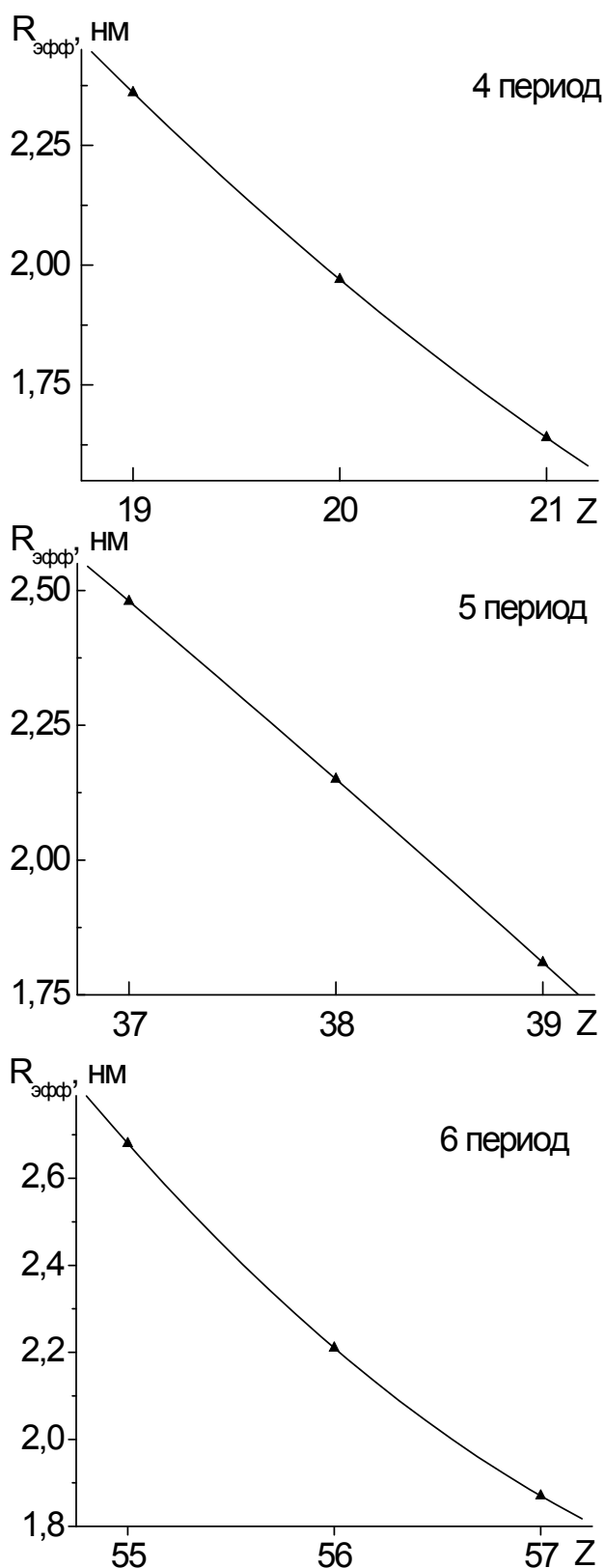
- Вторая группа периодов объединяет четвертый, пятый и шестой периоды. В этой группе к ss-элементам мы добавили  $d^1$ -элементы и рассматриваем эту совокупность вместе. В данном случае изменение орбитального радиуса внутри каждого из периодов описывается идентичной по виду квадратичной зависимостью от номера элемента. Для всех периодов, объединенных в данную группу, минимум зависимости соответствует номеру  $d^1$ -элемента рассматриваемого периода.

Теперь рассмотрим изменение эффективного радиуса в зависимости от номера элемента, которое показано на рис.3.15 и рис. 3.16 для ss-элементов различных периодов. При этом к ss-элементам четвертого, пятого и шестого периодов добавим  $d^1$ -элементы, поскольку ранее мы уже показали эффективность такого объединения.



**Рис. 3.15.** Изменение эффективного радиуса для ss-элементов в зависимости от порядкового номера для 1, 2 и 3 периодов: числа – номера периодов; линии – установленные зависимости; символы – известные данные

ss-Элементы первого периода показывают результаты, которые существенно отличаются от остальных. В этом случае рост числа электронов в s-оболочке сопровождается ростом эффективного радиуса, в то



**Рис. 3.16.** Изменение эффективного радиуса для (ss+d)-элементов в зависимости от порядкового номера для 1, 2 и 3 периодов: числа – номера периодов; линии – установленные зависимости; символы – известные данные

время как орбитальный радиус уменьшался. Для остальных периодов мы наблюдаем снижение эффективного радиуса при росте числа электронов. Но мы уже отмечали ранее, что гелий является единственным благородным газом s-типа, тогда получаем, что при анализе эффективного радиуса ss-элементы первого периода мы должны рассматривать отдельно от других периодов, т.е. мы наблюдаем обособление первого периода.

Таким образом, если для орбитального радиуса ранее мы наблюдали группировку первого, второго и третьего периодов, то для эффективного радиуса получаем линейные зависимости для второго и третьего периодов, когда с ростом  $Z$  падает эффективный радиус и аномальную зависимость для первого периода.

Четвертый, пятый и шестой периоды (рис.3.12), которые мы объединяли ранее в одну группу по результатам анализа орбитального радиуса, для случая эффективного радиуса ведут себя иначе. При этом для четных периодов наблюдается снижение эффективного радиуса пропорционально квадрату номера элемента, а для нечетного периода – эффективный радиус снижается пропорционально  $Z$ .

Напомним принципиальное различие между орбитальными и эффективным радиусами. Орбитальный радиус характеризует геометрические размеры изолированного атома. В этом случае мы имеем ядро, сформированное по законам ядерной физики, и электронную оболочку, сформированную по законам атомной физики, которые образуют атом элемента при полном отсутствии каких-либо внешних сил.

Эффективный радиус, в свою очередь, характеризует размеры атома (в некоторых случаях иона) при условии действия сил связи между отдельными ионами и атомами. Т.е. в этом случае действуют не только собственные внутренние силы атома, но внешние силы взаимодействия атомов (ионов) друг с другом. Т.е. эффективный радиус отражает «химизм» взаимодействия атомов элементов Вещества.

Указанными выше факторами, наверное, и следует объяснять различие в поведении орбитального и эффективного радиусов элементов.

Суммируем основные результаты анализа орбитального и эффективного радиусов атомов ss-элементов в зависимости от их порядкового номера. Для орбитальных радиусов наблюдается объединение периодов в группы: объединяются 1, 2, 3 периоды и 4, 5, 6 периоды. При этом с ростом номера элемента (с ростом числа электронов) орбитальный радиус уменьшается. Добавление в эту группу  $d^1$ -элементов позволяет ввести одну и ту же зависимость, при этом минимум соответствует положению  $d^1$ -элемента.

Для эффективных радиусов периоды объединяются следующим

образом:

- Первый период имеет собственную зависимость, аналога которой далее нет. Он характеризуется наличием у элементов электронной оболочки только s-типа и ростом эффективного радиуса с ростом номера элемента.
- Второй и третий периоды характеризуются линейным снижением эффективного радиуса с ростом номера элемента.
- Четвертый и шестой периоды характеризуются снижением эффективного радиуса пропорционально квадрату номера элемента.
- Для пятого периода наблюдается снижение эффективного радиуса с ростом номера элемента по линейному закону.

### 3.1.3 d-ЭЛЕМЕНТЫ

Как и в предыдущих случаях, вначале рассмотрим закономерности изменения орбитального радиуса, а затем рассмотрим аналогичные закономерности для эффективного радиуса d-элементов. Общий анализ закономерностей изменения орбитального радиуса показывает, что, как и в рассмотренных ранее случаях, полное заполнение d-орбитали приводит к уменьшению орбитального радиуса d-элементов. При построении этих зависимостей мы исключили из рассмотрения  $d^1$ -элементы, поскольку мы рассмотрели ранее совместно с ss-элементами.

На рис. 3.17 показано изменение орбитального радиуса в зависимости от порядкового номера d-элемента для различных периодов ПСАЭВ. Видно, что с ростом количества электронов на d-орбитали орбитальный радиус уменьшается, подобно тому, как это мы наблюдали ранее для рассмотренных выше групп элементов. Кроме того, видно четкое деление d-элементов на три подгруппы по три элемента и отдельно  $d^1$ :

- подгруппа  $d^1$  (выделена нами ранее при анализе радиусов ss-элементов);
- подгруппа ( $d^2 - d^4$ );
- подгруппа ( $d^5 - d^7$ );
- подгруппа ( $d^8 - d^{10}$ );

При этом следует помнить, что  $d^1$ -элемент отнесен нами ранее к ss-элементам, т.е. среди d-элементов он образует свою отдельную подгруппу. Для каждой из выделенных подгрупп d-элементов наблюдается очень специфическое изменение закономерности для орбитального радиуса при переходе от периода к периоду.

На рис. 3.18 показано изменение эффективного радиуса d-элементов различных периодов. Для эффективных радиусов наблюдается несколько иные закономерности для различных периодов. При этом выделяются те же самые подгруппы элементов, которые мы наблюдали ранее для орбитальных радиусов. Основное отличие заключается в том, что если орбитальные радиусы снижаются при переходе от подгруппы к подгрупп в указанном выше направлении, то для эффективных радиусов наблюдаются минимальные значения для второй подгруппы, а для третьей подгруппы эффективный радиус начинает возрастать и для шестого периода практически сравнивается с значениями эффективного радиуса для первой подгруппы.

Поскольку ранее для p-элементов было показано, что характерное распределение элементов на подгруппы отражает порядок заполнения электронами соответствующих электронных орбиталей, то можно предположить, что выявленные подгруппы d-элементов также отражают порядок заполнения электронами d-орбитали.

Таким образом, полученные результаты позволяют предположить, что порядок заполнения d-орбитали для элементов 4 периода Периодической системы, скорее всего, существенно отличается от того, который был записан нами ранее (см. рис. 2.6).

Суммируем основные результаты, полученные при анализе изменения орбитального и эффективного радиусов атомов d-элементов.

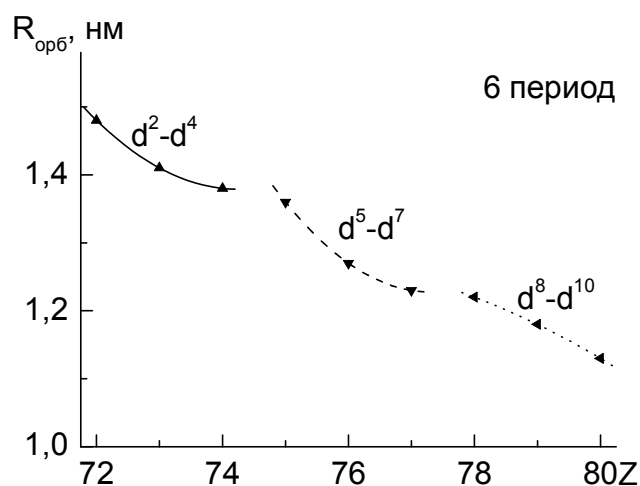
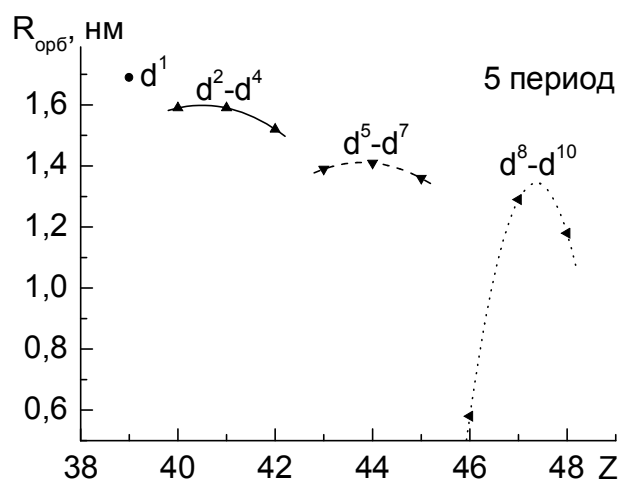
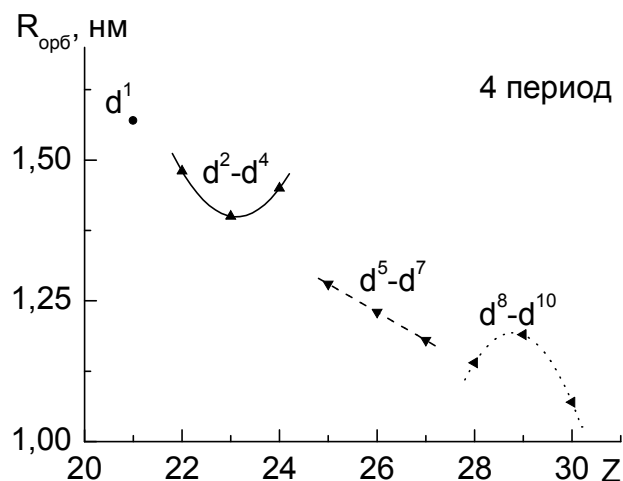
Все d-элементы во всех периодах можно подразделить на четыре характерные подгруппы группы:

- первая подгруппа группа –  $d^1$ -элементы;
- вторая подгруппа группа –  $(d^2-d^4)$  – элементы;
- третья подгруппа группа –  $(d^5-d^7)$  – элементы;
- четвертая подгруппа группа –  $(d^8-d^{10})$  – элементы.

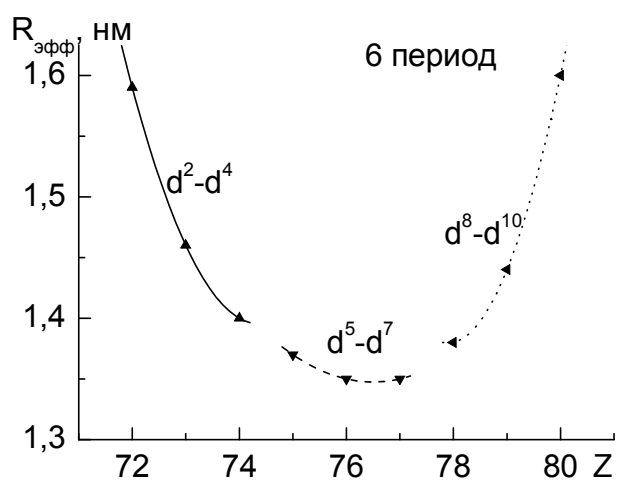
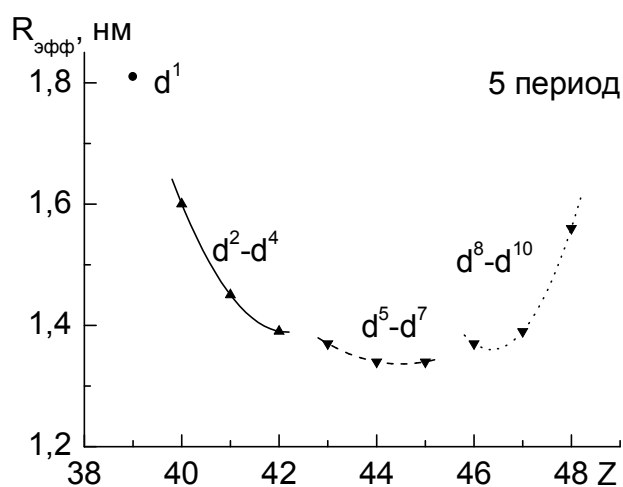
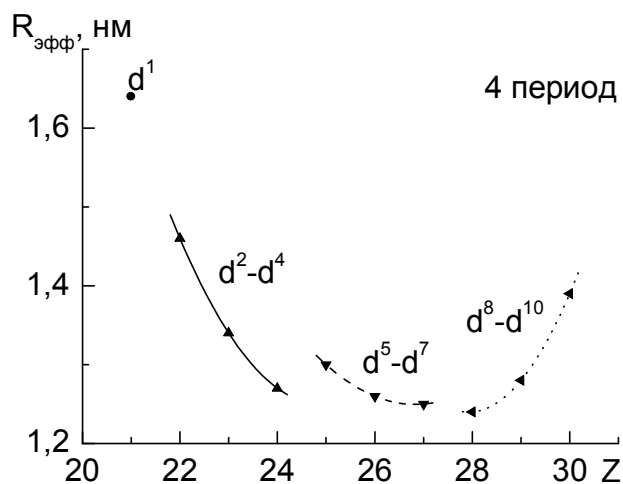
Прежде всего, как и в предыдущих случаях с ростом числа электронов на электронной орбитали d-типа наблюдается снижение орбитального радиуса. Для эффективного радиуса отличие состоит в том, что для подгруппы  $(d^8-d^{10})$  наблюдается рост эффективного радиуса, в то время как для остальных подгрупп наблюдается снижение эффективного радиуса по мере роста числа электронов на заполняемой в данном периоде d-орбитали.

Изменение орбитального радиуса внутри периода в выделенных подгруппах в большинстве случаев происходит пропорционально квадрату порядкового номера элемента.





**Рис. 3.17.** Изменение орбитального радиуса  $d$ -элементов в зависимости от номера элемента символы – известные данные; линии – результат статистической обработки



**Рис. 3.18.** Изменение эффективного радиуса  $d$ -элементов в зависимости от номера элемента символы – известные данные; линии - результат статистической обработки

### 3.1.4 f-ЭЛЕМЕНТЫ

На рис. 3.19 показано изменение орбитального и эффективного радиусов для f-элементов шестого периода. К сожалению, для f-элементов 7 периода данные о размерах атомов отсутствуют, но можно предполагать, что для них будут наблюдаться закономерности подобные закономерностям для f-элементов шестого периода.

Видно, что f-элементы шестого периода распадаются на четыре характерные группы как по данным для орбитального радиуса, так и по данным для эффективного радиуса:

- первую группу ( $f^1$ - $f^4$ ) образуют четыре элемента – церий, празеодим, неодим и прометий;
- вторую группу ( $f^5$ - $f^7$ ) образуют три элемента – самарий, европий и гадолиний;
- третью группу ( $f^8$ - $f^{11}$ ) вновь образуют четыре элемента – тербий, диспрозий, гольмий и эрбий;
- четвертую группу ( $f^{12}$ - $f^{14}$ ) образуют три элемента – тулий, иттербий и лютеций.

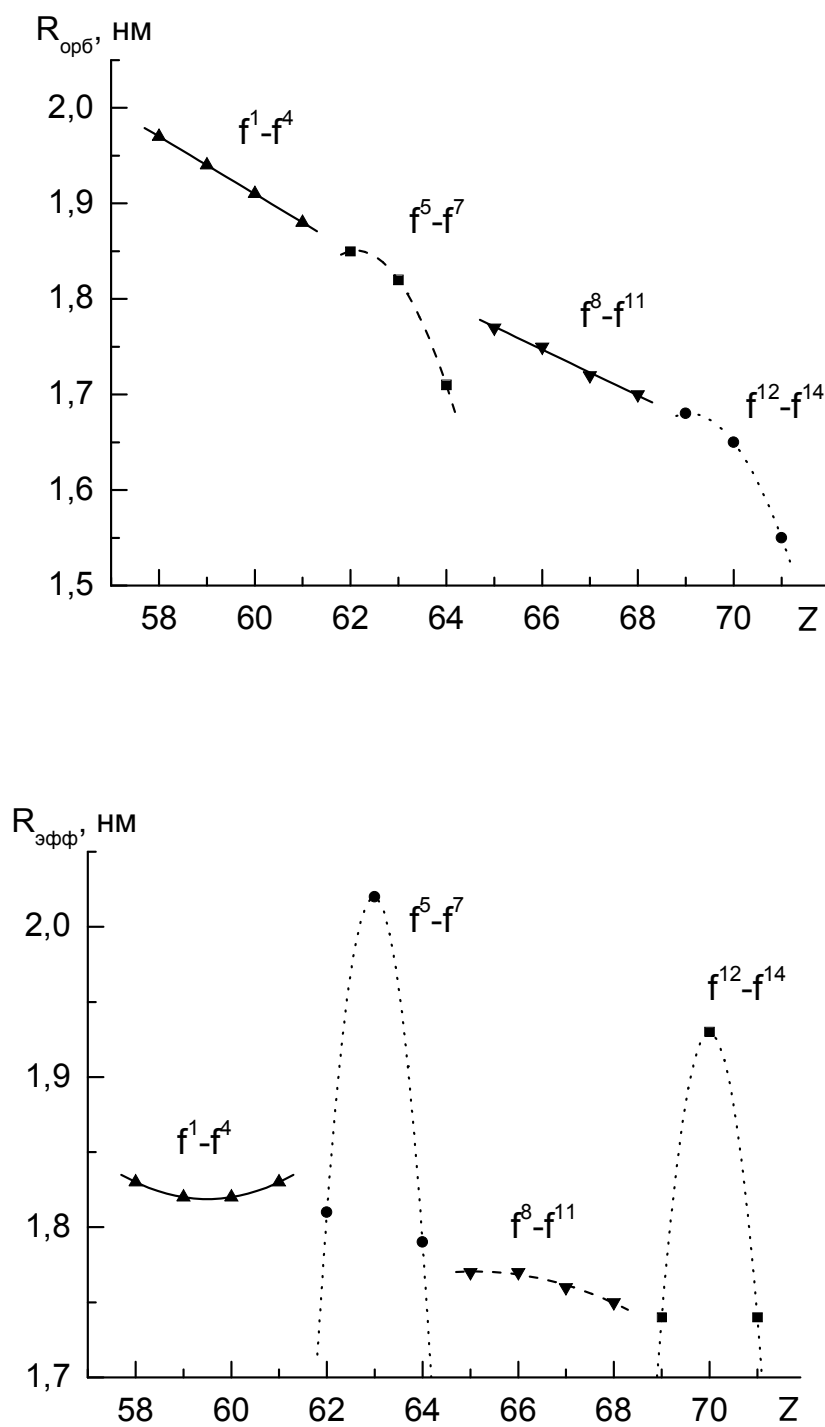
Между выявленными группами f-элементов просматривается своя определенная связь. В первую и третью группы входит по четыре элемента и для них орбитальный радиус уменьшается линейно с ростом номера элемента, а эффективный радиус изменяется по квадратичному закону от номера элемента, максимум зависимости приходится на начало группы.

Во вторую и третью группу входит по три элемента, при этом орбитальный радиус для этих групп уменьшается от максимального значения пропорционально квадрату номера элемента. Эффективный радиус также изменяется по квадратичному закону, но максимум зависимости приходится практически на середину группы.

В заключение данного раздела работы обобщим полученные результаты и промежуточные выводы.

Деление элементов на различные подвиды в зависимости от строения электронных оболочек позволяет достаточно легко выполнить анализ изменения геометрических размеров атомов в зависимости от порядкового номера элементов. Орбитальный и эффективный радиусы атомов элементов отражают строение электронной оболочки и изменяются в зависимости от порядкового номера элемента.

Существует заметное различие в поведении орбитального и эффективного радиусов, которое можно объяснить следующим образом.



**Рис. 3.19.** Изменение орбитального и эффективного радиусов  $f$ -элементов шестого периода в зависимости от порядкового номера элементов

Орбитальный радиус характеризует геометрические размеры изолированного атома. В этом случае мы имеем ядро, сформированное по законам ядерной физики, и электронную оболочку, сформированную по законам атомной физики, которые образуют атом элемента при полном отсутствии каких-либо внешних сил.

Эффективный радиус характеризует размеры атома (в некоторых случаях иона) при условии действия сил связи между отдельными ионами и атомами. Т.е. в этом случае действуют не только собственные внутренние силы атома, но внешние силы взаимодействия атомов (ионов) друг с другом. Т.е. эффективный радиус отражает «химизм» взаимодействия атомов элементов Вещества.

Практически во всех случаях, с ростом порядкового номера элемента (т. е. по мере заполнения электронами электронных орбиталей), наблюдается уменьшение орбитального радиуса, но имеются и отличия от данного поведения.

р-Элементы, d-элементы и f-элементы подразделяются на характерные подгруппы группы внутри каждого из периодов. При этом для р-элементов выделяются следующие подгруппы:

- первую подгруппу образуют элементы ( $p^1$ - $p^3$ ), которые характерны тем, что в соответствии с правилом заполнения р-орбитали (см. раздел 2.3), эти элементы содержат только не спаренные электроны на р-орбитали;
- вторую подгруппу образуют элементы ( $p^4$ - $p^6$ ), которые характерны тем, что хотя бы на одной из р-орбиталей имеются спаренные электроны.

Таким образом, деление р-элементов на подгруппы, выявленное при анализе закономерностей изменения орбитального и эффективного радиусов практически отражает порядок заполнения электронами р-оболочки.

Для d-элементов выделены следующие подгруппы:

- первая подгруппа группы –  $d^1$ -элементы;
- вторая подгруппа группы – ( $d^2$ - $d^4$ ) – элементы;
- третья подгруппа группы – ( $d^5$ - $d^7$ ) – элементы;
- четвертая подгруппа группы – ( $d^8$ - $d^{10}$ ) – элементы.

При этом  $d^1$ -элементы образуют единую подгруппу с соответствующими ss-элементами и в этом случае изменение как орбитального, так и эффективного радиуса описывается идентичным соотношением.

f-Элементы шестого периода распадаются на четыре характерные подгруппы группы как по данным для орбитального радиуса, так и по данным для эффективного радиуса:

- первую подгруппу ( $f^1-f^4$ ) образуют четыре элемента – церий, празеодим, неодим и прометий;
- вторую подгруппу ( $f^5-f^7$ ) образуют три элемента – самарий, европий и гадолиний;
- третью подгруппу ( $f^8-f^{11}$ ) вновь образуют четыре элемента – тербий, диспрозий, гольмий и эрбий;
- четвертую подгруппу ( $f^{12}-f^{14}$ ) образуют три элемента – тулий, иттербий и лютеций.

Поскольку деление р-элементов на характерные подгруппы фактически отражает порядок заполнения электронами р-орбитали, то можно предположить, что и для остальных типов элементов выделенные подгруппы также отражают порядок заполнения соответствующих оболочек.

### 3.2 ЭНЕРГИЯ ИОНИЗАЦИИ АТОМОВ

Одним из важнейших свойств элементов, связанных со строением электронной оболочки атома является энергия ионизации (потенциал ионизации). Энергия ионизации представляет собой энергию необходимую для отрыва наиболее слабо связанного электрона от атома, который находится в нормальном состоянии, т. е. не возбужден.

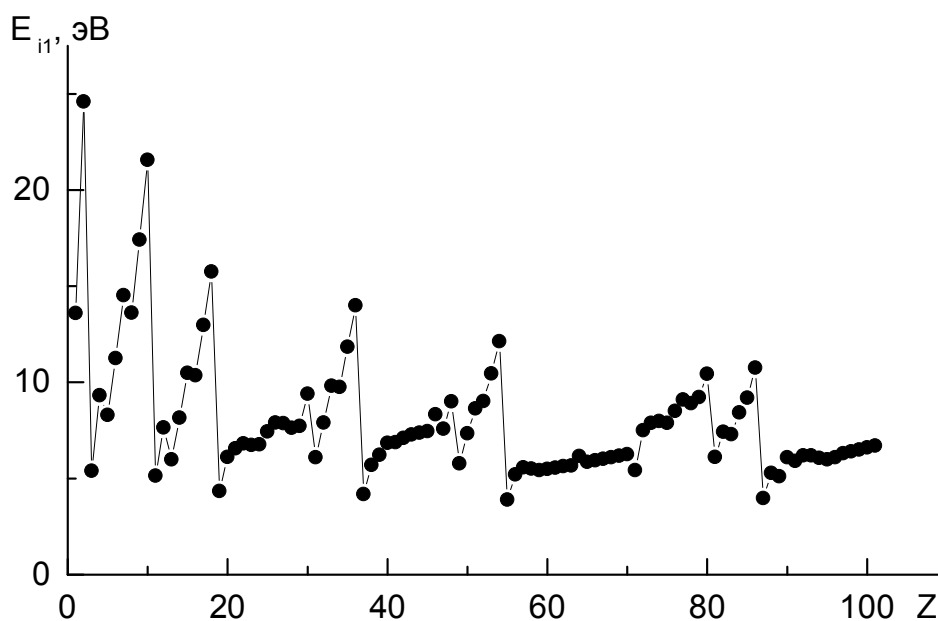
Можно выделить несколько значений энергии ионизации: первая энергия ионизации  $E_{i1}$  – энергия необходимая для отрыва одного электрона; вторая энергия ионизации  $E_{i2}$  – энергия необходимая для отрыва второго электрона и т. д.

Энергию ионизации обычно приводят в электрон-вольтах, поскольку величина электрического потенциала, которую необходимо приложить для отрыва электрона от атома, выраженная в вольтах численно равна работе отрыва электрона. В принципе от атома можно удалить все электроны, сообщая некоторые дискретные потенциалы ионизации. Во всех случаях последующий потенциал ионизации всегда больше предыдущего. На наш взгляд следует отметить, что такое гипотетическое удаление электронов должно быть ограничено, поскольку обязательно должен быть некий порог, когда удаление порогового количества электронов приведет к распаду атома, поскольку ядро атома элемента не может существовать без электронной оболочки достаточно долго. Именно равновесие между ядром и электронной оболочкой атома должно быть основой его стабильности, поэтому нарушение нуклонного состава ядер (ядерная реакция) приводит к распаду атома и, соответственно, нарушение состава электронной оболочки точно также должно приводить к распаду атома.

Энергию ионизации можно описать соотношением (2.2) представив ее как энергию необходимую для возбуждения электрона при его удалении в бесконечность. Тогда получаем, что энергия ионизации должна изменяться прямо пропорционально квадрату номера элемента и обратно пропорционально квадрату главного квантового числа  $n_e$ . Поскольку для ПСАЭВ номер периода является главным квантовым числом, то энергия ионизации должна быть обратно пропорциональна квадрату номера периода.

Так как энергия ионизации является функцией строения электронной оболочки атома, то для нее обнаруживается определенная периодичность, как это показано на рис. 3.20, где представлено общепринятое представление первой энергии ионизации.



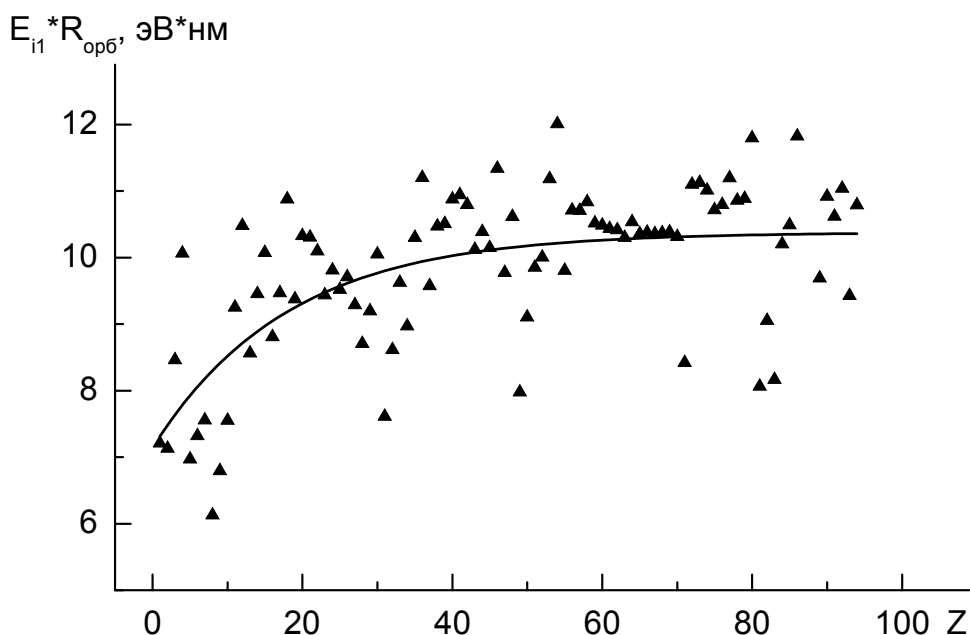


**Рис. 3.20.** Изменение первой энергии ионизации в зависимости от порядкового номера элемента

Если сопоставить изменение энергии ионизации и изменение орбитального и эффективного радиусов атомов (см. рис. 3.1, рис.3.2), то видно, что эти две величины хорошо коррелируют, изменяясь обратно пропорционально друг другу.

Т.е. наблюдается следующая закономерность. В начале периода ПСАЭВ наблюдается максимальное значение размеров атомов и, соответственно, минимальное значение энергии ионизации. С ростом номера элемента к концу периода наблюдается уменьшение размеров атомов, которое сопровождается соответствующим увеличением энергии ионизации. Такая связь между этими величинами наглядно показана на рис. 3.21, где представлена зависимость произведения первой энергии ионизации на орбитальный радиус от номера элемента. Подобные результаты получены и для эффективного радиуса. Эти результаты показывают, что практически для рассматриваемой величины исчезла ярко выраженная периодичность. При этом наблюдается насыщение этой величины при  $Z > 60$ , т.е. эта граница достаточно близка к «железному максимуму» о котором мы будем говорить при анализе удельной энергии связи нуклонов ядра (см. раздел 4.3). В Приложении 4 приведены полученные нами зависимости произведения первой энергии ионизации на орбитальный и эффективный радиусы для известных элементов ПСАЭВ.

Из представленных на рис.3.20 результатов также видно, что, в



**Рис. 3.21.** Изменение произведения первой энергии ионизации на орбитальный радиус в зависимости от номера элемента

случае общего представления имеющихся сведений, очень трудно сделать какие-либо выводы о закономерностях изменения энергии ионизации, в зависимости от положения элемента в ПСАЭВ, кроме представленных выше общих рассуждений о периодичности ее изменения. Подобный, общепринятый подход, мы наблюдали ранее при рассмотрении закономерностей изменения эффективных и орбитальных радиусов, а также при анализе закономерностей изменения нуклонного состава ядер элементов.

Для более углубленного анализа воспользуемся делением элементов на семейства и группы в зависимости от строения электронной оболочки и выполним анализ закономерностей изменения энергии ионизации для различных семейств, групп и подгрупп элементов (см. таблицу 2.6 и рис.2.7).

Эффективность такого подхода к анализу закономерностей изменения различных характеристик атомов и ядер элементов показана нами ранее в [1].

### 3.2.1 p-ЭЛЕМЕНТЫ

Вначале рассмотрим p-элементы, поскольку их количество в каждом периоде достаточно большое, что облегчает проведение эффективного анализа. Кроме того, для p-элементов имеется возможность рассмотреть не только первую энергию ионизации, но и энергии ионизации более высокого порядка в пределах заполняемой электронной орбитали одного типа.

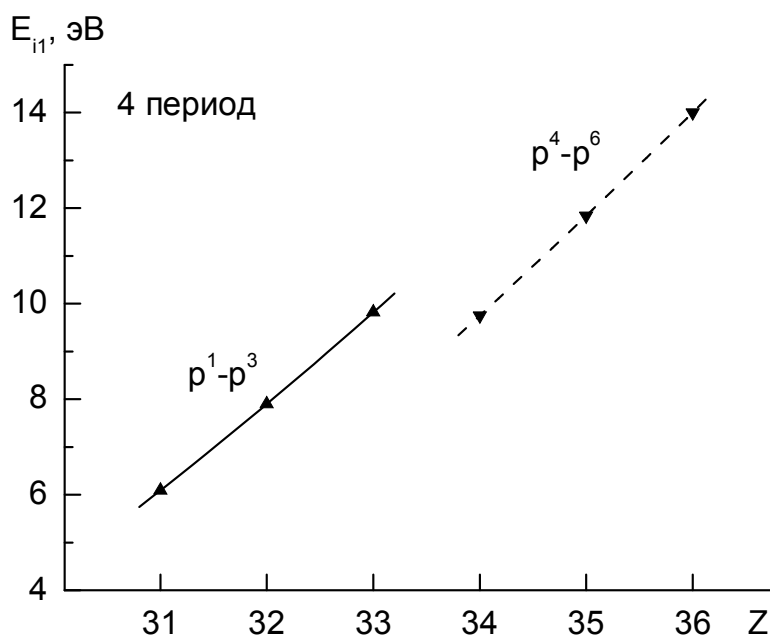
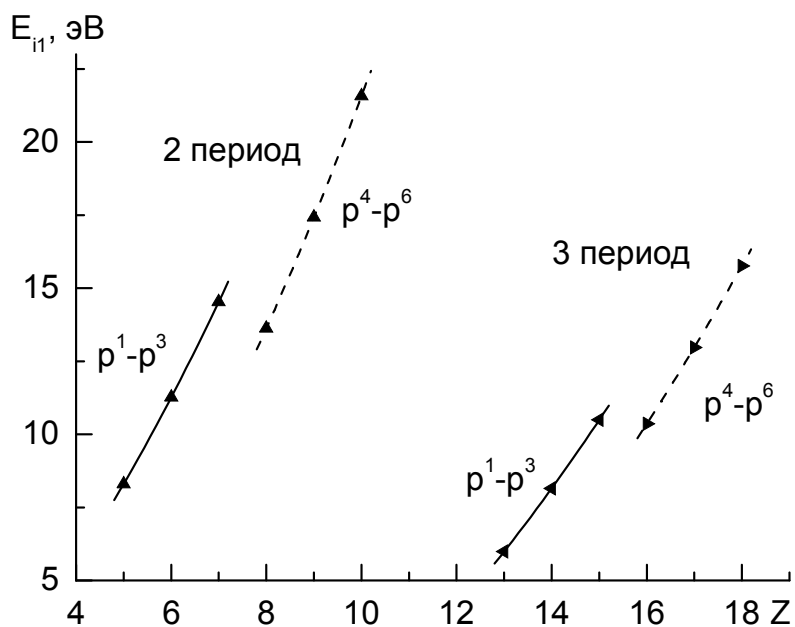
На рис. 3.22, рис. 3.23 показаны зависимости первой энергии ионизации для p-элементов от их порядкового номера для различных периодов. Принятые обозначения на этих рисунках идентичны. Здесь в виде линий показаны установленные закономерности. Видно, что все p-элементы распадаются на две характерные подгруппы:  $(p^1-p^3)$ -элементы и  $(p^4-p^6)$ -элементы, подобно тому, как наблюдали это ранее при анализе изменения орбитального радиусов.

Для p-элементов мы наблюдаем объединение периодов в группы: объединяются, соответственно, второй и третий периоды, четвертый и пятый периоды, шестой и (предположительно) седьмой периоды. Объединение, в данном случае, происходит по идентичности зависимости первой энергии ионизации от номера элемента для каждой из подгрупп. Подобное объединение периодов мы уже наблюдали ранее.

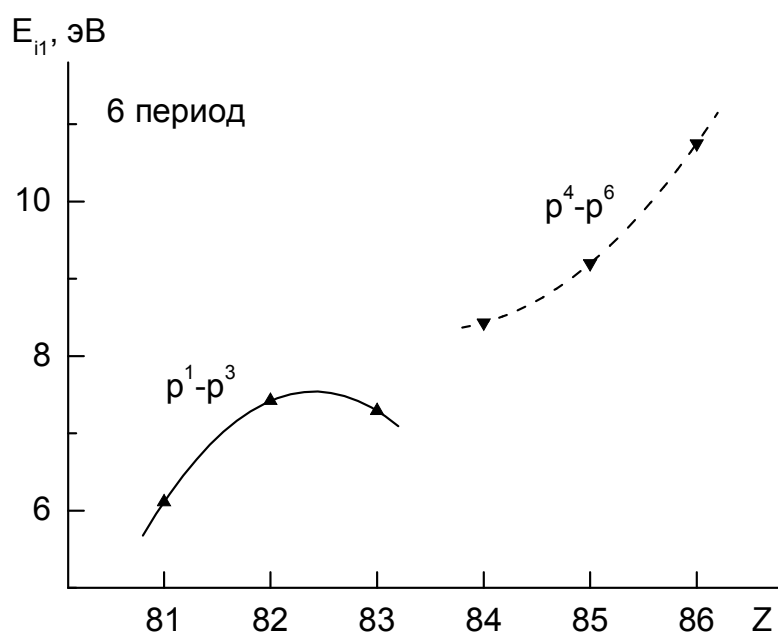
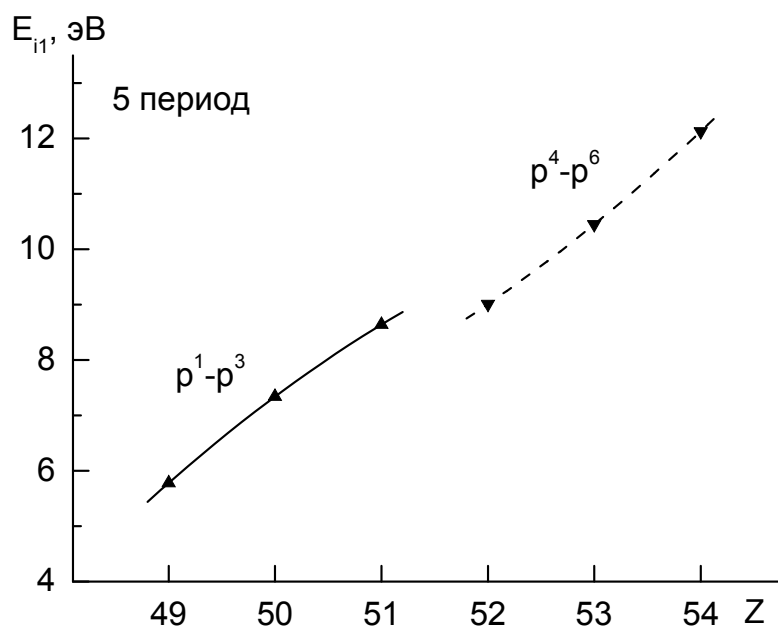
Представляет интерес изменение объединенной величины (произведения первой энергии ионизации на орбитальный и эффективный радиусы) от порядкового номера для p-элементов, которая в общем виде представлена на рис.3.21. Полученные таким образом зависимости представлены в Приложении 4.

В Приложении 4 рассмотрены энергии ионизации более высокого порядка для выделенных семейств, групп и подгрупп элементов. Полученные зависимости очень четко отражает введенное нами деление элементов.

Таким образом, мы получили, что свойства внешних электронных оболочек в полной мере отражаются на свойствах более глубоких электронных оболочек. Т.е. фактически эти результаты показывают четкую индивидуальность атома элемента в каждой отдельно взятой части его электронной оболочки.



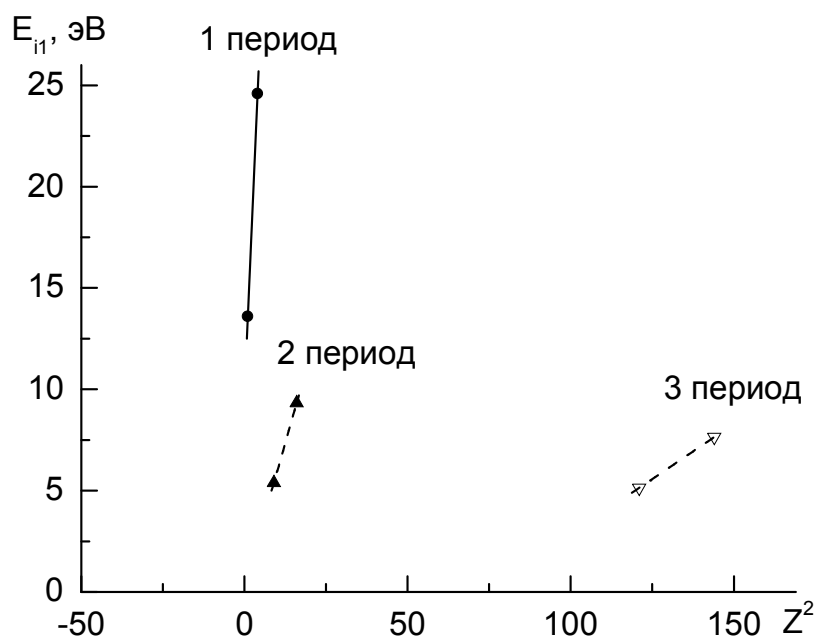
**Рис. 3.22.** Изменение энергии ионизации для  $p$ -элементов 2,3 и 4 периодов в зависимости от порядкового номера: символы – известные данные; линии – установленные закономерности



**Рис. 3.23.** Изменение энергии ионизации для  $p$ -элементов пятого и шестого периодов в зависимости от порядкового номера: символы – известные данные; линии – установленные закономерности

### 3.2.2 ss-ЭЛЕМЕНТЫ

На рис. 3.24 показано изменение энергии ионизации для ss-элементов в зависимости от квадрата порядкового номера атома для первого, второго и третьего периодов. Поскольку энергия ионизации должна изменяться пропорционально квадратному номеру элемента (см. соотношение (2.4)), то эти зависимости мы построили в координатах  $E_{i1} - Z^2$ .



**Рис. 3.24.** Изменение первой энергии ионизации для ss-элементов первого, второго и третьего периодов: символы – известные данные; линии – установленные закономерности

Для рассматриваемых периодов изменение первой энергии ионизации ss-элементов может быть описано следующим соотношением

$$E_{i1} = a + b \cdot Z^2 \quad (3.11)$$

Таким образом, по виду зависимости энергии ионизации ss-элементов от порядкового номера (соотношение (3.11)) первый, второй и третий периоды объединяются в одну группу, при этом коэффициенты пропорциональности в соотношении (4.14) имеют свои значения для каждого из периодов. Подобное объединение периодов мы уже наблюдали ранее при анализе закономерностей изменения радиусов атомов (см. раздел 3.1). Отметим, что ss-элементы этих периодов имеют элек-

тронные орбитали только s- и p-типа.

На рис.3.25 показано изменение коэффициентов пропорциональности в соотношении (3.11) в зависимости от номера периода для ss-элементов первого, второго и третьего периодов ПСАЭВ.

При анализе энергии ионизации ss-элементов последующих периодов дополнительно добавим  $d^1$ -элементы, как мы это делали ранее при анализе изменения радиусов атомов. Полученные таким образом зависимости показаны на рис. 3.26.

Т.е. в данном случае также наблюдается квадратичная зависимость энергии ионизации от номера элемента, которая имеет следующий вид, отличающийся от соотношения (4.14)

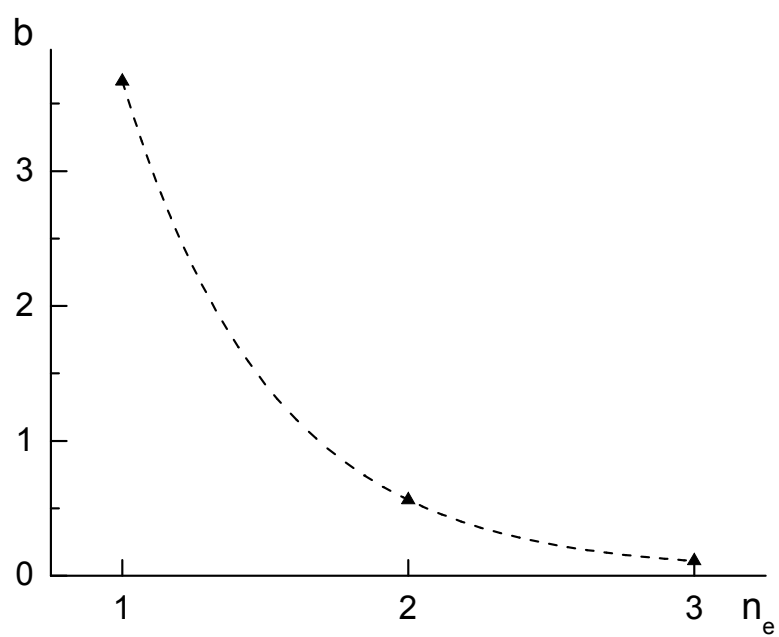
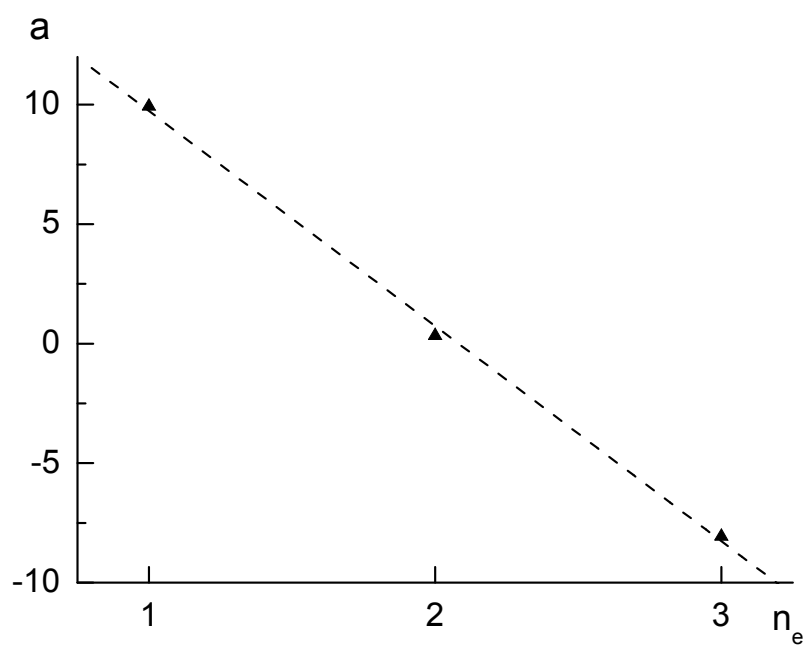
$$E_{i1} = a - b \cdot (Z - c)^2 \quad (3.12)$$

Для рассматриваемых периодов наблюдается объединение периодов. В частности, четвертый, пятый и шестой периоды объединяются в одну подгруппу, поскольку коэффициент пропорциональности  $c$  в соотношении (3.12) для этих периодов равен номеру соответствующего  $d^1$ -элемента, в то время как для седьмого периода данный коэффициент несколько превышает  $Z$  соответствующего  $d^1$ -элемента, что и позволяет исключить этот период из выделенной подгруппы.

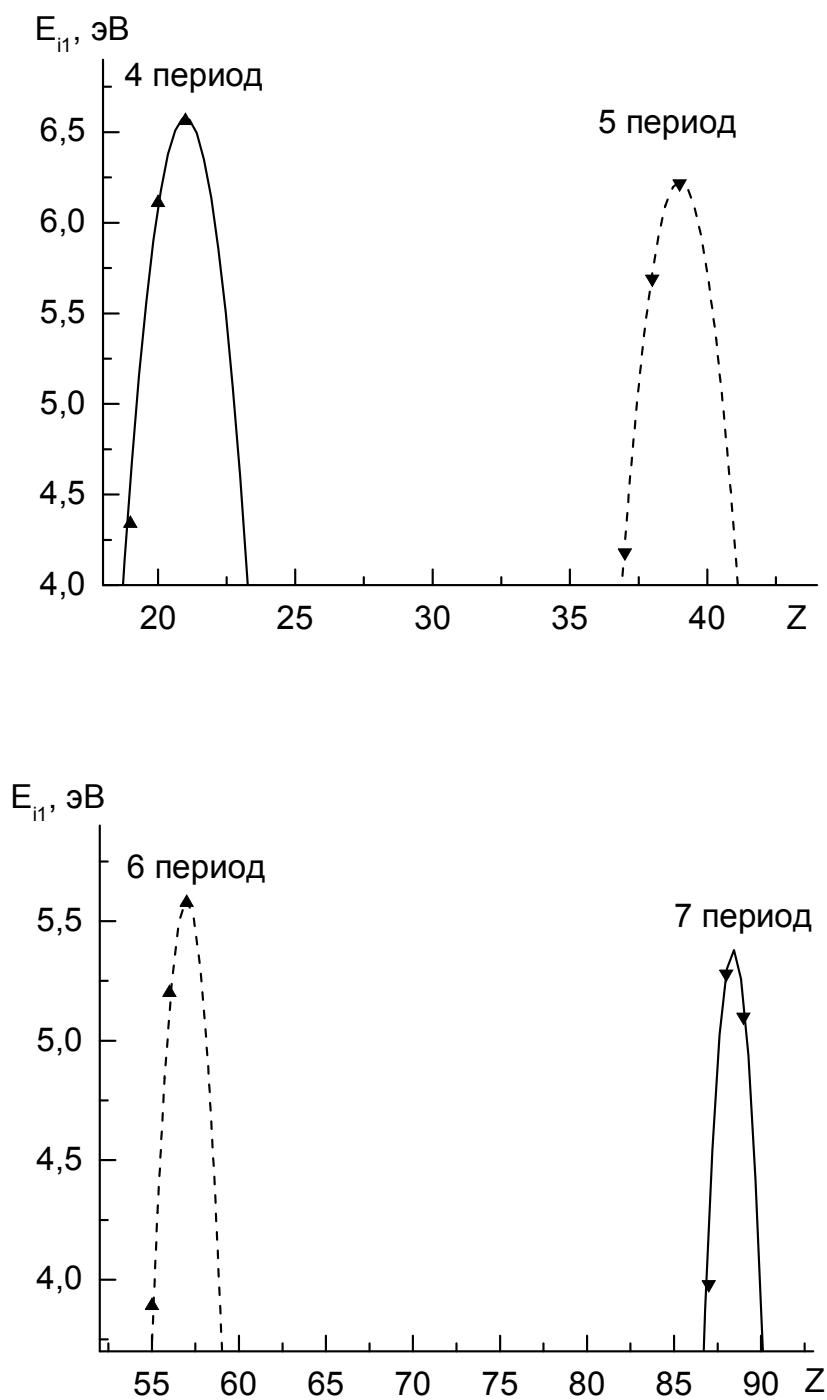
В Приложении 5 приведены зависимости для более высоких энергий ионизации подгруппы элементов (ss +  $d^1$ ). Видно, что для данной подгруппы элементов сохраняется присущая им индивидуальность и для энергий ионизации более высокого порядка. В частности, из представленных результатов видно повторение одних и тех же видов зависимостей для различных периодов. Очень наглядно это прослеживается на таких парах как  $E_{i2} - E_{i3}$  и  $E_{i8} - E_{i9}$ . Т.е. зависимость для каждой энергии ионизации описывается идентичными по виду соотношениями, но при этом коэффициенты пропорциональности определяются номером периода.

Суммируем основные результаты, полученные при анализе закономерностей изменения энергии ионизации ss-элементов в зависимости от номера элемента. Установлены зависимости и коэффициенты пропорциональности, использование которых позволяет прогнозировать первую энергию ионизации не известных к настоящему времени ss-элементов. По виду зависимости первой энергии ионизации ss-элементов можно объединить в первую подгруппу первый, второй и третий периоды и во вторую подгруппу – четвертый, пятый и шестой периоды ПСАЭВ.





**Рис. 3.25.** Изменение коэффициентов пропорциональности  $a$  и  $b$  в соотношении (3.11) в зависимости от номера периода



**Рис. 3.26.** Изменение энергии ионизации  $ss$ - и  $d^1$ -элементов четвертого – седьмого периодов ПСАЭВ: символы известные данные; линии - установленные зависимости

### 3.2.3 d- и f-ЭЛЕМЕНТЫ

На рис. 3.27 показано изменение первой энергии ионизации для d-элементов различных периодов. Видно, что все d-элементы распадаются на характерные подгруппы элементов:

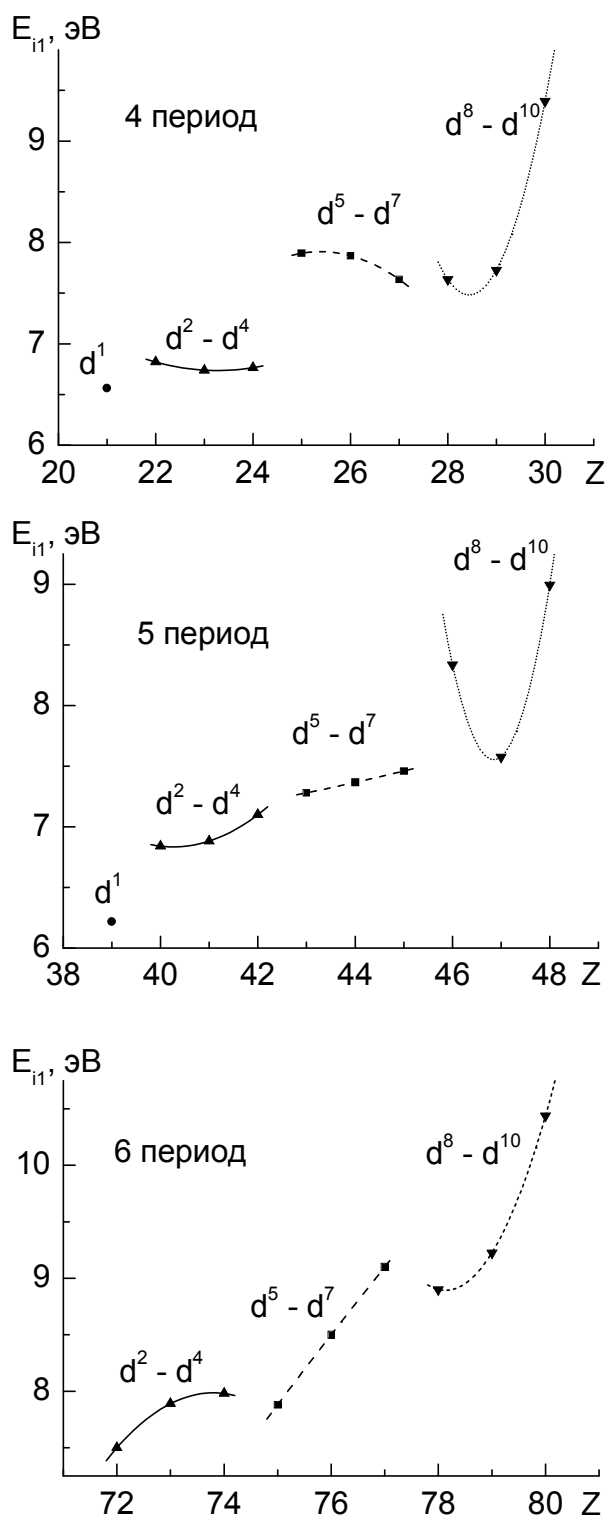
- первая подгруппа –  $d^1$ -элементы;
- вторая подгруппа –  $d^2$ -  $d^4$ -элементы;
- третья подгруппа –  $d^5$ -  $d^7$ -элементы;
- четвертая подгруппы –  $d^8$ -  $d^{10}$ -элементы.

Подобное деление на подгруппы наблюдалось ранее при анализе зависимости орбитального и эффективного радиусов атомов от порядкового номера элемента.

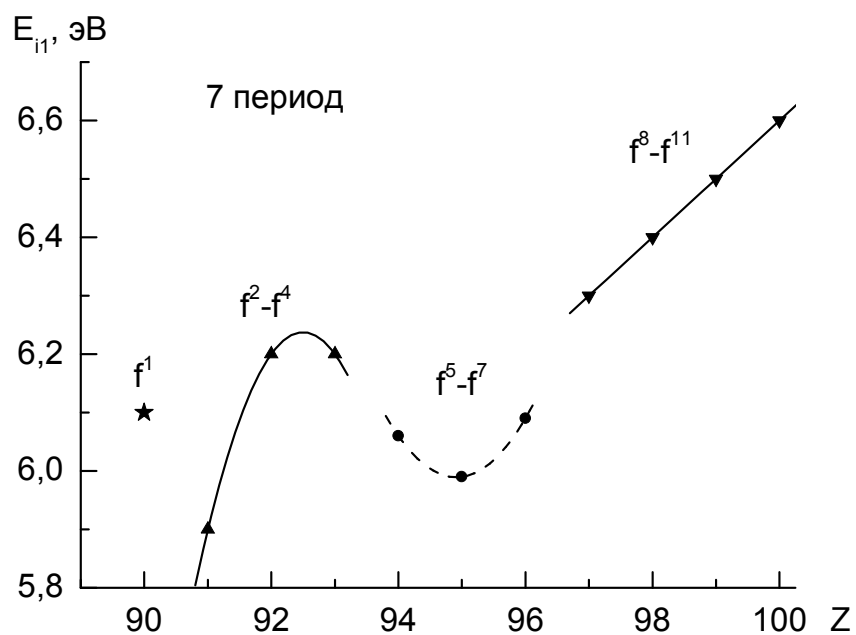
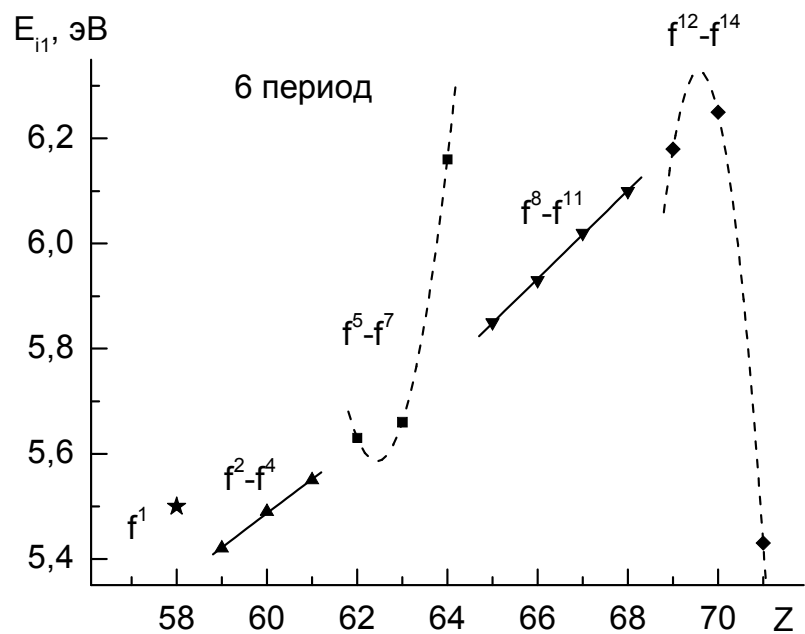
Соответственно на рис. 3.28 показано изменение энергии ионизации для f-элементов шестого и седьмого периодов. Здесь мы также наблюдаем достаточно четкое деление f-элементов на подгруппы, подобно тому, что наблюдали при анализе орбитального и эффективного радиуса атомов, но с некоторыми отличиями:

- первая группа на основании анализа радиусов атомов объединяла ( $f^1$ -  $f^4$ )-элементы, в то время как в случае анализа орбитального радиуса  $f^1$ -элемент выделяется в отдельную подгруппу;
- вторая группа как в случае анализа радиусов атомов, так и в случае анализа энергии ионизации объединяет ( $f^5$ -  $f^7$ )-элементы;
- третья группа как в случае анализа радиусов атомов, так и в случае анализа энергии ионизации объединяет ( $f^8$ -  $f^{11}$ )-элементы;
- четвертая группа как в случае анализа радиусов атомов, так и в случае анализа энергии ионизации объединяет ( $f^{12}$ -  $f^{14}$ )-элементы.

В Приложении 5 для d- и f-элементов представлены закономерности, полученные для более высоких энергий ионизации. Видно, что как и в предыдущих случаях особенности в изменениях энергии ионизации сохраняются для всех выделенных семейств, групп и подгрупп элементов, в том числе и для ионизации более высокого порядка.



**Рис. 3.27.** Изменение первой энергии ионизации d-элементов: символы - известные данные; линии – установленные зависимости



**Рис. 3.28.** Изменение энергии ионизации  $f$ -элементов шестого и седьмого периодов в зависимости от номера элемента: символы известные значения; линии – установленные закономерности

### Резюме к Главе 3

Суммируем основные результаты, полученные в результате анализа изменения радиуса и первой энергии ионизации атомов элементов, в зависимости от их порядкового номера и положения в Периодической системе.

1. Орбитальный и эффективный радиусы атомов наглядно отражают закономерности изменения строения электронных орбиталей элементов и определяются порядковым номером элемента  $Z$  и номером периода  $n_e$ .
2. Орбитальный радиус  $p$ -элементов внутри периода изменяется обратно пропорционально количеству электронов на заполняемой электроном  $p$ -орбитали, т. е. большему количеству электронов соответствует меньшее значение орбитального радиуса и, соответственно, более плотное строение электронной оболочки атома.
3. По характеру изменения орбитального радиуса и энергии ионизации атомов все  $p$ -элементы распадаются на две характерные подгруппы:  $(p^1-p^3)$  – и  $(p^4-p^6)$  – подгруппы, которые отражают порядок заполнения электроном  $p$ -орбиталей.
4. Орбитальный радиус  $ss$ -элементов внутри периода уменьшается с ростом количества электронов на  $s$ -орбитали, подобно тому, как мы это наблюдали ранее для  $p$ -элементов. Т. е. полное заполнение электроном  $s$ -орбитали приводит к уменьшению геометрических размеров атомов.
5. С ростом числа электронов на электронной орбитали  $d$ -типа наблюдается снижение орбитального радиуса. Все  $d$ -элементы во всех периодах по характерному изменению радиусов и энергии ионизации можно подразделить на четыре характерные подгруппы:
  - первая подгруппа –  $d^1$ -элементы;
  - вторая подгруппа –  $(d^2-d^4)$  – элементы;
  - третья подгруппа –  $(d^5-d^7)$  – элементы;
  - четвертая подгруппа –  $(d^8-d^{10})$  – элементы.
6. Все  $f$ -элементы шестого периода и, частично, седьмого периодов делятся на характерные подгруппы:
  - первая группа на основании анализа радиусов атомов объединяет  $(f^1-f^4)$ -элементы, в то время как в случае анализа орбитального радиуса  $f^1$ -элемент выделяется в отдельную подгруппу;
  - первая группа на основании анализа радиусов атомов объединяет  $(f^1-f^4)$ -элементы, в то время как в случае анализа орбитального радиуса  $f^1$ -элемент выделяется в отдельную подгруппу;
  - вторая группа как в случае анализа радиусов атомов, так и в случае анализа энергии ионизации объединяет  $(f^5-f^7)$ -элементы;

- третья группа как в случае анализа радиусов атомов, так и в случае анализа энергии ионизации объединяет ( $f^8$ -  $f^{d11}$ )-элементы;
  - четвертая группа как в случае анализа радиусов атомов, так и в случае анализа энергии ионизации объединяет ( $f^{d12}$ -  $f^{d14}$ )-элементы.
7. Можно предположить, что деление d- и f-элементов на подгруппы по аналогии с делением p-элементов на соответствующие подгруппы, должно отражать порядок заполнения электронами d- и f-орбиталей.
  8. Установлены коэффициенты пропорциональности, использование которых позволяет прогнозировать первую энергию ионизации не известных к настоящему времени элементов и радиусы атомов неизвестных к настоящему времени элементов.
  9. Полученные зависимости для более высоких энергий ионизации позволяют сделать вывод о том, что свойства внешних электронных оболочек в полной мере отражаются на свойствах более глубоких электронных оболочек. Т.е. фактически эти результаты показывают четкую индивидуальность атома элемента в каждой отдельно взятой части его электронной оболочки.
  10. Коэффициенты пропорциональности, которые определяют характер изменения первой энергии ионизации p-элементов, позволяют ввести новую классификацию – **классы**. Класс объединяет по два периода Периодической системы, элементы которых содержат электронные орбитали одинаковых типов (исключение составляет первый класс, который состоит из одного первого периода). Всего можно выделить четыре класса для известной части ПСАЭВ.



## ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ ЯДЕР

### 4.1 СТРОЕНИЕ ЯДЕР

Ядерное строение атомов к настоящему времени не вызывает ни каких сомнений и является общепризнанным. После открытия Чедвиком нейтрона (1932г.) Д.Д. Иваненко и В. Гейзенберг независимо друг от друга предложили модель ядра, состоящую из протонов и нейтронов, при этом эти элементарные частицы получили общее название – **нуклоны**. Эта модель ядра явилась базовой для построения последующих моделей.

В настоящее время принята следующая система обозначений. Число протонов в ядре (**зарядовое число**) принято обозначать через  $Z$ , а число нейтронов – через  $N$ .

Их сумма

$$A = Z + N \quad (4.1)$$

называется **массовым числом ядра**.

Число  $Z$ , таким образом, является **порядковым номером элемента** и **соответствует количеству электронов в электронной оболочке атома и числу протонов в ядре атома (положительному заряду ядра)**.

Соответственно, **атомы одного и того же элемента**:

- с одинаковым  $Z$ , но с различными  $N$ , называются **изотопами**;
- с одинаковыми  $A$ , но различными  $Z$  – **изобарами**;
- с одинаковыми  $N$ , но с различными  $Z$  – **изотонами**.
- С одинаковым  $A$ ,  $Z$  и  $N$ , но с различным периодом полураспада и энергией ядер – **изомерами**.

Все перечисленные выше разновидности ядер одного и того же элемента принято называть **нуклидами**. В таблице 3.1 представлены общие характеристики нуклидов.

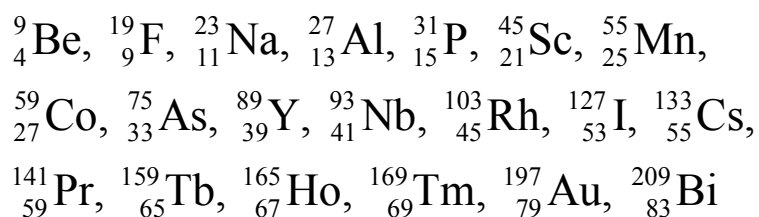
**Таблица 4.1** Основные свойства нуклидов

<b>Нуклиды</b>	<b>Сходство</b>	<b>Различие</b>
<b>Изотопы</b>	$Z$	$A, N$
<b>Изобары</b>	$A = \Sigma(Z+N)$	$Z, N$
<b>Изотоны</b>	$N$	$A, Z$
<b>Изомеры</b>	$Z, A, N$	Энергия ядра, период полураспада

Атомы различных изотопов одного и того же элемента имеют одинаковое строение электронных оболочек и одинаковое количество электронов в ней, поэтому, отличаясь только ядерными свойствами вследствие различия в строении ядра, при этом считается, что изотопы обладают идентичными физико-химическими свойствами и в различных химических реакциях ведут себя одинаково.

По количеству устойчивых изотопов элементы можно разделить на смешанные и чистые. Чистые элементы (*моноизотопные*) имеют всего по одному изотопу. Большинство элементов имеют несколько изотопов и поэтому называются *полиизотопными*.

К настоящему времени установлено всего 20 моноизотопных элементов:

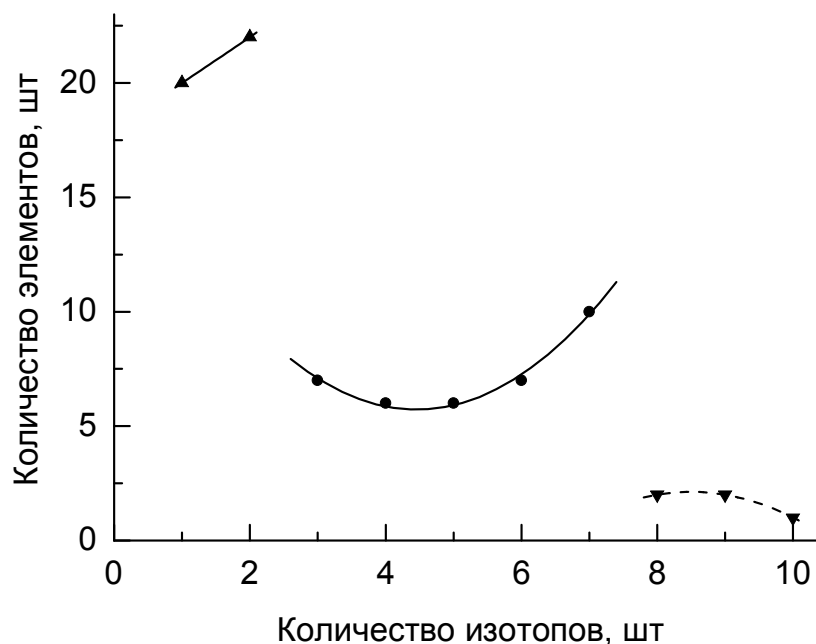


На наш взгляд представляет особый интерес рассмотреть закономерности изменения характеристик перечисленных выше моноизотопных элементов Вещества, поскольку среди них встречаются элементы, отнесенные нами к различным семействам, группам и подгруппам. Что же их объединяет? Среди известных литературных данных мы не смогли найти ответа на данный вопрос. Но можно предположить, что такая особенность моноизотопных элементов должна определяться неизвестными к настоящему времени закономерностями строения ядер, поскольку вопросов по строению электронных оболочек для этих элементов пока не возникает. На основании представленных выше рассуждений в дальнейшем мы рассмотрим характеристики моноизотопных элементов при анализе закономерностей ПСВАЭВ и ПСЯЭВ.

Количество изотопов у известных к настоящему времени элементов колеблется от 2 до 10, как это показано в таблице 4.2, а также на рис.4.1. Полиизотопные элементы, в свою очередь, образуют так называемые *плеяды*. К настоящему времени известно 288 стабильных изотопов и около 7500 радионуклидов с периодом полураспада около 1 мс.

**Таблица 3.2.** Количество элементов, имеющих различное количество изотопов

Количество устойчивых изотопов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество элементов	20	22	7	6	6	7	10	2	2	1



**Рис. 4.1.** Зависимость количества элементов от количества стабильных изотопов

В дальнейшем попытаемся сделать анализ распределения элементов с различным количеством изотопов для выделенных семейств, групп и подгрупп элементов.

Малое различие в массах и совпадение спинов протона и нейтрона является проявлением общего свойства этих частиц. Это сходство имеет фундаментальное значение в ядерной физике и особенно отчетливо проявляется в свойствах так называемых «зеркальных» ядер.

**Зеркальными** называются два ядра с одинаковыми массовыми числами. Каждое из зеркальных ядер получается из другого ядра путем замены всех нейтронов протонами, а протонов – нейтронами. Опыт показывает, что зеркальные ядра имеют близкие значения энергии связи, сходное строение спектра возбужденных уровней, одинаковые спины и т.д.

Изначально ядра принято условно делить на **стабильные (устойчивые)** и **радиоактивные**. К стабильным ядрам относят ядра, которые распадаются достаточно медленно, хотя резкой границы между стабильными и радиоактивными ядрами нет. Практика показала, что устойчивость нуклидов существенным образом зависит от четности чисел  $N$  и  $Z$ . Наиболее стабильными являются нуклиды с четными числами  $N$

и  $Z$ , т. е. четно-четные нуклиды. Менее стабильны четно-нечетные и нечетно-четные ядра. И наименее стабильны – нечетно-нечетные нуклиды.

Установлено, что нестабильность нуклидов возрастает при переходе к более тяжелым изотопам, для которых возрастает доля квадрата разности между числом нейтронов и протонов, которую можно записать следующим образом

$$\frac{(N - Z)^2}{A} \text{ или } \frac{(A - 2Z)^2}{A} \quad (4.2)$$

При этом наиболее устойчивыми являются ядра с «*магическими*» числами 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126. А особенно устойчивы дважды магические ядра с магическим числом протонов и нейтронов, к которым относятся  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$  и  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ .

Существующие модели ядра можно разделить на *одночастичные, коллективные и обобщенные* модели. В одночастичной модели учитываются степени свободы, которые описывают движение индивидуальных нуклонов, в то время как в коллективных моделях учитывается движение всех нуклонов ядра.

Наиболее простой моделью структуры ядра является *капельная модель* Бора – Френкеля, которая относится к коллективным моделям. Данная модель основана на аналогии между поведением молекул в капле жидкости и поведением нуклонов в ядре атома. В соответствии с этой моделью ядро представляется в виде системы из плотно упакованных нуклонов, которые подобно молекулам жидкости способны совершать хаотические движения. Эта модель вполне применима для многих ядер, исключая легкие и очень тяжелые элементы.

Прежде всего, в пользу этой модели говорит тот факт, что плотность ядерного вещества почти одинакова для большинства ядер, начиная с углерода, и составляет  $\rho_{\text{я}} \sim 2,7 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3$ , а именно для капли жидкости при данных внешних условиях характерно постоянство плотности вещества. Кроме того, объем ядра атома, подобно объему капли жидкости, пропорционален числу частиц, образующих ядро. Существенное отличие ядра от капли жидкости в этой модели заключается в том, что она трактует ядро, как каплю несжимаемой ядерной жидкости, плотность которой равна ядерной плотности, но, при этом, ядерная жидкость подчиняется законам квантовой механики. Капельная модель позволила получить полуэмпирическую формулу для энергии связи нуклонов в ядре (более подробно энергию связи нуклонов в ядре рассмотрим позже

в разделе 4.3). Кроме того, капельная модель позволила объяснить механизм ядерных реакций и некоторые особенности реакции деления ядер. Но данная модель не лишена недостатков. В частности она не позволяет объяснить существование ядер, содержащих магические числа протонов и нейтронов. С точки зрения капельной модели ядро в невозбужденном состоянии должно иметь сферическую форму, но существуют реальные факты, которые свидетельствуют о том, что многие ядра не являются сферическими.

Из одночастичных моделей наибольшее значение имеет **оболочечная модель**. Данная модель предполагает распределение нуклонов в ядре по дискретным энергетическим уровням (оболочкам), которые заполняются нуклонами в соответствии с принципом Паули.

Оболочечная модель позволяет рассмотреть устойчивость ядер в зависимости от заполнения этих уровней. Именно магические ядра, о которых мы уже говорили выше, относятся к ядрам с полностью заполненными оболочками. Кроме того, оболочечная модель позволяет объяснить спины и магнитные моменты ядер, различную устойчивость ядер, а так же периодичность изменения их свойств. Эта модель хорошо применима для описания легких и средних ядер, а так же для описания ядер в основном (невозбужденном) состоянии. Однако, по мере роста массового числа, увеличивается число энергетических уровней нуклонов и, соответственно, снижается энергетический зазор между ними, поэтому для трансурановых элементов само представление об оболочечной модели может потерять смысл.

Следует отметить, что попытка описания энергетических уровней нуклонов ядер элементов, путем использования оболочечной модели оказалась не совсем успешной (см., например, [8]).

По мере накопления экспериментальных данных о различных свойствах ядер была разработана так называемая **обобщенная модель**, которая объединяет, в определенной степени, как капельную, так и оболочечную модели. Именно обобщенная модель позволила провести классификацию уровней энергии ядра.

Можно также отметить **оптическую модель** ядра, которая позволяет объяснить взаимодействие ядер с налетающими частицами.

Рассмотренные выше модели ядер основаны на предположении о неделимости нуклонов, в то время как к настоящему времени признанной является кварковая модель строения, как протонов, так и нейтронов. Поэтому следует отметить, что современные эксперименты по упругому рассеянию мюонов на ядрах свидетельствуют о том, что в ядре могут содержаться кварковые ассоциации, более тяжелые, чем нуклоны. Таким образом, можно предполагать, что **ядро представляет собой квар-**

**ковую жидкость, тогда наблюдаемые кварковые ассоциации можно трактовать как кварковое образование, занимающее один энергетический уровень.**

Анализ имеющихся литературных данных позволяет сделать вывод о том, что к настоящему времени последовательная законченная теория атомного ядра еще не создана. Это, прежде всего, обусловлено тем, что отсутствует аналитическая зависимость ядерных сил от определяющих их параметров. Поэтому в ядерной физике используют различные модели ядра, каждая из которых позволяет описать ограниченный круг явлений. Они не дают истинной теории явлений, но позволяют систематизировать различные явления из области ядерной физики.

Физические величины, которые характеризуют свойства ядер, принято делить на **статические** и **динамические** характеристики. Статические характеристики обычно относят к **невозбужденному** состоянию ядра, а динамические **проявляются при возбуждении** ядер, которое происходит при распадах и ядерных реакциях.

К **важнейшим статическим характеристикам** ядра можно отнести порядковый номер (зарядовое число, число протонов в ядре)  $Z$ , удельную энергию связи нуклонов ядра, радиус ядра, нуклонный состав ядра (массовое число), а также ряд других характеристик.

Именно статические характеристики ядер мы и будем рассматривать в данной работе, поскольку они наиболее полно отражают взаимосвязь строения атомов в целом и ядер, в частности, с различными физико-механическими и химическими свойствами элементов.

Таким образом, представленные выше результаты позволяют сделать вывод о том, что к настоящему времени ядерная модель строения элементов является общепризнанной, при этом разработано несколько моделей ядра, которые позволяют объяснить многие факты, но законченной модели ядра пока нет.

На наш взгляд также следует особо отметить, что **практически отсутствуют какие-либо предположения, позволяющие объяснить возникновение изотопов**. Фактически описываются различные изотопы, которые наблюдаются в природе, но при этом нет каких-либо предположений о том, каким образом происходит их образование.

## 4.2 РАЗМЕРЫ ЯДРА

О размерах ядра нельзя говорить с такой же определенностью и однозначностью, как это делается для макроскопических тел, хотя этот термин достаточно широко используется на практике. Существующие методы определения размеров ядер можно разделить на две характерные группы по виду взаимодействия.

**К первой группе** можно отнести методы, основанные на проявлении ядерных сил, т. е. они основаны на сильном взаимодействии.

**Ко второй группе** можно отнести методы, которые основаны на электромагнитном взаимодействии, и поэтому позволяют исследовать распределение электрического заряда в ядре.

Прежде всего, радиус ядра можно получить по результатам исследования рассеяния нейтронов, электронов и других элементарных частиц на ядрах элементов. В этом случае определяется эффективное сечение рассеяния, из которого, считая ядро сферой, вычисляется радиус ядра.

Исторически самыми первыми опытами по исследованию размеров ядер являются классические опыты Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц в тонких металлических фольгах.

Практика показала, что результаты определения размеров ядер различными методами существенно не отличаются. Если ядро считать сферическим, то все методы определения его радиуса приводят к следующей эмпирической формуле

$$R_{\text{я}} = R_0 A^{1/3} \quad (4.3)$$

где  $R_{\text{я}}$  – радиус ядра;  $R_0 = (1,2 - 1,5) \cdot 10^{-13}$  см – коэффициент пропорциональности.

Известная полуэмпирическая формула Вейцеккера для энергии связи нуклонов в ядре, которую более подробно рассмотрим в разделе 4.3, дает следующее значение для коэффициента пропорциональности  $R_0$  в формуле (4.3)

$$R_0 = 1,22 \cdot 10^{-13} \text{ см} \quad (4.4)$$

Результаты исследования рассеяния частиц на ядрах различных элементов позволили оценить плотность ядерного вещества, которую можно определить следующим образом



$$\rho_{\text{я}} = \frac{A}{V_{\text{я}}} = \frac{A}{\frac{4}{3}\pi R_{\text{я}}^3} \quad (4.5)$$

Подстановка известных значений (4.3, 4.4) дает следующую величину для плотности ядерного вещества

$$\rho_{\text{я}} \approx 2,7 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3 \quad (4.6)$$

Оценим минимальную энергию нуклонов, находящихся в ядре. Если нуклон находится в ядре, то его импульс можно определить по следующей оценочной формуле

$$p = \frac{h}{2R_{\text{я}}} \quad (4.7)$$

Минимальную энергию нуклона, который находится в ядре, в свою очередь, можно оценить по нерелятивистской формуле, что дает следующее значение

$$E = \frac{p^2}{2m} \approx 6 \text{ МэВ} \quad (4.8)$$

Представленные выше результаты оценки позволяют сделать следующие заключения. Существующие модели строения ядер позволяют объяснить ряд экспериментальных наблюдений, но, при этом, законченная модель строения ядра к настоящему времени отсутствует. Радиус ядер определяется количеством нуклонов, образующих ядро. Плотность ядерного вещества для всех известных элементов близка к константе и составляет величину  $\rho_{\text{я}} \sim 2,7 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3$ . Оценка минимальной энергии нуклонов в ядре дает величину около 6 МэВ.

Таким образом, *полученная оценка позволяет предположить, что при энергии нуклона в ядре больше 6 МэВ, нуклон вполне способен покинуть ядро, т. е. ядро с такими нуклонами будет неустойчиво.*

Допустимость такого предположения подтверждается тем фактом, что нейтроны, которые покидают ядро урана, при его распаде, имеют энергию около 6 МэВ (см., например, [9]).



#### 4.3 ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ НУКЛОНОВ ЯДРА

*Энергия связи нуклонов ядра* является мерой его прочности и характеризуется минимальной работой, которую необходимо произвести, чтобы расщепить ядро на составляющие его нуклоны. Для определения энергии связи ядра используют понятие *дефекта массы ядра*, появление которого связано с энергией связи ядра.

Под дефектом массы ядра понимается разность между массой ядра, выраженной в атомных единицах массы, и соответствующей массой нуклонов, образующих ядро. К настоящему времени практически для всех известных элементов определена величина дефекта массы и, соответственно, установлено значение энергии связи нуклонов в ядре. Если известное значение энергии связи нуклонов в ядре разделить на массовое число для данного ядра, то мы получим *удельную энергию связи*  $\delta E_{\text{св}}$ , которая характеризует среднее значение энергии связи, приходящейся на один нуклон. Эта величина часто используется при анализе изменения энергии связи ядра при переходе от элемента к элементу. Соответствующим образом, дефект массы, отнесенный к одному нуклону, получил название *упаковочного коэффициента*.

Путем использования капельной модели ядра можно определить зависимость энергии связи от массового числа  $A$ . Энергия связи нуклонов в ядре должна состоять из нескольких компонентов. Рассмотрим их более подробно.

Вид первого слагаемого определяется тем, что для большинства ядер удельная энергия связи является примерно одинаковой величиной и поэтому, в первом приближении, энергия связи должна быть пропорциональна количеству нуклонов ядра. Согласно капельной модели ядра объем ядра сферической формы, с одной стороны пропорционален сумме объемов нуклонов, т. е.  $A$ , а с другой стороны определяется кубом радиуса ядра  $R_{\text{я}}^3$ . Если известна средняя энергия связи, которая приходится на один нуклон, то можно определить *«объемную» энергию* ядра  $E_{\text{об}}$  следующим образом

$$E_{\text{об}} = C_{\text{об}} \cdot A \quad (4.9)$$

где  $C_{\text{об}}$  – коэффициент, который характеризует величину объемной энергии для одного нуклона.

Формула (4.9) предполагает, что все нуклоны находятся в равных условиях, т. е. одинаково окружены другими нуклонами, с которыми они взаимодействуют. Но это неверно, поскольку нуклоны вблизи по-

верхности ядра, в отличие от внутренних нуклонов, не окружены нуклонами со всех сторон, поэтому энергия объемного взаимодействия должна быть уменьшена на величину энергии взаимодействия таких «недостающих» нуклонов для нуклонов, расположенных на поверхности ядра. Количество «недостающих» нуклонов будет пропорционально площади поверхности ядра. Тогда, с учетом (4.3), получаем, что объемная энергия должна быть уменьшена на **«поверхностную» энергию**  $E_{\text{пов}}$

$$E_{\text{пов}} = -C_{\text{пов}} \cdot A^{2/3} \quad (4.10)$$

где  $C_{\text{пов}}$  – коэффициент, который характеризует уменьшение объемной энергии для приповерхностных нуклонов.

В формуле (4.10) знак «минус» как раз и свидетельствует об уменьшении объемной энергии за счет поверхностного эффекта вследствие проявления «недостающих» нуклонов.

Энергия связи ядра также должна быть уменьшена на величину **энергии кулоновского отталкивания протонов**  $E_{\text{кул}}$ , величина которой будет обратно пропорциональна среднему расстоянию между протонами, которое, в свою очередь, будет пропорционально радиусу ядра. Если рассматривать только парное взаимодействие, то количество пар в ядре, при достаточно большом числе протонов, будет пропорционально

$$Z(Z-1) \approx Z^2$$

Тогда в простейшем случае, когда ядро можно представить как шар радиусом  $R_{\text{я}}$  равномерно заряженный по объему, электростатический расчет, с учетом (2.3), дает следующую величину

$$E_{\text{кул}} = -\frac{3}{5} \cdot \frac{(Ze)^2}{R_{\text{я}}} = \frac{3}{5} \cdot \left( \frac{e^2}{R_0} \right) \cdot \left( \frac{Z^2}{A^{1/3}} \right) = -C_{\text{кул}} \cdot A^{-1/3} \quad (4.11)$$

где  $C_{\text{кул}}$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий кулоновское взаимодействие протонов, а знак «минус» свидетельствует о том, что объемная энергия снижается на величину энергии кулоновского взаимодействия.

Кроме **объемной, поверхностной и кулоновской энергий**, энергия связи содержит еще два члена, появление которых нельзя объяснить на основе классических представлений и аналогий. Происхождение этих

энергий (*энергии симметрии и энергии спаривания*) определяется квантовой природой нуклонов, составляющих ядро.

*Энергия симметрии* вводится на основании учета устойчивости ядер. Ранее, рассматривая магические ядра (раздел 4.1), мы говорили о том, что устойчивость ядра зависит от доли, которую составляет квадрат разности между количеством нейтронов и количеством протонов (4.2). Поскольку установлено, что с ростом числа нуклонов в ядре удельная энергия связи нуклонов уменьшается, то энергию симметрии необходимо взять со знаком «минус». На основании этого можно записать

$$E_{\text{сим}} = -C_{\text{сим}} \cdot \frac{(N-Z)^2}{A} = -C_{\text{сим}} \cdot \frac{(A-2Z)^2}{A} \quad (4.12)$$

где  $C_{\text{сим}}$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий устойчивость ядра в зависимости от величины, которая определяется числом нейтронов и протонов по формуле (4.2).

Из соотношения (4.12) видно, что энергия симметрии обращается в ноль для ядер с одинаковым числом нейтронов и протонов («магические» ядра). Для легких ядер с порядковым номером  $Z < 20$  это условие определяет область существования устойчивых ядер с наибольшей энергией связи. Это объясняется необходимостью компенсировать ядерным взаимодействием нейтронов быстро возрастающую энергию электростатического взаимодействия протонов (кулоновское взаимодействие).

*Энергия спаривания* отражает тот факт, что устойчивость ядер зависит от четности-нечетности числа протонов и нейтронов, которые его образуют, т. е. фактически она учитывает наличие спина у нуклонов и способность нуклонов занимать один и тот же энергетический уровень в соответствии с принципом Паули. Ранее мы уже говорили о том, что наиболее устойчивыми являются четно-четные ядра, затем следуют нечетно-четные и четно-нечетные ядра и наименее стойкими являются нечетно-нечетные ядра. Этот факт и послужил основанием для названия данного вида взаимодействия энергией спаривания. Для четно-четных ядер энергия спаривания будет положительна, а для нечетно-нечетных ядер она будет отрицательна, но по модулю энергия спаривания будет одинакова. При этом для нечетно-четных и четно-нечетных ядер (т. е., фактически, для ядер с нечетным  $A$ ) энергия спаривания будет равна нулю.

Таким образом, энергию спаривания нуклонов в ядре описывают

следующей формулой

$$E_{\text{спар}} = \delta \cdot C_{\text{спар}} \cdot A^{-\varepsilon} \quad (4.13)$$

где  $C_{\text{спар}}$  – коэффициент пропорциональности;  $\varepsilon$  – показатель степени, определяемый на основании эмпирических данных;  $\delta$  – параметр, учитывающий четность – нечетность ядра.

На основании соотношений (4.10–4.13) мы и получаем полуэмпирическую формулу Вейцеккера для энергии связи нуклонов в ядре

$$E_{\text{св}} = C_{\text{об}} \cdot A - C_{\text{пов}} \cdot A^{2/3} - C_{\text{кул}} \cdot Z^2 \cdot A^{-1/3} - C_{\text{сим}} \cdot (A - 2Z)^2 \cdot A^{-1} + \delta \cdot C_{\text{спар}} \cdot A^{-\varepsilon} \quad (4.14)$$

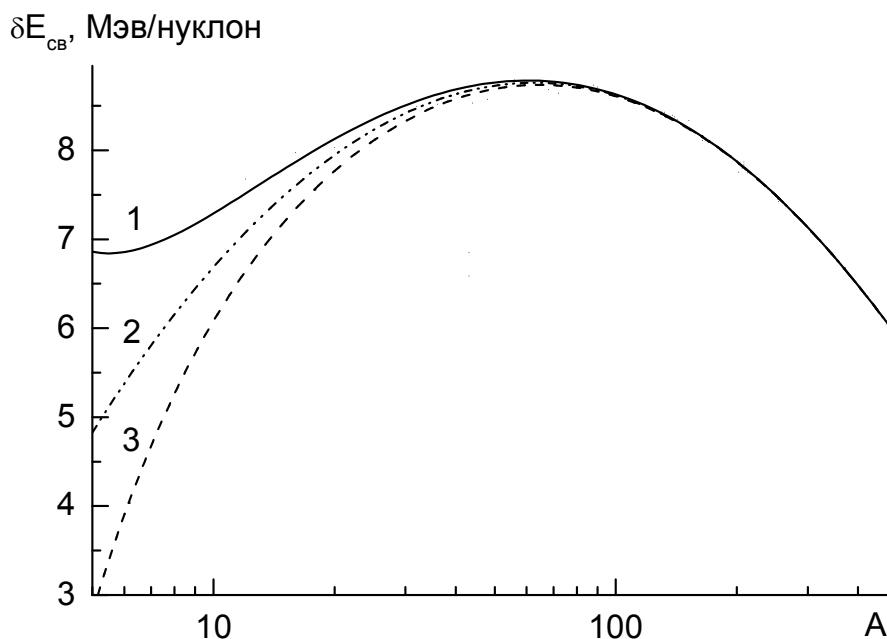
где  $E_{\text{св}}$  – энергия связи ядра в МэВ;  $C_{\text{об}} = 15,75$  МэВ,  $C_{\text{пов}} = 17,8$  МэВ,  $C_{\text{кул}} = 0,710$  МэВ,  $C_{\text{сим}} = 23,7$  МэВ,  $C_{\text{спар}} = 34$  МэВ – коэффициенты, которые подобраны из условия наилучшего согласования с опытными данными и характеризуют объемную, поверхностную, кулоновскую энергии, а также энергию симметрии и энергию спаривания, соответственно;  $\varepsilon = 3/4$  – показатель степени, установленный на основании эмпирических данных (некоторые авторы приводят различные значения этого коэффициента в диапазоне от 1/3 до 1);  $\delta$  – принимается равным

$$\delta = \begin{cases} +1 & \text{для чётно - чётных ядер} \\ 0 & \text{для ядер с нечётным } A \\ -1 & \text{для нечётно - нечётных ядер} \end{cases} \quad (4.15)$$

Тогда для удельной энергии связи  $\delta E_{\text{св}}$ , формулу Вейцеккера (4.14) можно записать в следующем виде

$$\delta E_{\text{св}} = C_{\text{об}} - C_{\text{пов}} \cdot A^{-1/3} - C_{\text{кул}} \cdot Z^2 \cdot A^{-4/3} - C_{\text{сим}} \cdot (A - 2Z)^{-2} + \delta \cdot C_{\text{об}} \cdot A^{-1,75} \quad (4.16)$$

Рассмотрим различие в удельной энергии связи нуклонов ядра в зависимости от четности-нечетности числа нуклонов. На рис. 4.2 показано изменение удельной энергии связи нуклонов, определенное по формуле



**Рис. 4.2.** Изменение удельной энергии связи нуклонов в ядре в зависимости от массового числа: 1 – четно-четные ядра; 2 – нечетное  $A$ ; 3 – нечетно-нечетные ядра

(4.16) для ядер с различным содержанием нуклонов. При построении данной зависимости, также как и всех последующих, рассматриваемых в данном подразделе, величину  $Z$  в формуле (4.16) определяли следующим образом

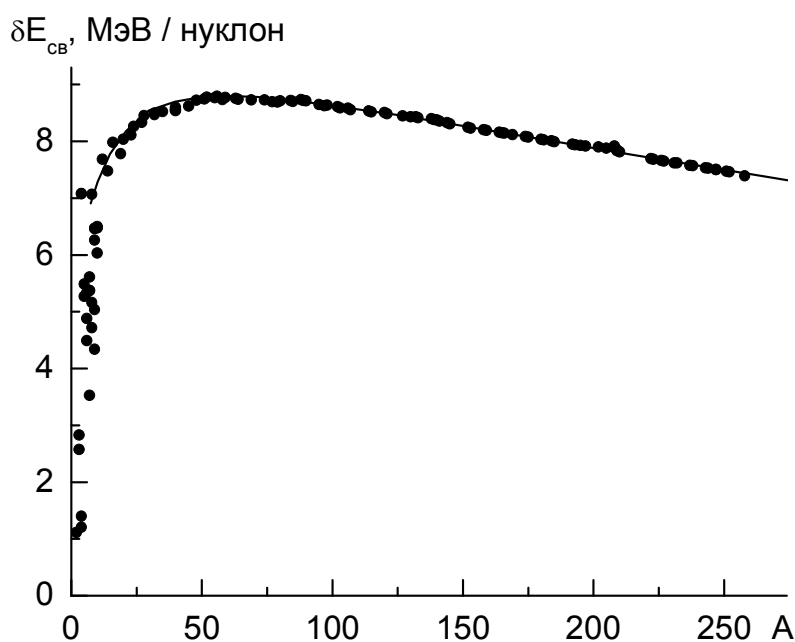
$$Z = \frac{A}{2 + (C_{\text{кул}} / 2C_{\text{сим}}) \cdot A^{2/3}} = \frac{A}{2 + 0,015A^{2/3}} \quad (4.17)$$

Эта формула получена из формулы (4.14) для наиболее стабильного изотопа, который имеет максимальную энергию связи. Более подробно эта формула будет рассмотрена несколько позднее в разделе 4.4. Из представленных результатов видно, что четность-нечетность нуклонов в ядре имеет заметное значение при определении удельной энергии связи только при  $A < 80$ , при больших значениях  $A$  различия становятся не существенными.

Таким образом, из результатов, представленных на рис. 4.2, можно сделать вывод о том, что четность-нечетность ядер играет заметную роль в удельной энергии связи только при  $A < 80$ , а при больших зна-

чениях  $A$  четность – нечетность ядер становится не существенной.

На рис. 4.3 показана зависимость удельной энергии связи от массового числа  $A$  для наиболее стабильных изотопов известных элементов ПСАЭВ. Здесь же представлен расчет удельной энергии связи нуклонов ядра для четно-четных ядер по формуле (4.16). Из представленного сопоставления видно, что наблюдается достаточно хорошее соответствие между расчетом по формуле (4.16) и известными данными при  $A > 10$ . Это обусловлено введением корректирующих поправок в формулу (4.16), для определения которых использовались известные значения удельной энергии связи нуклонов ядра.



**Рис. 4.3.** Изменение удельной энергии связи нуклонов в ядре в зависимости от массового числа  $A$  для известных наиболее распространенных и наиболее стабильных изотопов: символы – известные данные; линия – расчет по формуле (4.16) для четно-четных ядер

Для легких ядер ( $A < 10$ ) наблюдается заметное расхождение между результатами расчета по формуле (4.16) и известными данными.

Максимум зависимости удельной энергии связи приходится на область с  $A \sim (50-60)$ , поэтому часто говорят о «**железном максимуме**». Область максимального значения удельной энергии связи соответствует наибольшей стабильности ядер элементов. Обычно рассмотрение зависимости удельной энергии связи нуклонов в ядре и ограничивают представлением зависимости, подобной той, которая приведена на рис. 4.3 или зависимости энергии связи от  $A$ .

Рассмотрим более подробно изменение удельной энергии связи нуклонов в ядре атомов элементов в зависимости от четности-нечетности числа нуклонов и от положения элементов в ПСАЭВ.

Прежде всего, сделаем анализ соответствия расчетных значений удельной энергии связи с известными значениями для нечетно-нечетных ядер. Среди известных элементов Периодической системы к настоящему времени установлено только 5 стабильных нечетно-нечетных ядер – это  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^6_3\text{Li}$ ,  ${}^{10}_5\text{Be}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{50}_{23}\text{V}$ . С одной стороны, представленные выше результаты, позволяют предположить, что при дальнейшем развитии ПСАЭВ, т. е. с открытием новых элементов, маловероятно появление элементов с нечетно-нечетными ядрами. Это предположение основано на том факте, что нечетно-нечетные ядра имеют наименьшую энергию связи и, соответственно, наименьшую стабильность. Поскольку с ростом  $Z$  снижается стабильность даже для четно-четных ядер, которые имеют наибольшую энергию связи и, поэтому, являются наиболее стабильными, то появление менее стабильных нечетно-нечетных ядер при дальнейшем развитии ПСАЭВ становится маловероятным.

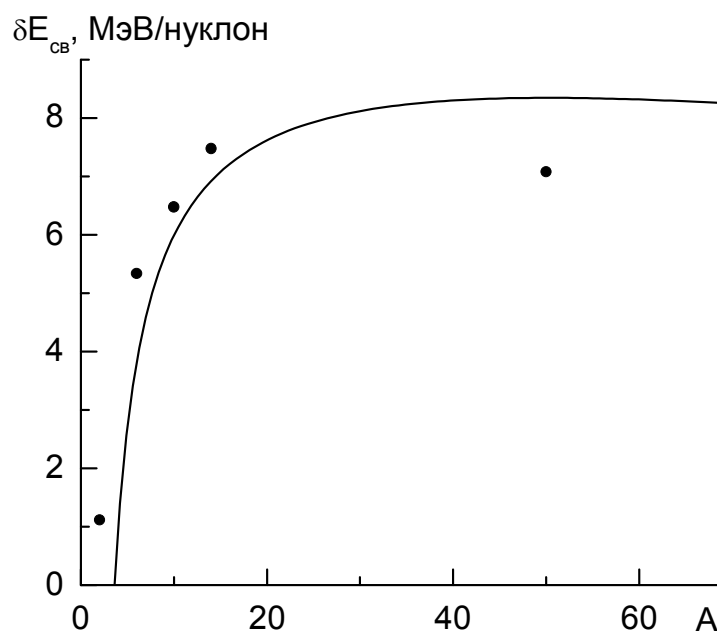
Но с другой стороны, поскольку из рис. 4.1 следует, что при  $A > 80$  четность-нечетность ядер становится не существенной, то вопрос о вероятности появления нечетно-нечетных ядер при дальнейшем развитии ПСАЭВ остается открытым. При наличии такой неоднозначности мы все-таки склоняемся к выводу о том, что и в неизвестной части ПСАЭВ вполне могут появиться элементы с нечетно-нечетными ядрами.

На рис.4.4 показано изменение удельной энергии связи для нечетно-нечетных ядер в зависимости от массового числа. Здесь представлены известные данные и результаты расчета по формуле (4.16). Видно, что наблюдается неплохое соответствие между известными данными и результатами расчета.

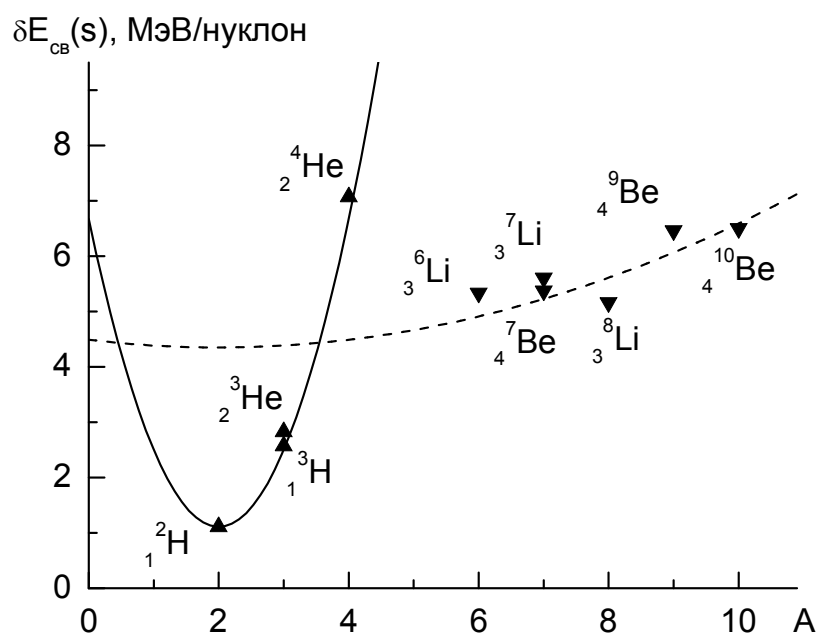
Рассмотрим изменение удельной энергии связи нуклонов в области малых  $A$  ( $A < 10$ ), где формула Вейцеккера (см. рис. 4.1, рис.4.2) обнаруживает существенное расхождение с наблюдаемыми результатами.

Выделим особо легкие элементы с  $A < 10$  (а также и их известные изотопы), которые содержат электронные орбитали только  $s$ -типа (см. раздел 2.4, рис. 2.7). Эти элементы образуют первый период и начало второго периода ПСАЭВ, далее подобных элементов нет.

Данные элементы можно назвать **«чистыми»  $s$ -элементами**, поскольку их электронная оболочка состоит только из орбиталей  $s$ -типа. Такое выделение по типам имеющихся электронных орбиталей является вполне обоснованным и достаточно эффективным при анализе закономерностей ПСАЭВ, как это будет показано далее.



**Рис. 4.4.** Изменение удельной энергии связи нуклонов для нечетно-нечетных ядер: символы – известные значения; линия – расчет по формуле (3.16)



**Рис. 4.5.** Зависимость удельной энергии связи ядра от массового числа  $A$  для «чистых» ss-элементов: символы известные данные; линии – расчет по формуле (3.16); сплошная линия – элементы первого периода; пунктирная линия – элементы второго периода



На рис. 4.5 показана зависимость удельной энергии связи от массового числа для легких элементов. Видно, что представленные элементы четко делятся на две группы: первая группа – ss-элементы и их изотопы, которые относятся к первому периоду ПСАЭВ; а вторая группа – ss-элементы и их изотопы, которые относятся ко второму периоду.

В данном случае удельную энергию связи можно описать следующим образом

$$\delta E_{\text{св}}(s) = a + b \cdot (A - 2)^2 \quad (4.18)$$

где  $\delta E_{\text{св}}(s)$  – удельная энергия связи нуклонов в ядрах «чистых» s-элементов;  $a$  и  $b$  – коэффициенты пропорциональности, которые являются константами для каждого из периодов ПСАЭВ (для первого периода –  $a = 1,11$  МэВ,  $b = 1,39$  МэВ; для второго периода –  $a = 4,35$  МэВ,  $b = 0,035$  МэВ). Данные на рис. 4.5 можно описать более точно, если мы учтем значение  $Z$  для каждого из изотопов.

Минимум зависимостей (соотношение (4.18), рис. 4.5) приходится на значение  $A = 2$ . Левая часть установленных параболических зависимостей не имеет смысла, поскольку при  $A < 2$ , рассуждать об энергии связи нуклонов в ядре в принципе невозможно.

Представленные результаты позволяют предположить, что изменение величины удельной энергии связи нуклонов в ядрах «чистых» ss-элементов в зависимости от массового числа определяется зависимостью, подобной (4.18), которая существенно отличается от формулы Вейцзеккера (4.16).

Анализ только энергии связи нуклонов в ядрах элементов уже позволяет предположить конечность ПСАЭВ. Действительно, энергия связи нуклонов не может быть меньше некоторого минимального значения и, следовательно, значение  $A$  не может быть больше некоторого максимального значения. Вопрос о конечности ПСАЭВ, является одним из важнейших вопросов, касающихся ее дальнейшего развития. Практически этот вопрос возник одновременно с созданием Д.И. Менделеевым Периодической системы. Анализ известных литературных данных показал, что к настоящему времени нет однозначных предположений, которые могли бы ограничивать число элементов. Наиболее часто на практике встречается вариант, когда ПСАЭВ автоматически продляют на восьмой период, вводя, при этом, новый тип электронной орбитали (g – орбиталь).

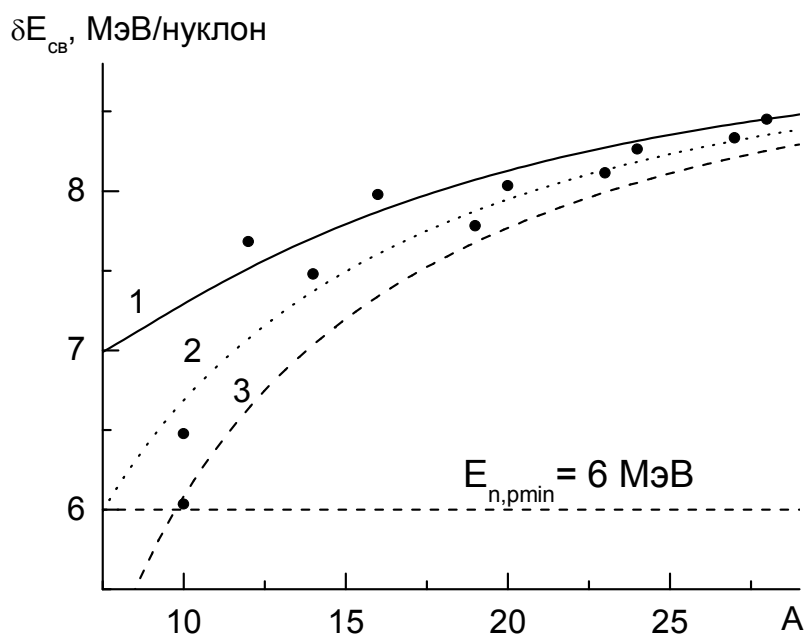
Ранее в разделе 4.2 мы привели известные оценки минимальной энергии нуклонов в ядре (см. соотношение (4.8)) и получили значение

около 6 МэВ. Тогда, если предположить (как это было сделано ранее в [1]), что *минимальная удельная энергия связи нуклонов в ядре не может быть меньше 6 МэВ*, то мы получим ограничение ПСАЭВ.

Следует отметить, что данная оценка является вполне разумной. Например, для наиболее стабильного изотопа урана оценки показывают, что энергия нейтрона, наиболее удаленного от центра ядра и, соответственно, имеющего наименьшую энергию связи, составляет около 6 МэВ [8].

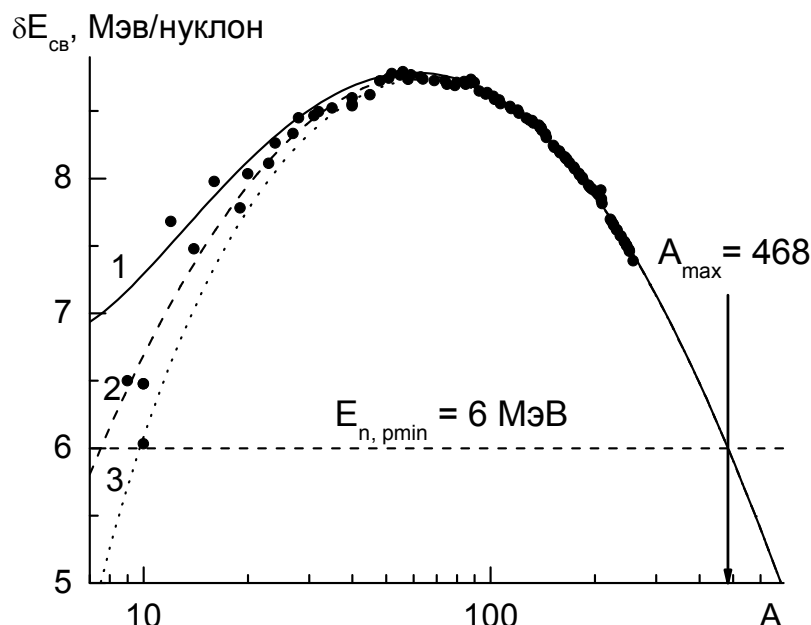
Очевидно, что данное ограничение удельной энергии связи нуклонов в ядре не применимо для «чистых» s-элементов, для которых  $A < 10$ , так как для них изменение удельной энергии связи подчиняется своим специфическим закономерностям (4.18).

Поэтому вначале рассмотрим полученное ограничение по минимальной удельной энергии связи при изменении массового числа от 10 до 30, т.е. в области малых значений  $A$ . На рис.4.6 показано изменение удельной энергии связи нуклонов для ядер с массовым числом  $10 < A < 30$ .



**Рис. 4.6.** Изменение удельной энергии связи для элементов с  $10 < A < 30$ : 1 — четно-четные ядра; 2 — нечетные  $A$ ; 3 — нечетно-нечетные ядра; горизонтальная линия — энергия нуклонов  $\delta E_{св min} = E_{n,p min} = 6$  МэВ

Здесь же представлены результаты расчета по соотношению (4.16) для атомов с различным содержанием нуклонов, а также указана минимальная энергия связи нуклонов. Видно, что введение ограничения на



**Рис. 4.7.** Изменение удельной энергии связи для элементов с  $A > 10$ : 1 – четно-четные ядра; 2 – нечетные  $A$ ; 3 – нечетно-нечетные ядра; горизонтальная линия – удельная энергия связи нуклонов  $\delta E_{\text{св min}} = E_{n, p \text{ min}} = 6 \text{ МэВ}$

минимальную удельную энергию связи нуклонов ядра на уровне 6 МэВ, вполне применимо для данной области значений массового числа  $A$ .

Аналогичным образом на рис. 4.7 показано изменение удельной энергии связи нуклонов в области больших  $Z$ . Здесь же показаны результаты расчета для различных типов ядер атомов элементов и отмечено минимальное значение удельной энергии связи 6 МэВ.

Представленные результаты *позволяют предположить, что ПСАЭВ должна заканчиваться элементом с массовым числом  $A_{\text{max}} = 468$* , что отмечено на рис. 4.7 вертикальной стрелкой и соответствующей надписью.

Суммируем основные результаты, полученные выше при анализе удельной энергии связи ядер и ее зависимости от массового числа и атомного номера.

Введение понятия энергии связи нуклонов в ядре позволяет объяснить дефект массы, который проявляется как разность между суммой масс нуклонов в свободном состоянии и массой ядра, когда нуклоны, образующие ядро, находятся в связанном состоянии.

Капельная модель ядра позволяет получить полуэмпирическую формулу Вейцеккера для энергии связи нуклонов в ядре атомов элементов, которая достаточно хорошо согласуется с известными данными

при  $Z > 10$ , и практически не работает при меньших значениях  $A$ .

Выделение подгруппы «чистых» s-элементов, как элементов, которые в составе электронной оболочки атома содержат электронные орбитали *только* s-типа, позволяет предположить, что для этих элементов формула Вейцеккера не применима.

В данном случае, *удельная энергия связи нуклонов* в ядре, т. е. *энергия связи всех нуклонов ядра отнесенная к количеству нуклонов, образующих ядро*, может быть описана квадратичной функцией от массового числа  $A$ , минимум которой приходится на значение  $A = 2$ . Учет числа протонов в ядре  $Z$  позволяет более точно оценивать удельную энергию связи для чистых s-элементов.

Представленный анализ зависимости удельной энергии связи ядер от массового числа  $A$  позволяет предположить, что *ПСАЭВ ограничена сверху элементом с массовым числом  $A_{max} = 468$*  при условии, что удельная энергия связи не может быть менее 6 МэВ. Это ограничение по энергии также удовлетворяет и нижнему пределу ПСАЭВ, если мы исключим из рассмотрения легкие элементы («чистые» ss-элементы, которые содержат электронные орбитали только s-типа).

*Такое ограничение ПСАЭВ получено впервые*, поэтому требует более широкого обоснования, основная часть обоснований была изложена нами ранее в [1], но часть имеющихся результатов не вошла в указанную работу, поэтому в последующих разделах мы изложим, частично повторно, полученные на результаты и представим новые.

Изложенная выше оценка верхней границы ПСАЭВ уже позволяет приступить к развитию ее структуры с учетом конечности, как это было показано в [1].

#### 4.4 ОБЩИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ НУКЛОННОГО СОСТАВА ЯДЕР

Особый интерес представляет анализ изменения нуклонного состава ядер атомов в зависимости от порядкового номера элемента и его положения в ПСАЭВ, т. е. в зависимости от строения электронной оболочки атома. Такой анализ позволит установить существующую взаимосвязь между статическими характеристиками ядер атомов и свойствами электронной оболочки атомов в целом. Т. е. фактически в результате такого анализа можно установить связь между нуклонным составом ядра и строением электронной оболочки атома, что представляет определенный интерес, поскольку позволяет практически объединить основные положения атомной физики с основными положениями ядерной физики.

Действительно, это выглядит несколько странно, но в настоящее время атомная физика существует как бы сама по себе, а ядерная физика – сама по себе. Но с другой стороны, ранее в разделе 1.2, мы говорили о том, что должны быть прямые и обратные связи между ПСАЭВ и ПСЯЭВ. Т.е. основные положения атомной физики (т.е. закономерности строения электронной оболочки атомов) должны каким-то образом проявляться в основных положениях ядерной физики (т.е. в закономерностях строения ядер) и наоборот. Таким образом, результаты данного анализа должны фактически подтвердить предположения о наличии связей между Системами, характеризующими закономерности строения Вещества (см. раздел 1.2 и рис.1.3).

Прежде всего, в данном разделе рассмотрим зависимость нуклонного состава ядер от массового числа  $A$ , поскольку отношение числа нейтронов ядра к числу протонов не является постоянной величиной, а зависит от рассматриваемого периода ПСАЭВ, как это будет показано ниже.

Для определения наиболее стабильного изотопа при заданном массовом числе  $A$  можно воспользоваться формулой Вейцзеккера. В этом случае задача сводится к определению  $Z$ , которому соответствует максимальная энергия связи. Приравняв дифференциал энергии связи (3.14) нулю получим

$$Z = \frac{A}{2 + \left( C_{\text{кул}} / 2C_{\text{сим}} \right) \cdot A^{2/3}} = \frac{A}{2 + 0,015A^{2/3}} \quad (4.19)$$

Формула (4.19) не учитывает различия масс нейтрона и протона.

Действительная масса ядра должна содержать следующую компоненту

$$Zm_p + (A - Z)m_n = Am_p - Z(m_n - m_p) \quad (4.20)$$

где  $m_n$  и  $m_p$  – масса нейтрона и масса протона, соответственно.

Тогда, с учетом (4.20), формула (4.19) преобразуется следующим образом

$$Z = \frac{\left[1 + (m_n - m_p) / 4C_{\text{сим}}\right] A}{2 + (C_{\text{кул}} / 2C_{\text{сим}}) \cdot A^{2/3}} = \frac{A}{1,97 + 0,015A^{2/3}} \quad (4.21)$$

Полученную формулу (4.21) можно также записать в несколько ином виде

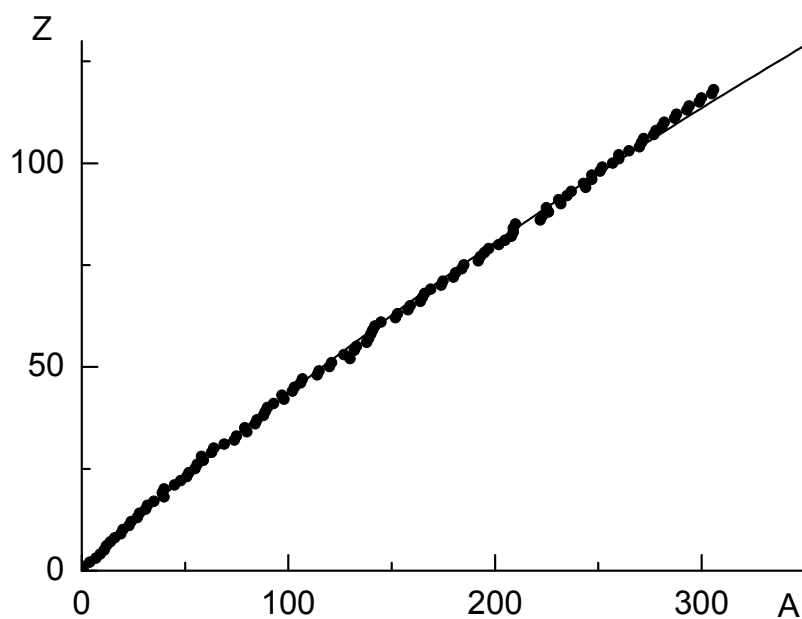
$$\frac{N}{Z} = 0,97 + 0,015A^{2/3} \quad (4.22)$$

Формулы (4.21, 4.22) позволяют анализировать отношение количества нейтронов к количеству протонов в ядре различных атомов в зависимости от массового числа и, соответственно в зависимости от периода ПСАЭВ.

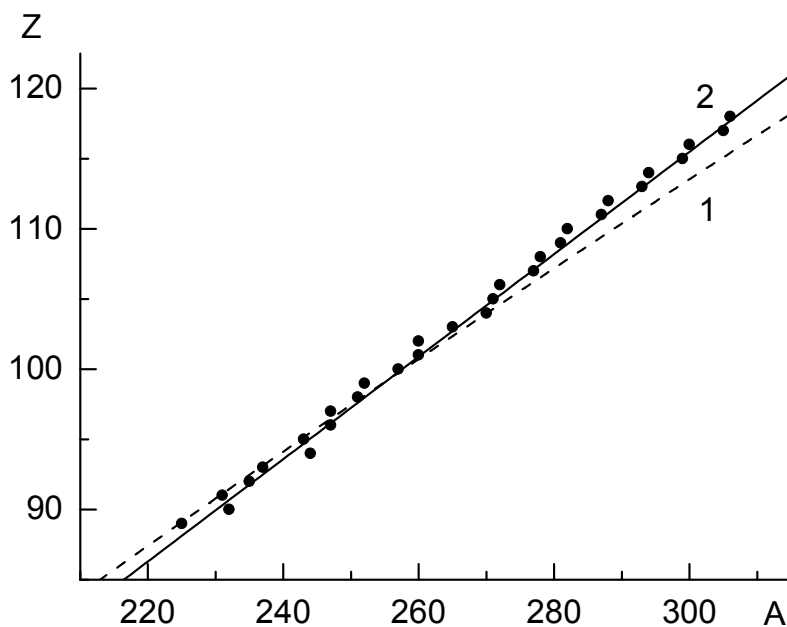
На рис. 4.8 показана зависимость атомного номера  $Z$  от массового числа  $A$  для известных наиболее стабильных изотопов. Здесь же представлен расчет по формуле (4.21). Видно, что формула (4.21) достаточно хорошо описывает изменение порядкового номера с изменением массового числа, но, если внимательно посмотреть на представленную зависимость, то можно сделать однозначный вывод о том, что при  $A > 200$  появляется явное отличие между расчетными и фактическими значениями.

Если обратиться к делению всех известных элементов на семейства, группы и подгруппы по типам электронных орбиталей (см. таблицу 2.6, рис. 2.7) то мы получим, что это отличие характерно для всех элементов с порядковым номером больше порядкового номера актиния. Фактически, мы получаем, что заметное отклонение расчетных значений от известных наблюдается для элементов, в электронной оболочке которых второй раз появляется  $f$ -орбиталь.

Поскольку формула (4.19) основана на полуэмпирической формуле Вейцзеккера, то для указанной области  $Z$  ее можно уточнить, воспользовавшись известными значениями удельной энергии связи нуклонов



**Рис. 4.8.** Зависимость порядкового номера элемента от массового числа для известных наиболее стабильных изотопов: символы – известные данные; линия расчет по формуле (3.21)



**Рис.4.9.** Зависимость порядкового номера элемента с  $Z > 89$  от массового числа  $A$ : символы – известные данные; 1 – расчет по (4.19); 2 – результат статистической обработки (4.23)

ядра. На рис. 4.9 показана зависимость порядкового номера  $Z$  от массового числа  $A$  для элементов с  $Z > 89$ . Здесь же приведены результаты расчета по (4.22). При этом ядра атомов не делились по четности и нечетности, поскольку, как это видно из результатов, представленных выше (см. рис. 4.1), различия в удельной энергии связи в зависимости от четности-нечетности становится несущественным уже при  $Z > 80$ .

Из рис. 4.9 видно, что между расчетными значениями и имеющимися данными действительно наблюдается заметное расхождение. Используя статистическую обработку, имеющиеся данные можно описать следующим образом

$$Z = 6 + 0,365 \cdot A \quad (4.23)$$

Ранее (см. раздел 4.3) было сделано предположение о том, что количество элементов в Периодической системе ограничено элементом с массовым числом  $A_{\max} = 482$ . Тогда, используя формулу (4.22), получаем порядковый номер элемента, ограничивающего ПСАЭВ

$$Z_{\max} \approx 166 \quad (4.24)$$

С другой стороны, используя формулу (4.23) и массовое число конечного элемента, замыкающего ПСАЭВ, также можно оценить порядковый номер этого элемента

$$Z_{\max} \approx 182 \quad (4.25)$$

В данных случаях при округлении результатов мы ограничились четным числом, т. е. округление сделали до ближайшего четного числа, поскольку именно четно-четные ядра обладают наибольшей стабильностью.

Таким образом, анализ нуклонного состава ядер атомов элементов позволяет откорректировать известные соотношения, описывающие содержание нейтронов и протонов в ядрах элементов.

В результате выполненных оценок получено, что порядковый номер элемента, замыкающего ПСАЭВ должен находиться в диапазоне от 166 до 182

$$Z_{\max} = (174 \pm 8) \quad (4.26)$$

Таким образом, из общего анализа удельной энергии связи получа-



ем, что ПСАЭВ ограничена сверху элементом с порядковым номером  $Z_{\max} = (174 \pm 8)$ , при минимально допустимой энергии связи нуклонов ядра 6 МэВ. При этом, исходя из предложенной структуры ПСАЭВ (см. рис.2.7), можно предполагать, что это будет элемент ss-типа.

Суммируем результаты, полученные при общем анализе изменения массового числа в зависимости от порядкового номера элемента.

Поскольку наиболее стабильный изотоп должен иметь максимальную энергию связи нуклонов ядра, тогда из формулы Вейцеккера путем дифференцирования и учета различия в массах нейтрона и протона можно получить достаточно простую формулу, которая связывает  $N$ ,  $Z$  и  $A$  (4.22).

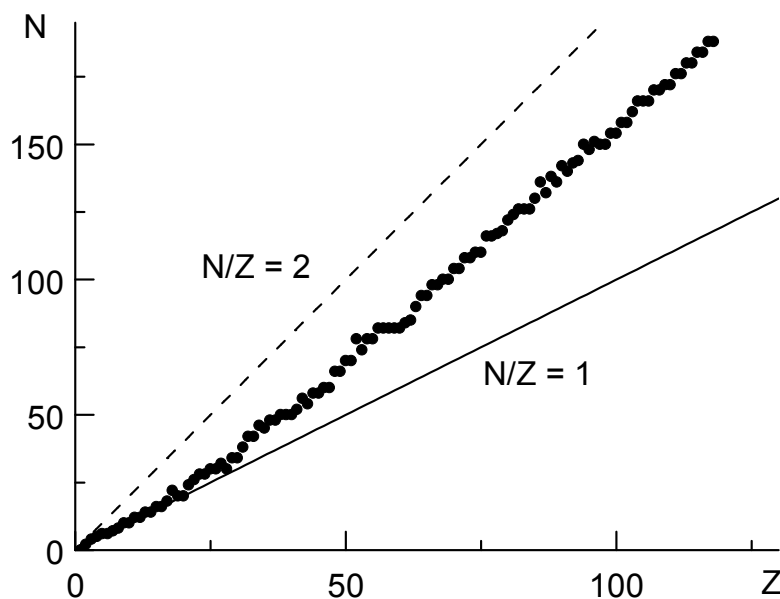
Зная массовое число элемента, замыкающего ПСАЭВ, используя эту формулу и соответствующие поправки для  $Z > 89$  можно оценить его порядковый номер.

Полученные оценки *позволяют предполагать, что ПСАЭВ ограничена сверху элементом с порядковым номером  $Z_{\max} = (174 \pm 8)$ , при минимально допустимой энергии связи нуклонов ядра 6 МэВ.* При этом, исходя из предложенной структуры ПСАЭВ (см. рис.2.7), можно предполагать, что это будет элемент ss-типа.

*Напомним, что подобная оценка ограниченности ПСАЭВ сверху была получена впервые в[1].*

#### 4.5 ИЗМЕНЕНИЕ НУКЛОННОГО СОСТАВА ЯДЕР ВНУТРИ ПЕРИОДОВ

В данном разделе рассмотрим изменение нуклонного состава ядер внутри периодов ПСАЭВ. На рис. 4.10 показана зависимость содержания нейтронов  $N$  от содержания протонов  $Z$  для наиболее стабильных ядер.



**Рис. 4.10.** Зависимость содержания нейтронов от содержания протонов (порядкового номера) для наиболее стабильных ядер

Видно, что в области легких ядер и в области тяжелых ядер данная зависимость отличается существенным образом. Обычно при рассмотрении зависимости числа нейтронов от числа протонов ограничиваются представлением подобных зависимостей. Но эта зависимость не позволяет сделать какие-то конкретные выводы о закономерностях изменения нуклонного состава ядер в зависимости от положения рассматриваемого элемента в ПСАЭВ.

Рассмотрим более подробно изменение числа нейтронов в ядрах в зависимости от числа протонов. Напомним, что при переходе внутри периода по мере роста порядкового номера элементы имеют идентичные полностью заполненные внутренние электронные орбитали, а отличаются только количеством электронов на орбиталях, заполняемых электронами в данном периоде.

С другой стороны, при переходе от периода к периоду, элементы, внутри выделенных групп и подгрупп, имеют одинаковое количество

электронов на заполняемой электронной орбитали и различное количество внутренних полностью заполненных электронных орбиталей и, соответственно, различное содержание нуклонов в ядре.

На рис. 4.11 – рис. 4.13 показаны зависимости числа нейтронов от числа протонов (порядкового номера элементов) для ядер наиболее стабильных изотопов элементов внутри различных периодов.

Видно, что для каждого из периодов наблюдается своя очень специфическая зависимость числа нейтронов от числа протонов.

Результаты, показанные на рис.4.11 – 4.12, можно описать следующими соотношениями

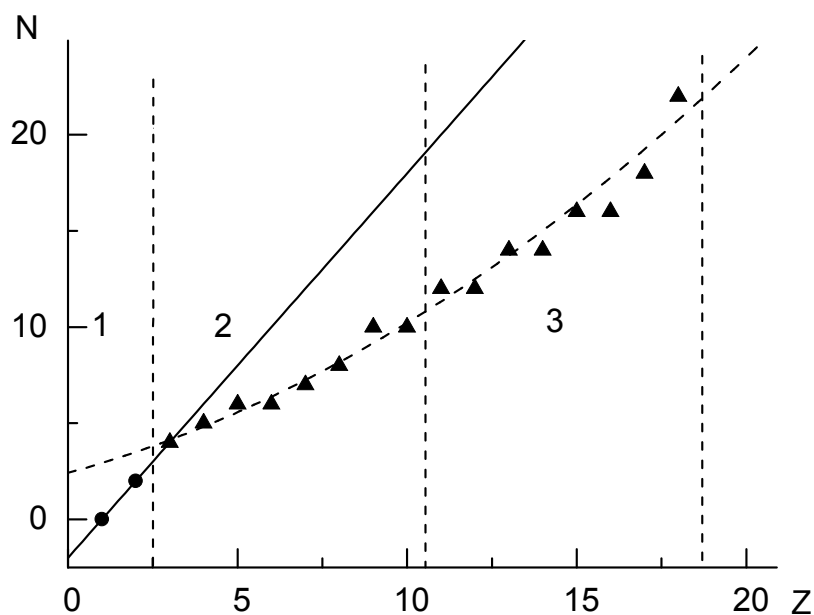
$$N = \begin{cases} \left[ 2(Z-1) \right] \text{ при } 1 \leq Z \leq 4 \text{ (1 период)} \\ \left[ 0,03(Z+7)^2 + 1,5 \right] \text{ при } 2 \leq Z \leq 20 \text{ (2 и 3 периоды)} \\ \left[ 0,06(Z-15)^2 + 24 \right] \text{ при } 19 \leq Z \leq 38 \text{ (4 период)} \\ \left[ 0,04(Z-23)^2 + 40 \right] \text{ при } 37 \leq Z \leq 56 \text{ (5 период)} \\ \left[ 1,8 \cdot Z - 23 \right] \text{ при } 55 \leq Z \leq 86 \text{ (6 период)} \\ \left[ 1,74 \cdot Z - 17 \right] \text{ при } 85 \leq Z \leq 118 \text{ (7 период)} \end{cases} \quad (4.27)$$

Кроме того, хорошо видно, что два элемента, с которых начинается каждый из последующих периодов Системы, достаточно хорошо описываются как формулой для предыдущего периода, так и формулой для данного периода.

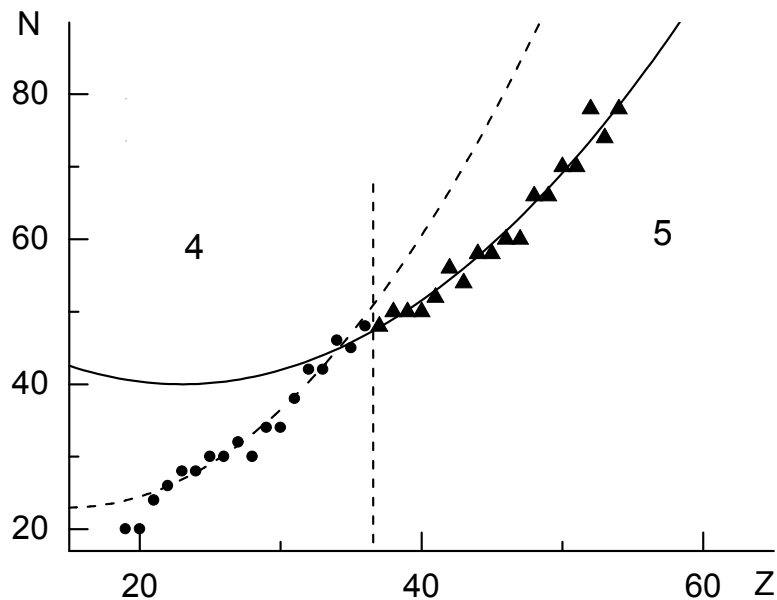
Из результатов, показанных на рис. 4.11 – рис. 4.13 также следует, что периоды объединяются в характерные группы, внутри которых наблюдаются подобные зависимости, описывающие изменение числа нейтронов в зависимости от числа протонов в ядрах атомов элементов.

В частности наблюдаются следующие закономерности (4.27):

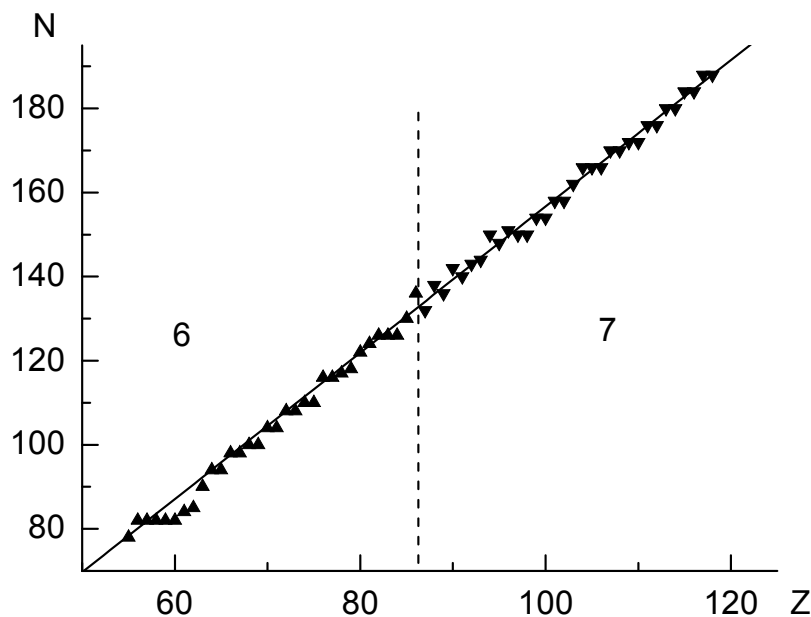
- **первый период** характеризуется линейной зависимостью числа нейтронов от числа протонов в ядре;
- элементы, образующие **второй и третий период**, описываются идентичной квадратичной зависимостью числа нейтронов от числа протонов, при этом коэффициенты пропорциональности одинаковы для обоих периодов;



**Рис. 4.11.** Зависимость числа нейтронов от числа протонов для ядер элементов 1 - 4 периодов: числа – номера периодов; символы – известные данные; вертикальные пунктирные линии – границы между периодами; линии – выявленные закономерности (4.27)



**Рис. 4.12.** Зависимость числа нейтронов от числа протонов для ядер элементов 4 – 5 периодов: числа – номера периодов; символы – известные данные; вертикальные пунктирные линии – границы между периодами; сплошные линии – выявленные закономерности (4.27)



**Рис. 4.13.** Зависимость числа нейтронов от числа протонов для ядер элементов 6 – 7 периодов: числа – номера периодов; символы – известные данные; вертикальные пунктирные линии – границы между периодами; линии – выявленные закономерности (4.27)

- элементы, образующие **четвертый и пятый периоды**, описываются идентичной по виду квадратичной зависимостью числа нейтронов от числа протонов, но со своими для каждого из периодов коэффициентами пропорциональности;
- элементы, образующие **шестой и седьмой периоды**, описываются идентичной линейной зависимостью числа нейтронов от числа протонов, но со своими для каждого из периодов коэффициентами пропорциональности.

Такая группировка периодов выглядит вполне закономерной (см. таблица 2.6 и рис. 2.7), поскольку элементы, образующие первый период ПСАЭВ характерны тем, что они имеют электронные орбитали только s-типа. В свою очередь, элементы, образующие второй и третий периоды, имеют электронные орбитали двух типов – s- и p-типа. Элементы, образующие третий и четвертый периоды имеют электронные орбитали трех типов – s-, p- и d-типа и, соответственно, элементы, образующие шестой и седьмой периоды, имеют электронные орбитали четырех типов – s-, p-, d- и f-типа.

Кроме того, мы получили, что два первых элемента, с которых начинается каждый новый период, очень хорошо описываются как зави-

симостью для предыдущего периода, так и зависимостью для данного периода. Но этим элементам характерно следующее свойство: они имеют электронную оболочку элемента, замыкающего предыдущий период, в которую добавлена еще одна s-орбиталь. И только по мере появления новой электронной орбитали в добавлении к s-орбитали, зависимость числа нейтронов от числа протонов полностью описывается соотношением, характерным для данного периода. Таким образом, эти элементы действительно являются переходными в рассматриваемом смысле.

Результаты, представленные на рис. 4.11 – рис. 4.13 и формулы (4.27) позволяют сделать вывод о том, что *соотношение между нуклонами в ядрах элементов, которое наблюдается на практике для наиболее стабильных изотопов, определяется периодом ПСАЭВ и очень четко отражает строение электронных оболочек атома.*

Данное заключение наглядно демонстрирует связь основных положений *ядерной физики* с основными положениями *атомной физики*, что является дополнительным подтверждением справедливости предположения о влиянии ПСЯЭВ на ПСАЭВ, которое мы сделали ранее в разделе 1.2.

Представленные результаты в некоторой степени позволяют также предположить, что с дальнейшим развитием ПСАЭВ, т. е. с открытием новых элементов, соотношение между нейтронами и протонами будет идентичным или достаточно близким к соотношению, наблюдаемому для элементов, которые образуют шестой и седьмой периоды. Это предположение, конечно же, нуждается в экспериментальном подтверждении. При этом можно однозначно предполагать, что для неизвестных к настоящему времени элементов с ростом  $Z$  будет происходить рост величины  $N/Z$ .

Установленные соотношения (4.27) также позволяют оценить порядковый номер элемента, замыкающего Периодическую систему, используя оценку максимально допустимого значения массового числа, которое было получено ранее в разделе 3.3. Таким образом, получаем следующую величину

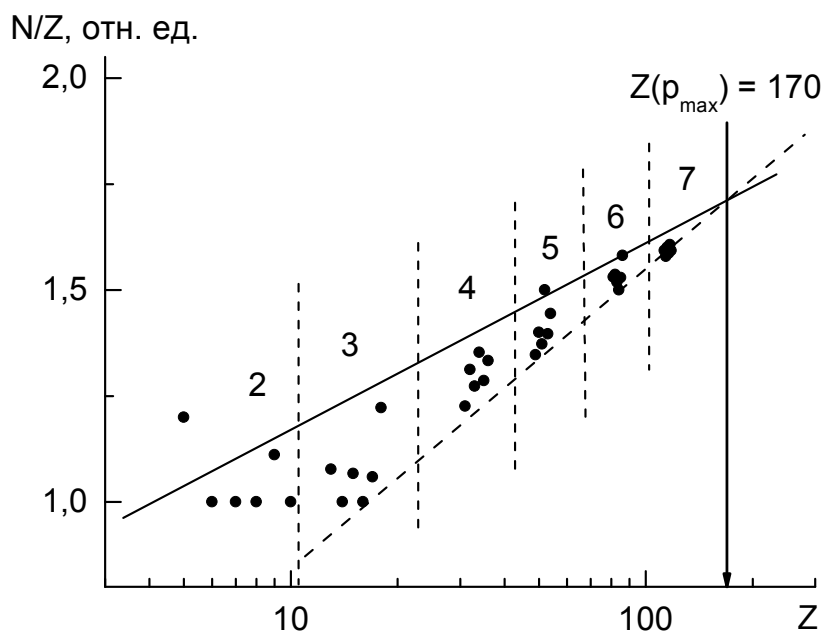
$$Z_{\max} = 170 \quad (4.28)$$

Эта оценка достаточно хорошо согласуется с результатами, полученными ранее (4.24 – 4.26).

#### 4.6 ИЗМЕНЕНИЕ НУКЛОННОГО СОСТАВА ЯДЕР ДЛЯ СЕМЕЙСТВ, ГРУПП И ПОДГРУПП ЭЛЕМЕНТОВ

Представляет интерес рассмотреть изменение содержания нейтронов от содержания протонов в атомах элементов при переходе от периода к периоду для выделенных семейств, групп и подгрупп элементов Вещества. Напомним, что в этом случае, элементы содержат идентичные заполняемые электронные орбитали, а отличаются только количеством внутренних полностью заполненных электронных орбиталей и, соответственно, количеством нуклонов в ядре. Данные зависимости рассмотрим для различных семейств и подгрупп элементов (табл. 1.6 и рис. 1.9).

Рассмотрим семейство *p-элементов* (см. табл. 1.6). На рис. 4.14 показана зависимость отношения числа нейтронов к числу протонов в ядрах атомов от атомного номера  $Z$  для всей известной совокупности *p-элементов*, т. е. фактически – это изменение нуклонного состава при переходе от периода к периоду.



**Рис. 4.14.** Изменение нуклонного состава ядер *p-элементов* при переходе от периода к периоду: символы – известные значения; числа – номера периодов

Видно, что отношение числа нейтронов к числу протонов в ядрах атомов различных *p-элементов* стремится к некоторой характерной по-

стоянной величине, которую можно оценить на уровне

$$(N/Z)(p_{\max}) = 1,72 \quad (4.29)$$

Можно предположить, что соотношение (4.29) ограничивает присутствие р-элементов в ПСАЭВ. Тогда по зависимости, показанной на рис. 4.14, можно оценить номер р-элемента, замыкающего ПСАЭВ, то есть р-элементов с номером больше этого в ПСАЭВ не будет (оценка показана на рисунке вертикальной стрелкой).

Из результатов, показанных на рис. 4.14, получаем следующее значение для предельного номера р-элементов

$$Z(p_{\max}) = 170 \quad (4.30)$$

Кроме того, используя соотношение (4.29), мы можем оценить максимальное число нейтронов в атоме этого предельного р-элемента

$$N(p_{\max}) = 292 \quad (4.31)$$

И, соответственно, определить массовое число для этого предельного р-элемента

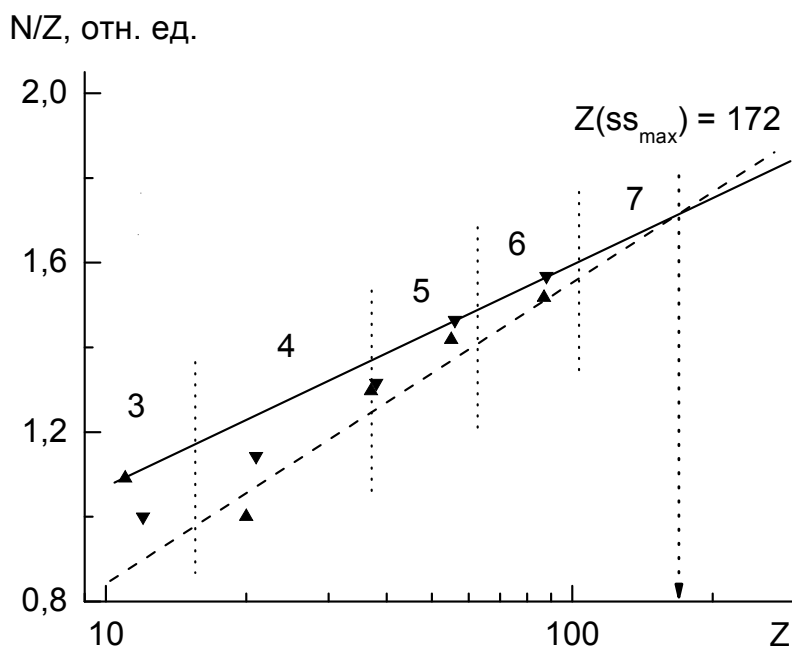
$$A(p_{\max}) = 462 \quad (4.32)$$

Таким образом, на основании анализа нуклонного состава ядер р-элементов можно сделать предположение о том, что распространение р-элементов в ПСАЭВ ограничено сверху элементом с порядковым номером  $Z_{\max}(p) = 170$ . При этом предельное значение отношения числа нейтронов к числу протонов в ядрах р-элементов составляет  $\sim 1,72$  и, соответственно, предельное значение массового числа для р-элементов составляет 462.

Далее рассмотрим подгруппу **ss-элементов** (см. табл. 1.6). На рис. 4.14 показано изменение нуклонного состава ядер ss-элементов при переходе от периода к периоду. В данном случае из рассмотрения мы исключили элементы, которые имеют электронные орбитали только s-типа, поскольку, как показано на рис. 4.5, для этих элементов обнаруживается специфическая зависимость удельной энергии связи нуклонов в ядре от порядкового номера элемента. Кроме того, для них наблюдается специфическая зависимость числа нейтронов от числа протонов, как это показано на рис. 4.11 и отражено в соотношении (4.27).



Также как, и в случае р-элементов, для ss-элементов на представленной зависимости выделяется некая характерная точка, что позволяет



**Рис. 4.15.** Изменение нуклонного состава ядер ss-элементов при переходе от периода к периоду: символы – известные значения; числа – номера периодов

предположить, что именно в этой точке и будет ограничено появление ss-элементов в Периодической системе.

Таким образом, совокупность результатов, показанных на рис. 4.15 позволяет оценить порядковый номер ss-элемента (как и в предыдущем случае, результат оценки показан вертикальной стрелкой), который ограничивает присутствие элементов данного вида в ПСАЭВ

$$Z(ss_{\max}) = 172 \quad (4.33)$$

Полученная оценка, также как это наблюдалось ранее и для р-элементов, достаточно хорошо согласуется с оценками по определению порядкового номера элемента, ограничивающего Периодическую систему элементов, сделанными ранее [1].

Кроме того, для ss-элементов получаем предельное значение отношения числа нейтронов к числу протонов, которое идентично полученному ранее для р-элементов (4.29).

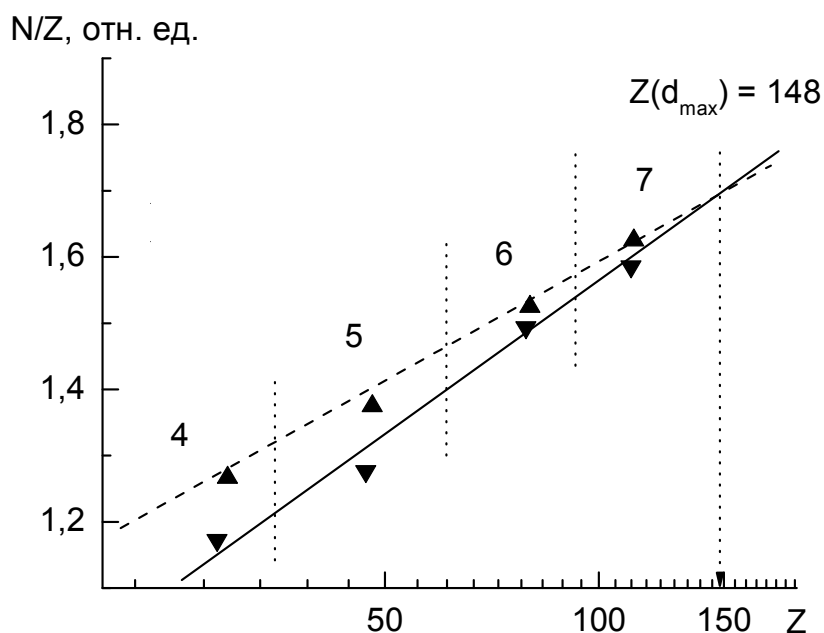
Аналогичным образом для ss-элементов можно оценить число ней-

тронов и массовое число для элемента, ограничивающего появление элементов данной подгруппы в ПСАЭВ

$$\begin{aligned} N(ss_{\max}) &= 296 \\ A(ss_{\max}) &= 468 \end{aligned} \quad (2.34)$$

Суммируя представленные выше результаты по анализу нуклонного состава ядер ss-элементов, можно предположить, что распространение ss-элементов в ПСАЭВ ограничено элементом с порядковым номером  $Z(ss_{\max}) = 172$ , при этом максимальное значение отношения числа нейтронов к числу протонов в ядрах ss-элементов составляет  $\sim 1,72$ , а массовое число будет равно 468.

Подобным же образом рассмотрим семейство *d-элементов*. Для этих элементов на рис.4.16 показано изменение нуклонного состава ядер при переходе от периода к периоду. В данном случае мы наблюдаем результаты, аналогичные по виду результатам, наблюдаемым ранее для других типов элементов ПСАЭВ.



**Рис. 4.16.** Изменение нуклонного состава ядер *d-элементов* при переходе от периода к периоду: символы – известные данные; числа – номера периодов

Тогда аналогичным образом можно оценить номер *d-элемента*, ограничивающего распространение элементов данного вида в Периодической системе

$$Z(d_{\max}) = 148 \quad (4.38)$$

Предельное значение отношения числа нейтронов к числу протонов в ядрах d-элементов можно оценить на уровне

$$\left(\frac{N}{Z}\right)(d_{\max}) = 1,70 \quad (4.39)$$

Тогда, для содержания нейтронов в ядре предельного элемента и массового числа получаем

$$\begin{aligned} N(d_{\max}) &= 251 \\ A(d_{\max}) &= 399 \end{aligned} \quad (4.40)$$

Т. е. d-элементы в ПСАЭВ ограничены элементом с порядковым номером 148, а максимальное отношение числа нейтронов к числу протонов будет достигать 1,70, при этом число нейтронов для предельного элемента равно 251, а массовое число – 399.

Для подгруппы *f-элементов* (см. табл. 1.6. рис. 1.9) аналогичные зависимости представлены на рис. 4.17. Оценить порядковый номер элемента данного типа, который замыкает Периодическую систему подобно тому, как мы делали ранее, не представляется возможным.

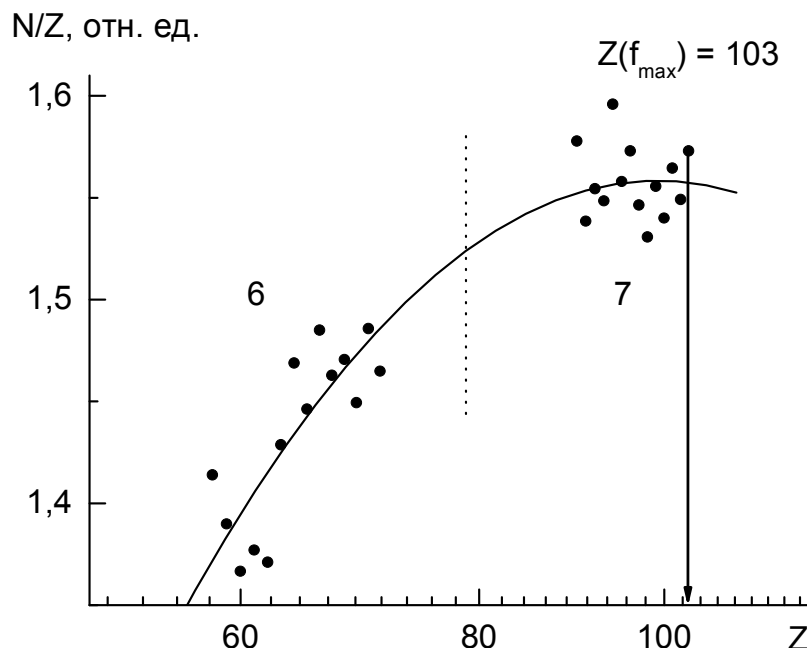
Результаты, представленные на рис. 4.15 для элементов данного вида, позволяют оценить максимальное значение отношения числа нейтронов к числу протонов в ядрах атомов элементов данного вида

$$(N/Z)(f_{\max}) = 1,60 \quad (2.41)$$

Поскольку для всех других типов элементов мы обнаруживали максимальное значение отношения  $N/Z$  только в случае предельного элемента, ограничивающего появление элементов данного вида в Периодической системе, а для f-элементов, наблюдаем, максимальное значение  $N/Z$  уже в седьмом периоде, то можно предположить, что в дальнейшем подобные элементы не появятся. Тогда для f-элементов получаем

$$Z(f_{\max}) = 103 \quad (2.42)$$

И, соответственно, получаем, что максимальное отношение  $(N/Z)$ , число протонов в ядре, число нейтронов и массовое число будут со-



**Рис. 4.17** Изменение нуклонного состава *f*-элементов при переходе от периода к периоду: символы – известные данные; числа – номера периодов; сплошная линия – результат статистической обработки

ответствовать предельному элементу для данной подгруппы – Lr

$$\begin{aligned}
 Z(f_{\max}) &= 103 \\
 (N/Z)_{\max} &= 1,53 \\
 N(f_{\max}) &= 158 \\
 A(f_{\max}) &= 261
 \end{aligned}
 \tag{2.43}$$

Таким образом, анализ изменения нуклонного состава ядер атомов для различных семейств и подгрупп элементов при переходе от периода к периоду, позволяет предположить их конечность в Периодической системе. А также оценить порядковый номер конечного элемента для выделенных семейств и подгрупп, максимальное значение отношения числа нейтронов к числу протонов, число протонов в ядре и, соответственно, массовое число ядра.

Следует отметить, что выполненные оценки предельного номера элемента, ограничивающего появление элементов данного семейства в Периодической системе, которые представлены выше, являются приблизительными. Однако, как будет показано позднее, они достаточно

хорошо согласуются как с другими подходами к оценке конечности Периодической системы, так и с предлагаемой структурой Периодической системы с учетом ее конечности.

Анализ изменения нуклонного состава ядер для различных семейств и подгрупп элементов при переходе от периода к периоду позволяет оценить максимальное значение отношения числа нейтронов к числу протонов в ядрах атомов. Несмотря на незначительное, вроде бы, расхождение в полученной предельной величине отношения числа нейтронов к числу протонов для различных семейств и подгрупп элементов (в диапазоне от 1,57 до 1,72, что соответствует разбросу около 5% от среднего значения), выявленные отличия проявляются достаточно четко, что позволяет сделать вывод о высокой чувствительности нуклонного состава ядер к строению электронной оболочки атомов.

В таблице 4.1 суммированы оценки для предельных элементов различных семейств и подгрупп, которые получены в результате анализа нуклонного состава ядер атомов в зависимости от строения их электронной оболочки.

Результаты, представленные в таблице 4.1, позволяют сделать вывод о том, что Периодическая система должна заканчиваться элементом ss-типа с порядковым номером 172, при этом максимальное значение массового числа будет составлять  $A = 462$ . Полученная таким образом оценка максимального значения массового числа несколько меньше, оценки полученной ранее (см. раздел 2.3).

**Таблица 4.1. Некоторые характеристики предельных элементов**

Семейства и подгруппы элементов	p	ss	d	f
Максимальный порядковый номер элемента	170	172	148	103
Максимальное значение (N/Z)	1,72	1,72	1,70	1,53
Число нейтронов в ядре атома	292	296	251	158
Массовое число	462	468	399	261

Далее мы вернемся к анализу закономерностей изменения нуклонного состава ядер в Главе 5, в которой будем рассматривать ПСАЭВ, построенную с учетом конечности элементов.

#### РЕЗЮМЕ К ГЛАВЕ 4

1. Ядерная модель строения атомов элементов является общепризнанной. Разработано несколько моделей ядра (капельная, оболочечная и т.д.), которые позволяют объяснить многие факты, но законченной модели ядра пока нет.
2. Радиус ядер определяется количеством нуклонов, образующих ядро, при этом плотность ядерного вещества для всех известных элементов близка к константе и составляет величину  $\rho_{\text{я}} \sim 2,7 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3$ . Оценка минимальной энергии нуклонов в ядре дает величину около 6 МэВ. Полученная оценка позволяет предположить, что при энергии нуклона в ядре больше 6 МэВ, он вполне способен покинуть ядро, т. е. ядро с такими нуклонами будет неустойчиво по определению.
3. Введение понятия энергии связи нуклонов в ядре позволяет объяснить дефицит массы, который проявляется как разность между суммой масс нуклонов в свободном состоянии и массой ядра, когда нуклоны, образующие ядро находятся в связанном состоянии. Капельная модель ядра позволяет получить полуэмпирическую формулу Вейцеккера для энергии связи нуклонов в ядре атомов элементов на основании дефицита массы, которая достаточно хорошо согласуется с известными данными при  $A > 10$ , и практически не работает при меньших значениях  $A$ .
4. Выделение «чистых» *s*-элементов, как элементов, которые содержат электронные орбитали только *s*-типа, позволяет предположить, что для этих элементов формула Вейцеккера **не применима**. В данном случае, удельная энергия связи нуклонов в ядре, т. е. энергия связи всех нуклонов ядра отнесенная к количеству нуклонов, образующих ядро, может быть описана квадратичной функцией от массового числа  $A$ , минимум которой приходится на  $A = 2$ .
5. Представленный анализ зависимости удельной энергии связи ядер от массового числа  $A$  позволяет предположить, что Периодическая система атомов элементов Вещества ограничена сверху элементом с массовым числом  $A_{\text{max}} = 468$ , при условии, что удельная энергия связи не может быть менее 6 МэВ. Это ограничение по энергии связи также удовлетворяет и нижнему пределу Системы, если мы исключим из рассмотрения «чистые» *s*-элементы.
6. Закономерности изменения числа нейтронов в зависимости от числа протонов внутри периодов позволяет объединить известные периоды в группы (классы) по типам имеющихся электронных орбиталей: первый период – только *s*-орбитали; второй и третий периоды – *s*- и *p*-

орбитали; четвертый и пятый периоды – s-, p- и d-орбитали; шестой и седьмой периоды – s-, p-, d- и f-орбитали.

7. Соотношение между нуклонами в ядрах атомов элементов, которое наблюдается на практике для наиболее стабильных изотопов, очень четко отражает строение электронных оболочек уже всего атома в целом, что является наглядной демонстрацией связи основных положений ядерной физики с основными положениями атомной физики. Таким образом, установленные закономерности подтверждают высказанную ранее гипотезу о наличии связи между Периодической системой атомов элементов Вещества и Периодической системой ядер элементов Вещества.
8. Анализ нуклонного состава ядер ss-, p-, d- и f-элементов позволяет оценить нуклонный состав и номер элементов, отнесенных нами к различным семействам, группам и подгруппам, которые замыкают ПСАЭВ (таблица 4.1).

## ГЛАВА 5. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АТОМОВ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕЩЕСТВА С УЧЕТОМ ЕЕ КОНЕЧНОСТИ

Ранее мы уже отмечали, что вплоть до настоящего времени неоднократно предпринимались попытки продлить ПСАЭВ. При этом чаще всего, осуществлялось механическое продление полностью установленного, к настоящему времени, седьмого периода путем добавления восьмого и девятого периодов. При этом в восьмом периоде добавляли электронную орбиталь g-типа, которая ранее не наблюдалась. Особенно интенсивно подобные попытки предпринимались в 60-70-е годы XX века в связи с интенсивным развитием вычислительной техники.

В работе Б.М. Кедрова и Д.Н. Трифонова [6] достаточно подробно описаны различные оценки конечности Периодической системы путем такого механического продления, но ни одна из них не увенчалась успехом.

Д.В. Сивухин [10] рассмотрел несколько иное ограничение Периодической системы. Электрон в электронной оболочке атома, который наиболее близко расположен к ядру атома, не может приблизиться к центру ядра на расстояние меньше чем его радиус. Такой электрон сразу же поглотился бы ядром, а это автоматически привело бы к уменьшению атомного номера элемента. С учетом того, что захват электрона может происходить и на расстояниях много больших радиуса ядра вследствие проявления туннельного эффекта Д.В. Сивухин приводит оценку максимального значения  $Z_{\max} \sim (180 - 200)$ . Но при этом отмечает, что, скорее всего, Периодическая система заканчивается раньше, поскольку ее верхнюю границу необходимо связывать не с неустойчивостью электронной оболочки, а с неустойчивостью ядра. Хотя на наш взгляд эти два ограничения (ограничения с точки зрения стабильности ядра и ограничение с точки зрения стабильности электронной оболочки) необходимо рассматривать в комплексе. Следует отметить, что данная оценка верхней границы ПСАЭВ достаточно близка к результатам, полученным нами ранее в [1].

В данной работе мы будем рассматривать структуру ПСАЭВ с учетом ее конечности, которая была ранее представлена в [1], поскольку эта работа является, в некоторой степени, логическим продолжением указанной публикации.



## 5.1 СТРУКТУРА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АТОМОВ

Результаты, представленные в предыдущих разделах работы, а также материалы, опубликованные в [1] позволяют предложить структуру ПСАЭВ с учетом ее конечности. Предлагаемая структура ПСАЭВ является единственным возможным вариантом, который полностью удовлетворяет всем полученным оценкам предельных номеров элементов для выделенных семейств, групп и подгрупп элементов.

Рассмотрим более подробно структуру ПСАЭВ [1] с учетом ее конечности, которая представлена в сокращенном варианте в таблице 5.1 и в полном варианте на рис. 5.1.

В таблице 5.1 указаны номера элементов, образующих рассматриваемый период, и выделены элементы, которые ограничивают данное семейство элементов в Периодической системе. Кроме того, в таблице 5.1 введено новое структурное деление – *класс*, появление которого было обосновано нами ранее в [1] и частично приведено в предыдущих разделах. В данном случае мы обозначили класс  $K_e$  – как класс ПСАЭВ, поскольку в дальнейшем будет показано, что ПСЯЭВ также имеет подобную категорию  $K_d$ .

*Таблица 5.1. Периодическая система атомов элементов Вещества с учетом ее конечности*

Класс  К <sub>е</sub>	Период  n <sub>е</sub>	Семейства элементов				
		s-элементы				p-элементы  p <sup>1</sup> -p <sup>6</sup>
		ss-элементы s <sup>1</sup> -s <sup>2</sup>	d-элементы			
			d <sup>1</sup>	f-элементы f <sup>1</sup> – f <sup>14</sup>	d <sup>2</sup> -d <sup>10</sup>	
I	1	1-2				
II	2	3-4				5-10
	3	11-12				13-18
III	4	19-20	21		22-30	31-36
	5	37-38	39		40-48	49-54
IV	6	55-56	57	58-71	72-80	81-86
	7	87-88	89	90- <b>103</b>	104-112	113-118
V	8	119-120	121		122-130	131-136
	9	137-138	139		140- <b>148</b>	149-154
VI	10	155-156				157-162
	11	163-164				165- <b>170</b>
VII	12	<b>171-172</b>				

СЕМЕНСТВА												ЭЛЕМЕНТОВ																							
s-элементы												d-элементы												p-элементы											
ss-элементы												d <sup>1</sup> -d <sup>8</sup> -элементы												d <sup>9</sup> -d <sup>10</sup> элементы											
элементы												элементы												элементы											
d <sup>1</sup>												элементы												элементы											
ss <sup>2</sup>												ss <sup>2</sup>												ss <sup>2</sup>											
ss <sup>1</sup>												ss <sup>1</sup>												ss <sup>1</sup>											
Период												Период												Период											
Класс												Класс												Класс											
1	2	3	4	5	6	Лантаноиды						Актиноиды						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>											
II						57 La 139 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
III						39 Y 89 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
IV						38 Sr 88 4s <sup>2</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
V						19 K 39 4s <sup>1</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
VI						11 Na 23 3s <sup>1</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
VII						2 He 4 1s <sup>2</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
VIII						10 Ne 20 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
IX						9 F 19 2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
X						8 O 16 2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
XI						7 N 14 2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
XII						6 C 12 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
XIII						5 B 11 2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
XIV						4 Be 9 2s <sup>2</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
XV						3 Li 7 2s <sup>1</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
XVI						2 He 4 1s <sup>2</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
XVII						1 H 1 1s <sup>1</sup>						89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	
XVIII												89 Ac 227 7s <sup>1</sup>						154 ? 417 9s <sup>2</sup> 162 ? 440 10s <sup>2</sup> 170 ? 462 11s <sup>2</sup> 11p <sup>6</sup>																	

**Рис. 5.1.** Предлагаемая структура Периодической системы с учетом ее конечности

Из представленных результатов видно, что каждый класс объединяет по два периода Системы, которые характеризуются идентичным набором заполняемых в рассматриваемых периодах электронных орбиталей. Исключение составляют первый и седьмой классы, которые состоят из одного периода, соответственно первого и двенадцатого.

Все попытки, предпринятые для поиска какой-то другой структуры Периодической системы на основе полученных оценок, оказались безуспешными.

***Таким образом, предлагаемая Периодическая система, построенная с учетом конечности каждого из выделенных семейств, групп и подгрупп элементов и содержит 172 элемента, 12 периодов и семь классов.***

Напомним закономерности, характерные для вновь введенного структурного признака Системы – «класс». Если посмотреть структуру ПСАЭВ (рис. 5.1), то видно, что каждый новый класс образуют два периода, первый из них всегда четный, а второй – нечетный. Исключение составляют только аномальные первый и двенадцатый периоды, каждый из которых мы выделили в отдельный класс.

Каждый класс характеризуется тем, что в нем ***впервые*** появляются характерные для данного класса изменения в заполняемой части электронной оболочки атомов.

Первый класс мы можем рассматривать как переходной этап ***от Системы фундаментальных частиц к ПСАЭВ! В этом его аномальность?***

В этом случае можно говорить о том, что ***простейшее объединение фундаментальных частиц (протона, электрона и нейтрона) дает водород и гелий, а это фундамент всей ПСАЭВ в целом.***

Такое предположение, на наш взгляд, достаточно обосновано сказанным выше, поскольку именно ***водород и гелий*** образуют первый ***аномально короткий*** класс ПСАЭВ. Таким образом, уже в первом аномально коротком классе ПСАЭВ должно присутствовать все многообразие фундаментальных частиц, образующих элементы Вещества.

***Для второго – четвертого классов*** характерно то, что в каждом первом (четном) периоде класса, по мере роста номера класса наблюдается появление ***новой электронной орбитали*** в составе электронной оболочки атома, заполняемой в данном периоде.

Второй период (нечетный), входящий в данный класс, характеризуется ***дублированием новой электронной оболочки с вновь появившейся электронной орбиталью.***

Новые электронные орбитали по мере роста номера класса ***появляются*** в следующей последовательности – s, p, d и f. В принципе, из-

ложенных выше рассуждений уже вполне достаточно для введения нового структурного признака Системы – **«класс»**.

**Начиная с пятого класса**, обнаруживается иная закономерность в появляющейся новой электронной оболочке, заполняемой в рассматриваемом классе. Каждый первый (четный) период, образующий новый класс, характеризуется **исчезновением** одного из подвидов электронных орбиталей **в новой**, заполняемой в данном периоде, электронной оболочке. Во втором (нечетном) периоде, образующем класс, происходит **дублирование новой** электронной оболочки **с исчезнувшей электронной орбиталью**.

**Исчезновение** электронных орбиталей в заполняемой части электронной оболочки происходит в обратной последовательности по сравнению с их появлением – f, d и p.

Но седьмой класс – **аномален**, подобно первому классу, поскольку его образует только один двенадцатый период. В чем причина этой аномальности?

**Возможно, именно здесь ПСАЭВ контактирует с «темным веществом» Вселенной?**

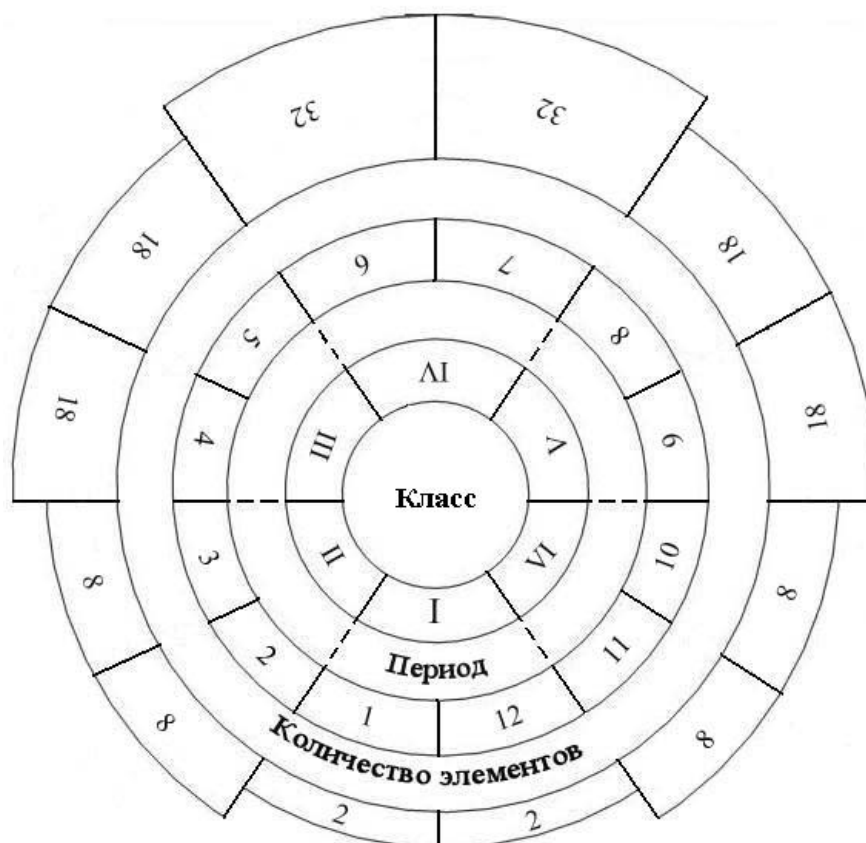
С другой стороны можно попытаться объединить в один класс первый и двенадцатый периоды, что позволяет получить замкнутую структуру ПСАЭВ, которая показана на рис. 5.2. Здесь указаны номера периодов, номера классов и количество элементов в каждом периоде. Конечно, такое замыкание в некоторой степени является искусственным. Отметим, что замкнутую структуру ПСАЭВ (рис.5.2) следует рассматривать в виде витка спирали.

Кроме рассмотренного выше объединения периодов в классы можно ввести и несколько иное объединение периодов.

Если внимательно посмотреть на данные, представленные в таблице 5.1, на рис. 5.1 и рис.5.2, то можно объединить периоды по количеству элементов, которые содержатся в них, при этом мы получим одинаковую сумму объединяемых номеров периодов, как это показано в таблице 5.2. В этом случае объединяются периоды с одинаковыми структурами заполняемых в данном периоде электронных оболочек, с одинаковым количеством элементов в периодах, отличие только во внутренних заполненных оболочках.

Исходя из данных, представленных в таблице 5.2, можно также предположить о существовании возможности объединения периодов ПСАЭВ с одинаковым содержанием элементов в некоторое новое образование.

Представленная структура ПСАЭВ показывает очень четкую симметрию в распределении элементов по периодам.



**Рис. 5.2.** Замкнутая структура ПСАЭВ с учетом ее конечности: показаны классы – (I, II, ..., VI); периоды – 1, 2, 3, ..., 12 и количество элементов в периоде – 2, 8, 18, 32

**Таблица 5.2.** Возможное объединение периодов ПСАЭВ

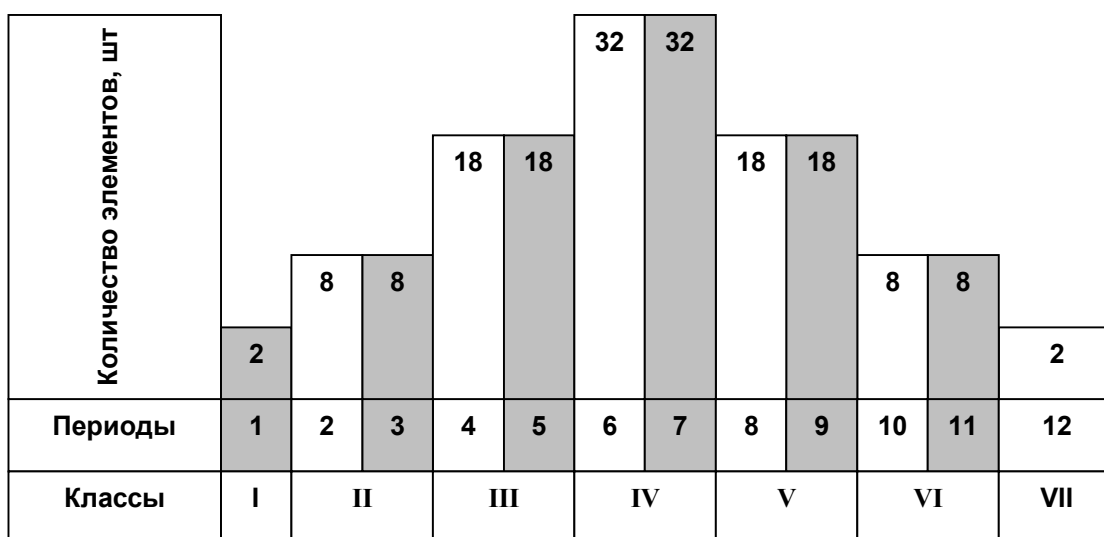
№ п/п	Объединяемые периоды		Количество элементов	$\Sigma(n_{e1} + n_{e2})$
	$n_{e1}$	$n_{e2}$		
1	1		2	13
		12	2	
2	2		8	13
		11	8	
3	3		8	13
		10	8	
4	4		18	13
		9	18	
5	5		18	13
		8	18	
6	6		32	13
		7	32	

Таким образом, на основании полученных оценок о конечности для каждого из семейств и подгрупп элементов предложена структура ПСАЭВ, которая включает 172 элемента, 12 периодов и 6 классов. Каждый класс объединяет два периода, первый из которых – четный, а второй – нечетный. Исключение составляют первый и шестой классы с минимальным содержанием элементов, в состав которых входит по одному периоду (первый и двенадцатый, соответственно). Кроме того, для описания строения электронных оболочек всех атомов ПСАЭВ вполне достаточно электронных орбиталей s-, p-, d- и f-типа.

## 5.2 ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПЕРИОДАМ

Многие исследователи неоднократно поднимали вопрос об отсутствии симметрии в структуре ПСАЭВ. Но даже предварительный взгляд на предлагаемую структуру (таблица 5.1, рис. 5.1), показывает наличие очень четкой симметрии в распределении элементов по классам и периодам. При этом выявляются идентичные законы распределения количества элементов по четным и нечетным периодам Системы, как это будет показано ниже.

На рис. 5.3 представлена гистограмма распределения элементов по периодам предлагаемой ПСАЭВ, где особо выделены нечетные и четные периоды. Аналогичные результаты в графическом виде показаны на рис. 5.4.



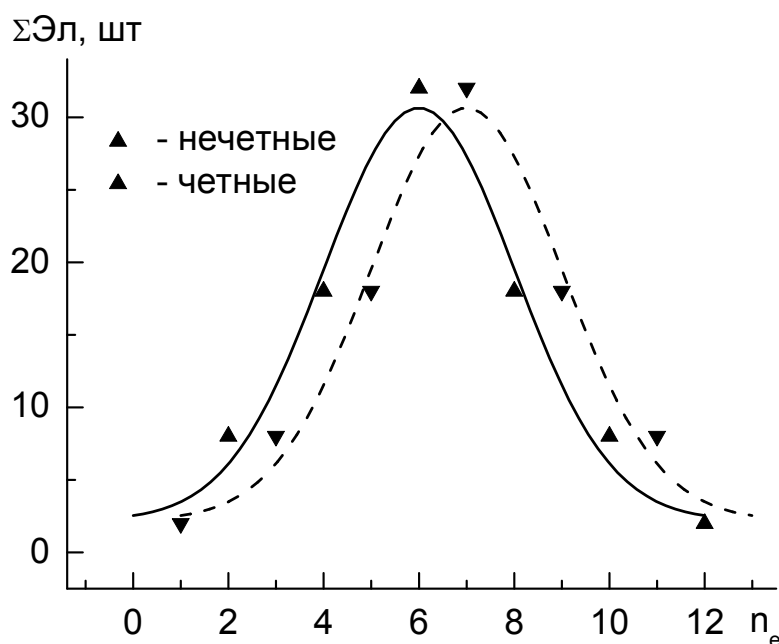
**Рис. 5.3.** Гистограмма распределения элементов по периодам ПСАЭВ

Следует отметить, что деление «четный-нечетный» является достаточно важным как в квантовой физике, так и в атомной и ядерной физике в целом. Примером может служить представленный в Главе 4 анализ закономерностей изменения удельной энергии связи ядер, где показано, что получаемые закономерности существенным образом зависят от четности-нечетности нуклонного состава ядер.

Кроме этого, важность деления «четный-нечетный» для ПСАЭВ в целом показана нами выше при рассмотрении нового структурного признака — класс.

На рис.5.4 символами показано количество элементов в каждом из периодов, а линиями — распределение элементов по нормальному закону. Видно, что наблюдается достаточно хорошее совпадение наблюдае-





**Рис. 5.4.** Распределение элементов по четным и нечетным периодам предлагаемой ПСАЭВ

мых величин с распределением Гаусса (коэффициент корреляции 0,9776), которое является наиболее часто встречающимся распределением в самых разнообразных научных дисциплинах в области Естествознания.

Распределение элементов по периодам, как для нечетных, так и для четных периодов, описывается идентичным соотношением. Различие для четных и нечетных периодов состоит только в том, что для нечетных периодов центр распределения Гаусса находится при  $n_e = 7$ , а для четных – при  $n_e = 6$ , а остальные характеристики распределения полностью идентичны.

Рассмотрим более подробно распределение элементов по периодам. Поскольку обычно номер периода связывают с главным квантовым числом  $n_e$ , тогда, с учетом других квантовых чисел максимальное количество элементов (соответственно максимальное количество электронов на электронных орбиталях для элемента с максимальным порядковым номером для рассматриваемого периода), образующих период можно определить по следующей формуле (см. соотношение (2.10))

$$\Sigma \text{Эл}_T(n_e) = 2 \cdot n_e^2 \quad (5.1)$$



где  $\Sigma \text{Эл}_T(n_e)$  – теоретическое количество элементов в периоде  $n_e$ .

Иначе данную величину  $\Sigma \text{Эл}_T(n_e)$  можно назвать **теоретической емкостью периода**.

Из сопоставления соотношения (5.1) и данных, представленных в таблице 5.1 и на рис.5.1 видно, что в реальности количество элементов во многих периодах существенно отличается от расчетного значения. Исключение составляют только первый и второй периоды, для которых расчетное значение количества элементов полностью совпадает с реальным количеством элементов. Но здесь, следует особо подчеркнуть, что именно эти периоды начинают список нечетных и четных периодов ПСАЭВ. Кроме того, видно, что с ростом номера периода возрастает расхождение между расчетным количеством элементов и величиной, наблюдаемой на практике, т.е. возрастает расхождение между теоретической и реальной емкостью периодов.

Тогда можно ввести понятие **дефицита элементов в периоде**, величина которого будет определяться следующей формулой

$$\Delta \text{Эл}(n_e) = \Sigma \text{Эл}_T(n_e) - \Sigma \text{Эл}_P(n_e) \quad (5.2)$$

где  $\Delta \text{Эл}(n_e)$  – дефицит количества элементов в  $n$ -ом периоде;  $\Sigma \text{Эл}_P(n_e)$  – количество элементов в периоде, наблюдаемое на практике, или **реальная емкость периода**.

Таким образом, **дефицит элементов в периоде** ПСАЭВ определяется **теоретическим количеством элементов в периоде (теоретической емкостью периода)** за вычетом реального количества элементов, т. е. **реальной емкости периода**.

Рассмотренное выше несоответствие между теоретической и реальной емкостью периода настолько явно, что не понятно, почему ранее на это не обращали внимание. Даже в известной части ПСАЭВ величина дефицита элементов в периодах достаточно велика.

Сосредоточимся на анализе зависимости реальной емкости периода от номера периода. В таблице 5.3 систематизированы данные о расчетном и реальном количестве элементов во всех периодах ПСАЭВ. В данном случае мы, также как и ранее, рассматриваем нечетные и четные периоды отдельно, поэтому они выделены в отдельные подразделы таблицы.

Результаты, представленные в таблице 5.3, позволяют записать следующую формулу для определения реальной емкости как четного, так и нечетного периодов

$$\Sigma \mathcal{E}_{\text{л}_p}(n_e) = 2 \cdot (n_e - a)^2 \quad (5.3)$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности, величина которого определяется номером периода и его нечетностью или четностью.

**Таблица 5.3.** Содержание элементов в нечетных и четных периодах

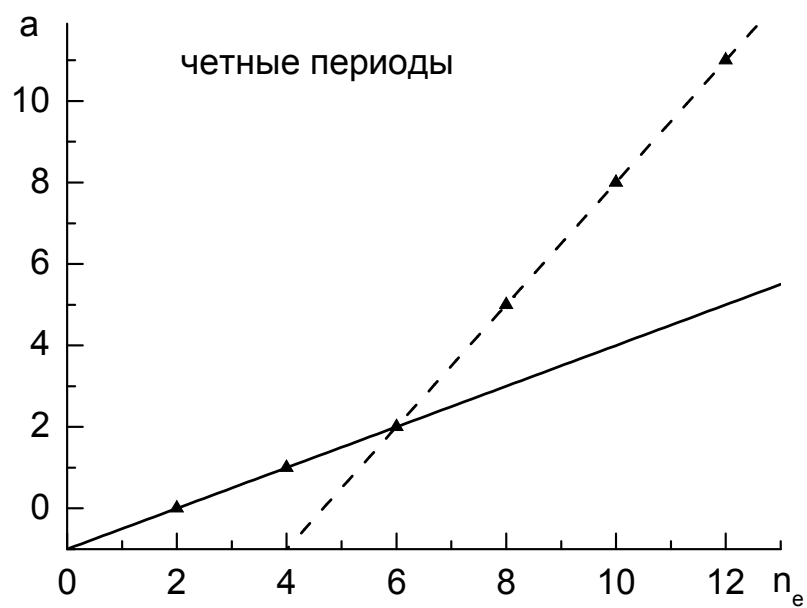
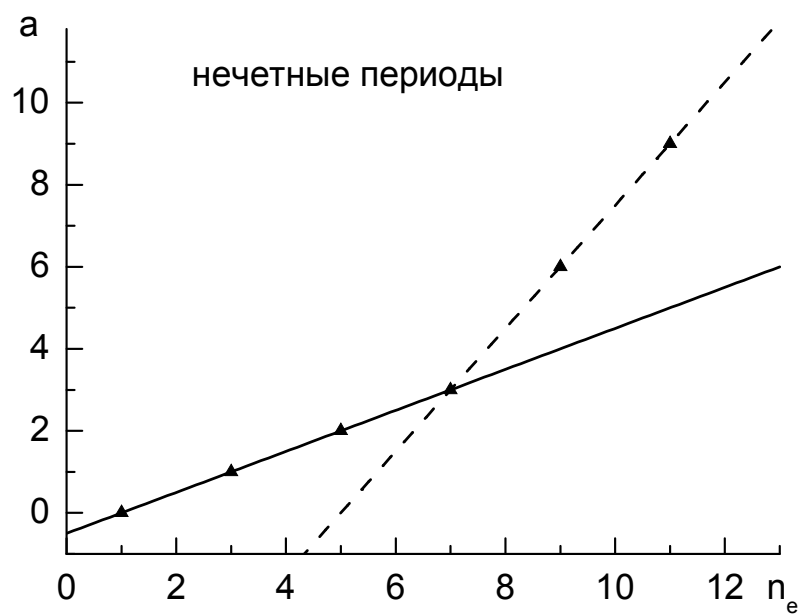
Нечетные периоды	$\Sigma \mathcal{E}_{\text{л}_t}(n_e)$	$\Sigma \mathcal{E}_{\text{л}_p}(n_e)$	$\Sigma \mathcal{E}_{\text{л}_p}(n_e)$
1	2	2	$2 \cdot (n-0)^2$
3	18	8	$2 \cdot (n-1)^2$
5	50	18	$2 \cdot (n-2)^2$
7	98	32	$2 \cdot (n-3)^2$
9	162	18	$2 \cdot (n-6)^2$
11	242	8	$2 \cdot (n-9)^2$

Четные периоды	$\Sigma \mathcal{E}_{\text{л}_t}(n_e)$	$\Sigma \mathcal{E}_{\text{л}_p}(n_e)$	$\Sigma \mathcal{E}_{\text{л}_p}(n_e)$
2	8	8	$2 \cdot (n-0)^2$
4	32	18	$2 \cdot (n-1)^2$
6	72	32	$2 \cdot (n-2)^2$
8	128	18	$2 \cdot (n-5)^2$
10	200	8	$2 \cdot (n-8)^2$
12	288	2	$2 \cdot (n-11)^2$

На рис. 5.5 показаны зависимости коэффициента  $a$  (соотношение (5.3)) от номера периода для нечетных и четных периодов. Из представленных результатов видно, что в зависимости от номера периода выявляются две характерные зависимости. Используя установленные закономерности (рис. 5.5 и соотношение (5.3)), можно записать формулы для расчета реальной емкости периода, в которых будет отражена зависимость емкости периода от номера периода и номера класса.

Для реальной емкости нечетных периодов получаем следующую зависимость

$$\Sigma \mathcal{E}_{\text{л}_p}(\text{нечетные } n_e) = \begin{cases} \frac{(n_e + 1)^2}{2}, & n_e \leq 7, K_e \leq 4 \\ \frac{(15 - n_e)^2}{2}, & n_e \geq 7, K_e \geq 4 \end{cases} \quad (5.4)$$



**Рис. 5.5.** Зависимости коэффициента пропорциональности  $a$  в соотношении (5.3) от номера периода для нечетных и четных периодов

Соответственно для реальной емкости четных периодов получаем следующее соотношение

$$\Sigma \text{ЭЛ}_p (\text{четные } n_e) = \begin{cases} \frac{(n_e + 2)^2}{2}, & n_e \leq 6, K_e \leq 4 \\ \frac{(14 - n_e)^2}{2}, & n_e \geq 6, K_e \geq 4 \end{cases} \quad (5.5)$$

Напомним, что в данном случае величина  $K_e$  обозначает номер класса ПСАЭВ.

Следует особо отметить, что соотношения (5.4, 5.5) **абсолютно точно** описывают содержание элементов в каждом из периодов ПСАЭВ. Указанный факт позволяет говорить о том, что **данные соотношения фактически являются математической записью закона о Периодичности, открытого Д.И. Менделеевым**.

При этом особо подчеркнем, что закон о периодичности (5.4 и 5.5) содержит в себе положение о конечности ПСАЭВ, поскольку он описывает **реальное содержание элементов** в каждом из периодов ПСАЭВ.

Поскольку реальная емкость периода уже сама по себе отражает дефицит элементов в периоде, что вытекает из формулы (5.2), то результаты, представленные на рис. 5.5, и формулы (5.4, 5.5) позволяют сделать однозначный вывод о том, что **существуют два независимых механизма возникновения дефицита элементов в периодах**.

По результатам, показанным на рис. 5.5 и соотношениям (5.4, 5.5) можно также предположить, что **первый механизм** возникновения дефицита элементов в периоде **работает уже при  $K_e \leq 4$  и вплоть до последнего периода, замыкающего ПСАЭВ**, а **второй механизм** проявляется только **при  $K_e \geq 4$** .

Физическую природу возникновения механизмов возникновения дефицита элементов рассмотрим несколько позднее, но можно однозначно сказать, что они каким-то образом должны определяются следующими причинами:

- спецификой образования электронной оболочки атомов элементов;
- номером периода;
- и, возможно, новым структурным признаком Системы – **класс**.

Если посмотреть порядок формирования электронной оболочки атомов элементов (см. Приложение 2), то можно увидеть, что:

- при  $K_e \leq 4$  в каждом новом классе **впервые появляется новый**

*тип электронной орбитали;*

- в то время как при  $K_e \geq 4$  *продолжается появление новых электронных орбиталей*, но при этом в них *одновременно наблюдается и исчезновение определенных орбиталей, т.е. новые орбитали появляются в урезанном составе.*

Тогда, можно предположить, что **первый механизм** возникновения дефицита элементов в периоде *связан с появлением новых электронных орбиталей*, которые заполняются в данном периоде и это продолжается вплоть до самого последнего периода, которым заканчивается ПСАЭВ. Таким образом, действительно получаем, что первый механизм возникновения дефицита элементов в периодах ПСАЭВ действует **на протяжении всей Системы**.

Тогда можно соответственно предполагать, что второй механизм *связан с исчезновением* части орбиталей в числе орбиталей, которые заполняются электронами в данном периоде. При этом действие второго механизма возникновения дефицита элементов начинается с пятого класса Системы.

Если внимательно посмотреть на представленную структуру ПСАЭВ (рис.5.1), то очень четко видно, что второй механизм дефицита элементов в ПСАЭВ начинает работать только тогда, когда мы переходим экватор, т.е. при  $Z > 86$ .

Рассмотрим более подробно закономерности, которые характеризуют выявленные механизмы возникновения дефицита элементов в периодах ПСАЭВ.

Поскольку выявляются два механизма возникновения дефицита элементов то можно записать

$$\Delta \text{Эл}(n_e) = \Sigma \text{Эл}_1(n_e) + \Sigma \text{Эл}_2(n_e) \quad (5.5)$$

где  $\Delta \text{Эл}_1(n_e)$  – дефицит элементов в периоде, обусловленный действием **первого механизма**;  $\Delta \text{Эл}_2(n_e)$  – дефицит элементов в периоде, обусловленный **действием второго механизма**.

Тогда, используя результаты, представленные в таблице 5.3, и соотношение (5.5) можно получить данные о «**чистом**» вкладе второго механизма в дефицит элементов и сделать анализ закономерностей его проявления. При этом мы будем основываться на выводе, сделанном ранее о том, что первый механизм возникновения дефицита элементов работает на протяжении всей ПСАЭВ.

В таблице 5.4 представлены полученные результаты для различных механизмов возникновения дефицита элементов. В данном случае мы

также делим периоды на нечетные и четные, что отражаем путем использования отдельных подразделов данной таблицы.

**Таблица 4.4.** Дефицит элементов в нечетных и четных периодах ПСАВ, обусловленный различными механизмами

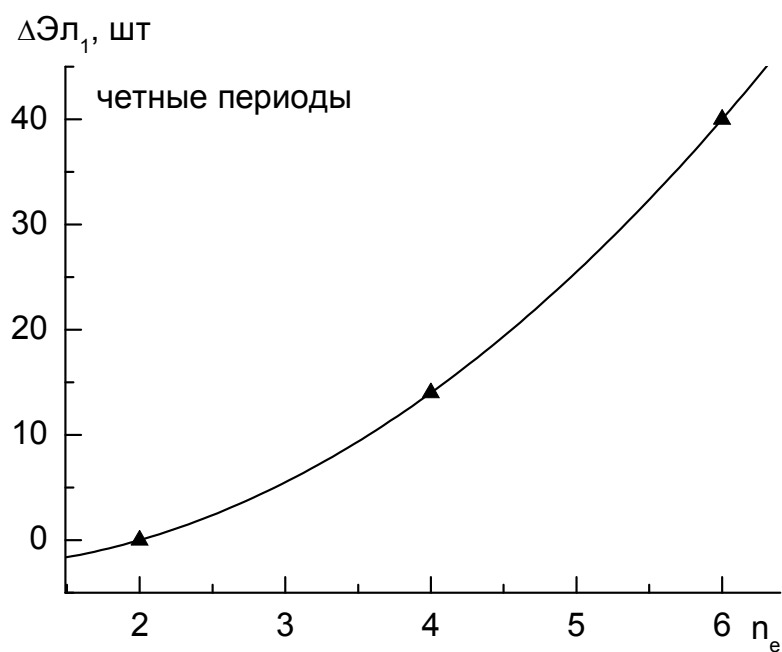
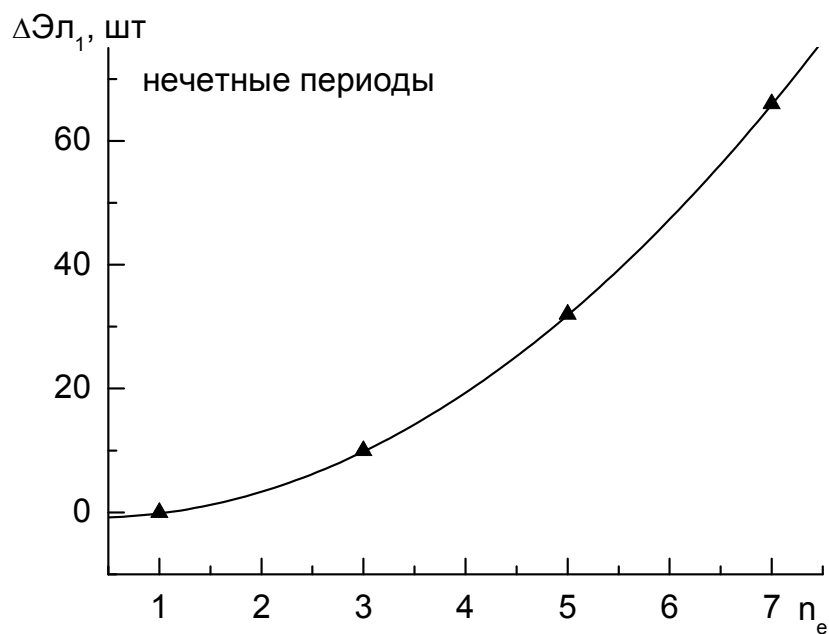
Период нечетный $n_e$	$\Sigma \text{Эл}_T(n_e)$	$\Delta \text{Эл}_1(n_e)$	$\Delta \text{Эл}_2(n_e)$	$\Sigma \text{Эл}_p(n_e)$
1	2	0	-	2
3	18	10	-	8
5	50	32	-	18
7	98	66	0	32
9	162	<b>112</b>	32	18
11	242	<b>170</b>	64	8

Период четный $n_e$	$\Sigma \text{Эл}_T(n_e)$	$\Delta \text{Эл}_1(n_e)$	$\Delta \text{Эл}_2(n_e)$	$\Delta \text{Эл}_p(n_e)$
2	8	0	-	8
4	32	14	-	18
6	72	40	0	32
8	128	<b>78</b>	32	18
10	200	<b>128</b>	64	8
12	288	<b>190</b>	96	2

Рассмотрим более подробно результаты, представленные в таблице 5.4. Анализ начнем с нечетных периодов. Используя формулу (5.2) дефицит элементов, обнаруживаемый в нечетных периодах с  $n_e \leq 7$ , мы приписываем первому механизму возникновения дефицита элементов. Полученные таким образом результаты представлены в первой части таблицы 5.4 и показаны на рис. 5.6. Здесь символами представлены данные, приведенные в таблице 5.4, а линией – расчет по следующему соотношению

$$\Delta \text{Эл}_1(\text{нечетные } n_e) = \frac{1}{6} \cdot [(3n_e - 1)^2 - 5] \quad (5.6)$$

Далее, используя соотношение (5.6), мы рассчитываем дефицит элементов, обусловленный первым механизмом, для периодов с  $n \geq 7$ . Полученные, таким образом, результаты для нечетных периодов пред-



**Рис. 5.6.** Дефицит элементов в нечетных и четных периодах ПСАЭВ, обусловленный действием первого механизма: символы – известные данные; линии расчет по соотношениям (5.6, 5.7), соответственно

ставлены в таблице 5.4 и выделены жирным шрифтом.

Аналогичным образом для четных периодов с  $n \leq 6$  (см. рис. 5.6 и таблица 5.4) получаем следующее соотношение

$$\Delta \text{Эл}_1(\text{четные } n_e) = \frac{1}{6} \cdot [(3n_e - 2)^2 - 16] \quad (5.7)$$

Особо отметим, что соотношения (5.6) и (5.7) описывают дефицит элементов в периодах ПСАЭВ *с абсолютной точностью*.

Далее рассчитываем дефицит элементов вследствие действия первого механизма для четных периодов с  $n_e \geq 6$ , используя установленное соотношение (5.7). Полученные результаты также представлены в таблице 5.4 и на рис. 5.6. Как и в предыдущем случае, результаты расчета для четных периодов по соотношению (5.7) выделены в таблице 5.4 жирным шрифтом.

Таким образом, мы установили соотношения, которые описывают дефицит элементов вследствие проявления первого механизма во всех периодах ПСАЭВ.

Далее разность между наблюдаемым на практике дефицитом элементов в периодах с  $n_e \geq 7$  для нечетных периодов и с  $n_e \geq 6$  для четных периодов приписываем действию второго механизма. Полученные таким образом результаты для второго механизма дефицита элементов показаны в таблице 5.4, кроме того, они представлены на рис. 5.7.

Проявление второго механизма возникновения дефицита элементов может быть описано следующими соотношениями для нечетных периодов

$$\Delta \text{Эл}_2(\text{нечетные } n_e) = 16 \cdot (n_e - 7) \quad (5.8)$$

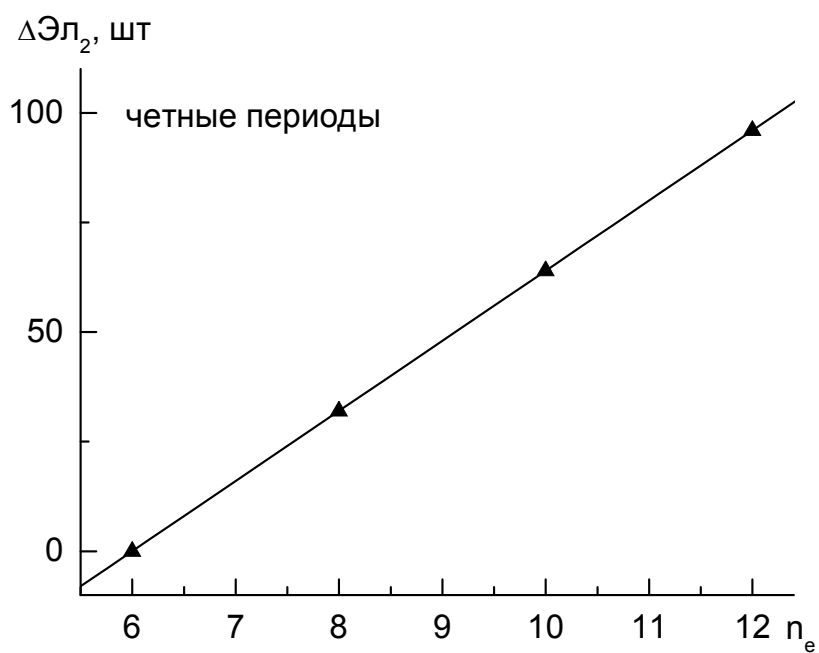
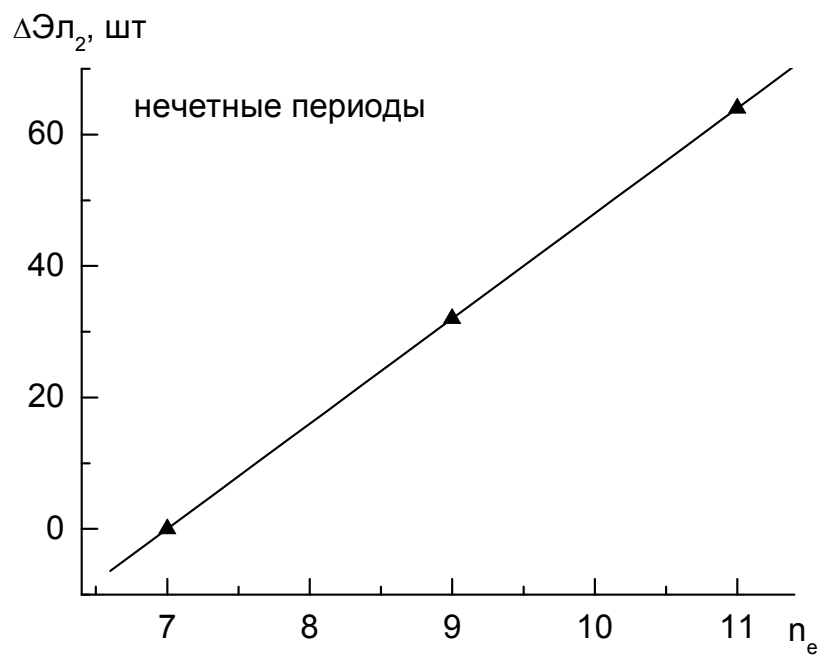
И, соответственно, для четных периодов

$$\Delta \text{Эл}_2(\text{четные } n_e) = 16 \cdot (n_e - 6) \quad (5.9)$$

Особо отметим, что соотношения (5.8) и (5.9) также описывают дефицит элементов в периодах ПСАЭВ *с абсолютной точностью*.

Таким образом, установленные соотношения (5.5 – 5.9) позволяют **определить дефицит элементов в любом периоде**, независимо от того действует только один механизм или проявляются оба механизма одновременно.





**Рис. 5.7.** Дефицит элементов в нечетных и четных периодах Периодической системы, обусловленный действием второго механизма: символы – известные данные; линии расчет по соотношениям (4.8, 4.9), соответственно

На наш взгляд следует особо подчеркнуть, что как для описания реальной емкости периодов, так и для дефицита элементов в периодах, вследствие проявления двух независимых механизмов, нами получены достаточно простые соотношения, в которых все коэффициенты пропорциональности являются целыми числами. Кроме того, напомним, что установленные соотношения описывают проявление двух механизмов возникновения дефицита элементов в периодах ПСАЭВ с абсолютной точностью, подобно установленному математическому закону периодичности. Установленные соотношения описывают вклад каждого из механизмов в общий дефицит элементов любого периода ПСАЭВ.

Суммируем основные результаты, полученные при анализе закономерности распределения элементов по периодам ПСАЭВ.

Установлены соотношения (5.4, 5.5), которые являются математической записью закона о периодичности и позволяют определить содержание элементов в любом из периодов ПСАЭВ.

Различие между теоретическим и реальным содержанием элементов в периодах ПСАЭВ позволяет ввести понятие дефицита элементов как разницы между теоретической и реальной емкостью периода. В результате анализа распределения элементов по периодам выявлено два независимых механизма возникновения дефицита элементов. Имеющиеся данные позволили получить достаточно простые математические соотношения (5.6 – 5.9), описывающие проявление первого и второго механизмов возникновения дефицита элементов в различных периодах ПСАЭВ. Выделенные два независимых механизма возникновения дефицита элементов проявляются следующим образом.

**Первый механизм возникновения дефицита элементов** в периодах ПСАЭВ связан с порядком появления новых электронных орбиталей в электронной оболочке атомов, которая заполняется электронами в данном периоде. Напомним, что новые электронные орбитали в заполняемой в данном периоде электронной оболочке атомов появляются в следующей последовательности – s, p, d, f.

**Появление электронной орбитали нового типа**, в заполняемой в данном периоде электронной оболочке атома, **всегда** происходит **в четном периоде**. Прежде чем появится новый тип электронной орбитали в последующем периоде, происходит дублирование заполняемой электронной оболочки атомов, т. е. в следующем **нечетном периоде класса** появляется заполняемая электронная оболочка атома, идентичная по своему составу заполняемой электронной оболочке предыдущего четного периода. Два таких периода (четный первый период и нечетный второй) образуют класс.

Эта закономерность строения электронной оболочки атомов полно-

стью выполняется вплоть до 5 класса (точнее до седьмого периода), где работает только первый механизм возникновения дефицита элементов.

Сказанное выше позволяет выделить в отдельную группу для рассмотрения основных закономерностей ПСАЭВ **четные периоды**, в которых **впервые** появляется новый тип электронной орбитали в заполняемой электронной оболочке атомов, а также и **нечетные периоды**, для которых происходит **дублирование электронной оболочки** заполняемой в предыдущем четном периоде.

Таким образом, **впервые** электронная орбиталь нового типа в заполняемой электронной оболочке атомов появляется в **четном периоде**, а ее **дублирование** происходит **в нечетном периоде**.

Исключение составляет первый период и, соответственно, первый класс предложенной структуры ПСАЭВ, но именно этот класс очень специфичен, поскольку он состоит только из одного периода и содержит очень специфические элементы – водород и гелий, а именно эти элементы, по сути, есть простая комбинация фундаментальных частиц – собственно электрона, протона и нейтрона. Вследствие этого именно для этих элементов ПСАЭВ будут максимально проявлять себя квантово-механические свойства. Более подробно мы уже говорили об этом выше в разделе 5.1.

Первый механизм возникновения дефицита элементов в периодах действует на протяжении всех периодов Системы и его эффективность прямо пропорциональна квадрату номера периода (поскольку появление новых электронных оболочек продолжается вплоть до 12 периода). Это вытекает из рассуждений по обоснованию результатов, представленных в таблице 5.4 и на рис. 5.6. В результате выполненного анализа установлены достаточно простые закономерности, которые абсолютно точно описывают зависимость дефицита элементов, вследствие проявления первого механизма, от номера периода для четных и нечетных периодов.

**Второй механизм** возникновения дефицита элементов связан с **исчезновением электронных орбиталей** в электронной оболочке атомов, которая заполняется в рассматриваемом периоде. **Исчезновение** электронных орбиталей при переходе от периода к периоду происходит в обратной последовательности по отношению к порядку их появления – f, d, p, s. Как и в случае проявления первого механизма, для второго механизма возникновения дефицита элементов впервые **исчезновение** электронной орбитали происходит **в четном периоде**, в последующем **нечетном периоде** появляется новая электронная оболочка, которая фактически **дублирует** заполняемую электронную оболочку с исчезнувшей электронной орбиталью, которая впервые появилась в преды-

дущем четном периоде. Тогда, для второго механизма возникновения дефицита элементов также необходимо выделить для отдельного рассмотрения нечетные и четные периоды.

Следует особо подчеркнуть, что первый и второй механизмы появления дефицита элементов в периодах Системы независимы друг от друга, что вытекает из условия их рассмотрения (см. таблицу 5.4). Если первый механизм начинает проявляться уже в самом начале ПСАЭВ, то второй механизм проявляться только после 7 периода, т. е. начиная с пятого класса.

Изложенные выше рассуждения полностью распространяются и на 12 период, который замыкает Периодическую систему. Для этого периода мы наблюдаем появление новой электронной оболочки, заполняемой в данном периоде, с исчезнувшей р-орбиталью, но при этом в данном классе отсутствует нечетный период, в котором должно было произойти дублирование заполняемой оболочки с исчезнувшей р-орбиталью.

Таким образом, в данном разделе мы ввели понятие дефицита элементов в периодах ПСАЭВ, выделили два независимых механизма возникновения дефицита и описали зависимость дефицита элементов от номера периода достаточно простыми соотношениями.

### 5.3 О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ДЕФИЦИТА АТОМОВ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕРИОДАХ СИСТЕМЫ

Рассмотрим возможную природу механизмов возникновения дефицита элементов в периодах ПСАЭВ. Прежде всего, мы уже отмечали ранее, что проявление этих механизмов мы наблюдаем в процессе формирования электронной оболочки атомов при переходе от периода к периоду. Тогда можно предположить, что возникновение дефицита элементов есть проявление не установленных к данному моменту времени некоторых закономерностей формирования электронной оболочки, которые, в свою очередь, могут быть следствием проявления закономерностей формирования ядер. Также можно предположить, что возникновение дефицита элементов должно быть напрямую связано с закономерностями формирования ядер.

Рассмотрим возможный механизм возникновения дефицита элементов, который, как это мы показали в предыдущем разделе, связан с появлением новых электронных орбиталей в заполняемой, в данном периоде ПСАЭВ, части электронной оболочки атомов. При этом было показано, что дефицит элементов отсутствует только в первом и втором периодах ПСАЭВ.

Д.В. Сивухин [10] оценил емкость ПСАЭВ, рассмотрев стабильность электронной оболочки атомов. В соответствии с его оценками, с ростом количества электронов в электронной оболочке атома возрастает вероятность сближения с ядром наиболее близких к нему электронов, следствием которого будет являться поглощение этих внутренних электронов ядром. Такой подход позволил ему оценить предельную емкость ПСАЭВ на уровне 180 – 200 элементов, что достаточно близко к оценкам, полученным в [1], которые также представлены в данной работе.

Но, если предположить, что *процессы поглощения ядром внутренних электронов могут происходить намного раньше (а не только для предельных элементов, замыкающих ПСАЭВ, как это рассматривал Д.В. Сивухин) и образующиеся при этом ядра будут стабильны?*

Тогда поглощение внутренних электронов ядром должно приводить к относительному росту числа нейтронов в ядрах атомов. Таким образом, получаем, что количество «*дополнительных*» нейтронов в ядрах элементов, появляющихся в рассматриваемом периоде, должно соответствовать дефициту элементов в этом периоде.

Следует также отметить, что данный процесс может быть одной из причин дублирования заполняемой части электронной орбитали в не-

четном периоде каждого класса.

Рассмотрим, какие есть доказательства для высказанного выше предположения. Для этого вернемся к анализу нуклонного состава ядер, который мы проводили ранее в разделе 4.5. Зависимость числа нейтронов в ядрах элементов от их порядкового номера  $Z$  (число протонов ядра), показанная на рис.4.10, в принципе полностью соответствует высказанной выше гипотезе. Начиная с  $Z \geq 11$  (т.е. начиная с третьего периода ПСАЭВ) отношение  $N/Z$  начинает заметно возрастать, при этом происходит сдвиг от  $N/Z = 1$  к  $N/Z = 2$ .

Таким образом, общая закономерность изменения отношения  $N/Z$  вполне соответствует выдвинутой **гипотезе о поглощении части электронной оболочки атома ядром**, которое может приводить, как мы предположили выше, к появлению одного из механизмов возникновения дефицита элементов в периодах.

Следует отметить, что в результате анализа различных литературных данных мы не нашли какого-либо объяснения характера зависимости, показанной на рис.4.10, не смотря на то, что она воспроизводится в большинстве работ по ПСАЭВ. Изложенные выше рассуждения позволяют объяснить эту зависимость достаточно, на наш взгляд, достоверно.

Тогда, изложенные выше рассуждения позволяют предложить следующий **механизм образования изотопов**:

- **на первом этапе** – для получения элемента с номером  $(Z + 1)$  добавляем один протон к ядру  $Z$ -элемента и один электрон в его электронную оболочку;
- **на втором этапе** – при определенных условиях, которые мы пока что не знаем, происходит поглощение ядром наиболее близкого к нему электрона;
- **на заключительном третьем этапе** – получаем изотоп с неизменным количеством электронов в электронной оболочке, ядро которого содержит на один нейтрон больше.

После появления изотопа нам необходимо продолжить процедуру присоединения электрона к электронной оболочке и протона к ядру уже изотопа  $Z$  для того чтобы получить элемент  $(Z+1)$ . Следует отметить, что таким образом мы можем получить несколько изотопов, прежде чем достигнем поставленной цели – получение  $(Z+1)$  элемента.

Этот механизм образования изотопов в явной форме связан со свойствами электронной оболочки атомов, поэтому он должен контролироваться положениями атомной физики.

Изложенный выше механизма образования изотопов за счет захвата электронов с внутренней электронной оболочки атомов также хорошо согласуется с известным эффектом электронного захвата, который

сопровождается испусканием нейтрино. Электронный захват обнаруживается по сопровождающему его характеристическому рентгеновскому излучению, которое возникает при заполнении вакантного места в электронной оболочке атома.

Таким образом, из представленных выше рассуждений видно, что *захват электронов с внутренней оболочки атомов, наблюдается на практике, достаточно хорошо объясняет возникновение изотопов и вполне может быть одним из механизмов возникновения дефицита элементов.*

С другой стороны, как это можно предположить, должен быть дополнительно второй механизм образования изотопов, который должен контролироваться положениями ядерной физики – т.е. закономерностями строения ядер.

Представленные выше рассуждения позволяют сделать вывод о необходимости проведения анализа распределения изотопов по периодам ПСАЭВ.



## 5.4 АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ПО ПЕРИОДАМ СИСТЕМЫ

К настоящему времени достаточно хорошо изучены изотопы в известной части ПСАЭВ, возможно, исключая седьмой период. Но поскольку предлагаемая нами структура ПСАЭВ симметрична, то мы можем предполагать идентичное содержание изотопов в соответствующих периодах, замыкающих ПСАЭВ.

Следует также сказать о том, что в последнее время получено достаточно много так называемых радионуклидов (количество известных к настоящему времени радионуклидов, по некоторым данным, превышает 7500). При этом нет четкой градации между радионуклидами и изотопами. На наш взгляд для четкого деления изотопов и радионуклидов можно воспользоваться следующими определениями.

**Изотоп** – природная вариация нуклонного состава ядер элемента с порядковым номером  $Z$ .

**Радионуклид** – вариация нуклонного состава ядер элемента  $Z$ , полученная искусственным путем.

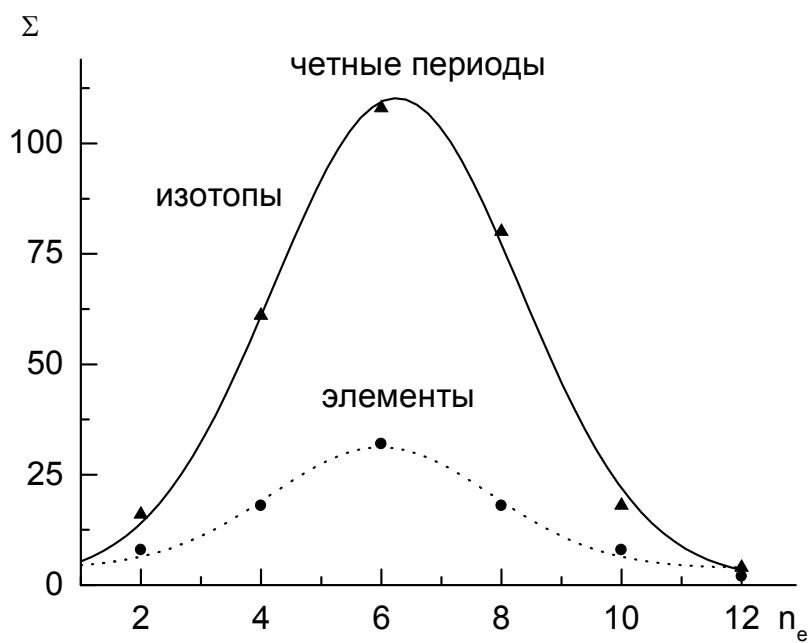
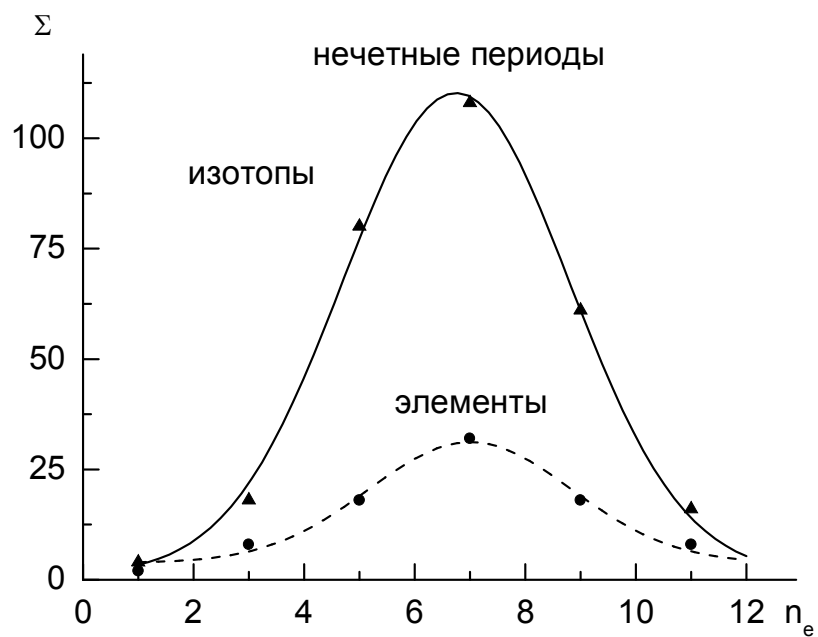
Тогда, используя известные данные, мы можем определить содержание изотопов в каждом из периодов известной части ПСАЭВ. Основными критериями при этом будут распространенность и стабильность или достаточно длительный период полураспада.

На рис. 5.8 показано распределение изотопов по периодам ПСАЭВ. Здесь же для сравнения показано соответствующее распределение элементов. Очень четко видно деление периодов на нечетные и четные. Представленные результаты по распределению изотопов по периодам ПСАЭВ очень хорошо описываются классическим нормальным распределением (показано линиями на всех рассматриваемых рисунках). Из представленных результатов также видно, что каждому периоду соответствует свое содержание изотопов, т.е. количество изотопов приходящихся на количество элементов в периоде индивидуально (иначе такое отношение можно назвать нормированным содержанием изотопов в периоде).

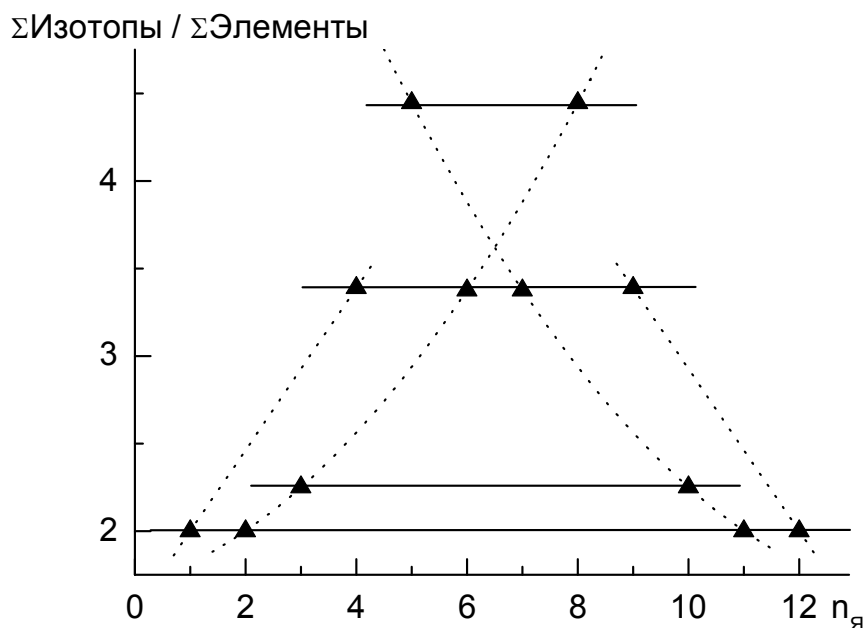
Сказанное выше и определило наш интерес к зависимости, которая показана на рис.5.9. Здесь представлены значения нормированного содержания изотопов для различных периодов ПСАЭВ.

Результаты, которые показаны на рис.5.9 не позволяют выделить отдельно четные и нечетные периоды, при этом наблюдается очень специфические объединения периодов ПСАЭВ, которые показаны на рис.5.9 линиями. Прежде всего, это «*мистическое*» объединение периодов по горизонтали, которое мы наблюдали ранее в таблице 5.2 –





**Рис. 5.8.** Распределение изотопов по нечетным и четным периодам ПСЭВ



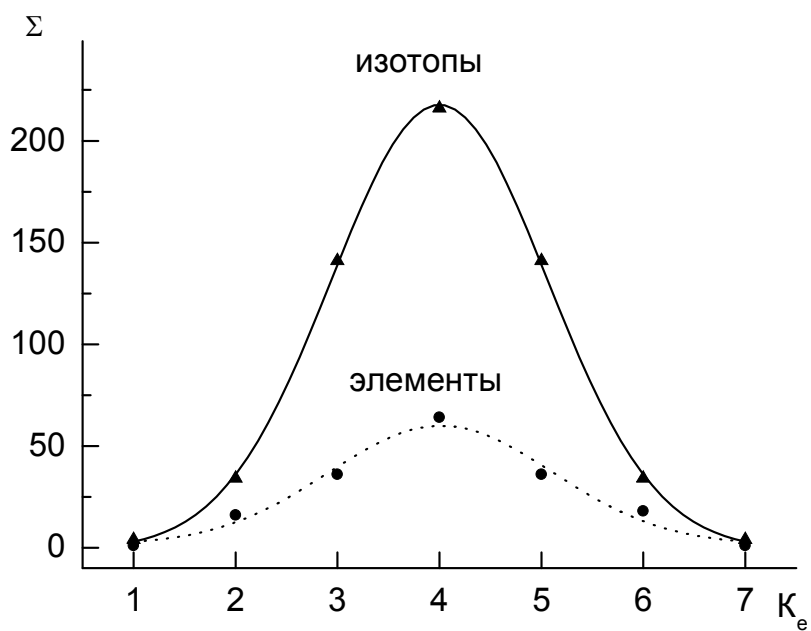
**Рис. 5.9.** Нормированное содержание изотопов в различных периодах ПСАЭВ

( $1 + 12 = 2 + 11 = 3 + 10 = 4 + 9 = 6 + 7 = 5 + 8 = 13$ ). Кроме того наблюдается следующее объединение периодов – ( $1 + 4$ ), ( $2 + 3 + 6 + 8$ ), ( $5 + 7 + 10 + 11$ ) и ( $7 + 12$ ). В данный момент мы не можем каким-то образом объяснить выявленные закономерности, но уж слишком простые получаются соотношения, которые описывают эти зависимости.

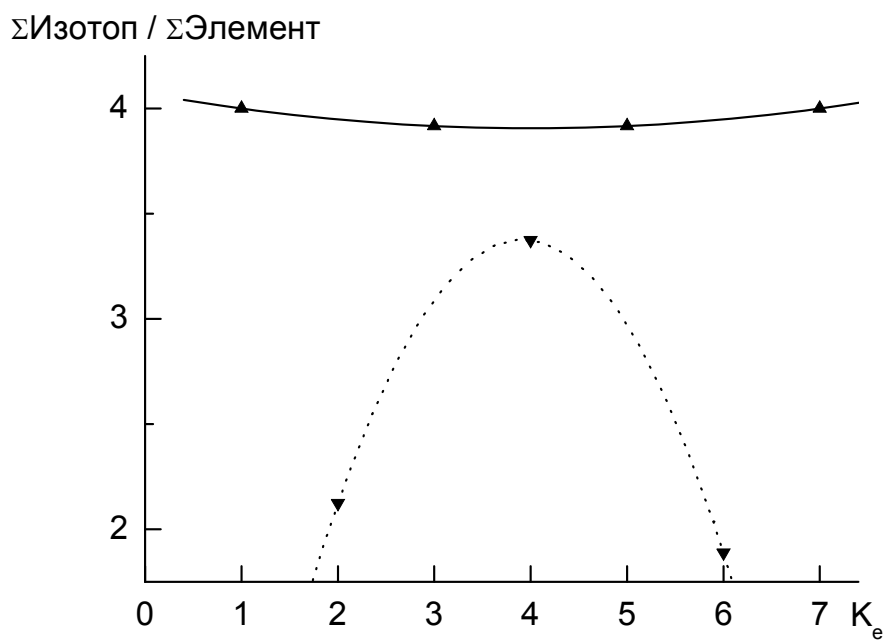
Далее рассмотрим, каким образом изотопный состав меняется при переходе от класса к классу. На рис.5.10 показано изменение содержания изотопов в зависимости от класса ПСАЭВ. Установлено что распределение изотопов по классам описывается стандартным нормальным распределением (линия на рис.5.10). В данном случае также представляет интерес изменение нормированного содержания изотопов при переходе от класса к классу, которое представлено на рис.5.11.

Таким образом, анализ изотопного состава позволяет определенным образом сгруппировать уже классы ПСАЭВ в группу четных и группу нечетных классов, как это показано на рис.5.11.

Представленные результаты наглядно демонстрируют влияние закономерностей атомной физики на закономерности ядерной физики. Т.е. в данном случае мы имеем достаточно наглядный пример наличия связи между различными системами, описывающими структуру элементов Вещества, что подтверждает предположение, которое было высказано нами ранее в Главе 1. Особо отметим, что такое деление перио-



**Рис. 5.10.** Распределение изотопов по классам ПСАЭВ



**Рис. 5.11.** Нормированное содержание изотопов в различных классах ПСАЭВ

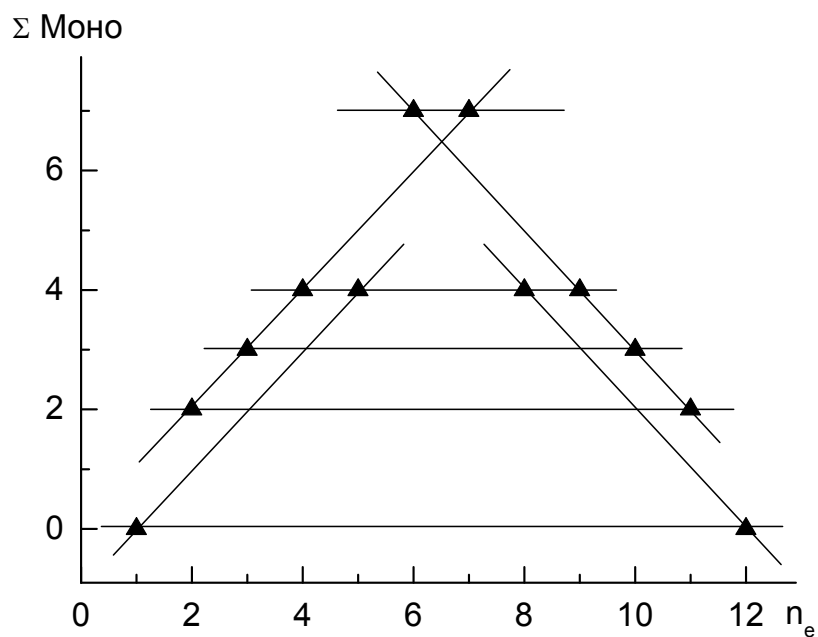
дов ПСАЭВ выявлено впервые и еще раз подчеркивает значение деления «четный – нечетный» для атомной и ядерной физики и для Естественного в целом.

Ранее, рассматривая строение ядер в Главе 4, мы выделили моноизотопные элементы Вещества, поэтому представляет интерес анализ распределения моноизотопных элементов по периодам и классам ПСАЭВ. В данном случае мы также можем использовать симметрию структуры ПСАЭВ и имеющиеся данные для периодов и классов в известной части распространить на симметричные периоды и классы в неизвестной части.

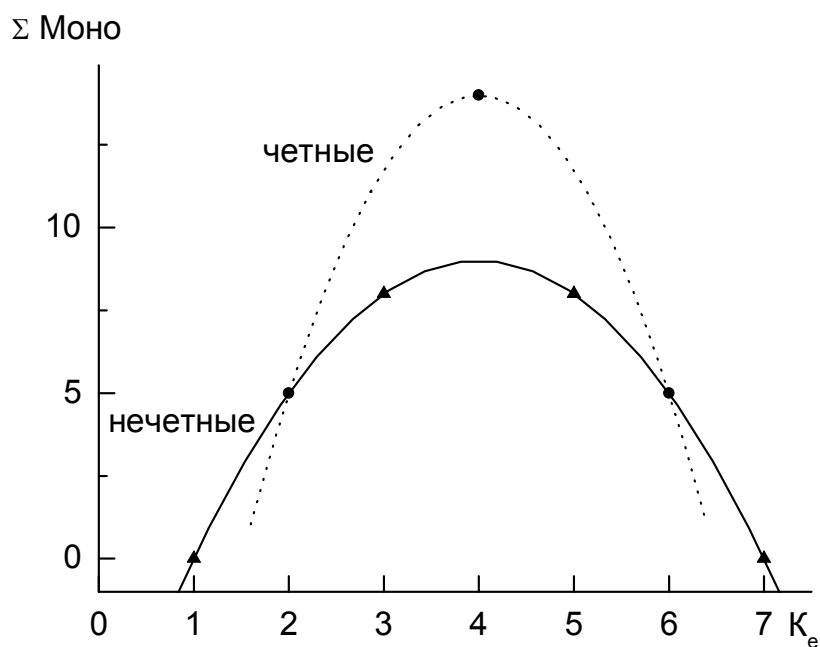
На рис. 5.12 показано распределение моноизотопных элементов по периодам ПСАЭВ. Какие-либо закономерности для четных и нечетных периодов не просматриваются, но при этом видны достаточно четкие линейные зависимости, которые объединяют периоды в определенные группы (отмечены на рис.5.12 прямыми линиями). Явно видно деление периодов ПСАЭВ по горизонтали, когда группе периодов соответствует определенный уровень моноизотопных элементов. Это опять-таки наблюдаемое ранее «мистическое» объединение периодов ПСАЭВ (см. таблицу 5.2 и рис.5.11). Кроме того, периоды ПСАЭВ объединяются зависимостями, которые либо описывают рост числа моноизотопных элементов с ростом номера периода, либо спад числа моноизотопных элементов с ростом номера периода –  $(1 + 5)$ ,  $(2 + 3 + 4 + 7)$  и  $(6 + 9 + 10 + 11)$ ,  $(8 + 12)$ , соответственно. Можно предположить, что выявленные закономерности должны быть каким-то образом связаны с механизмами возникновения дефицита элементов в периодах ПСАЭВ и, следовательно, с механизмами появления и исчезновения определенных видов электронных орбиталей в заполняемой части электронной оболочки атомов.

На рис.5.13 показано распределение моноизотопных элементов по классам ПСАЭВ. Из представленных результатов также видно четкое деление классов ПСАЭВ на четные и нечетные.

Особо отметим, что к настоящему времени дать какое-либо объяснение выявленным зависимостям мы не можем, но они описываются настолько простыми линейными соотношениями, что мы решили привести их без объяснения природы. Есть определенная особенность данной работы, которая заключается в том, что мы часто приводим установленные закономерности, но не можем иногда даже феноменологически описать их физическую сущность. Поэтому излагаемые материалы фактически являются основой для постановки дальнейших работ в этом направлении.



**Рис. 5.12.** Распределение моноизотопных элементов по периодам ПСАЭВ: символы известные данные; линии выявленные закономерности



**Рис. 5.13.** Распределение моноизотопных элементов по классам ПСАЭВ: символы известные данные; линии выявленные закономерности для четных и нечетных классов ПСАЭВ

Различный изотопный состав ядер элементов вряд ли проявится в закономерностях изменения радиусов атомов и первой энергии ионизации, поскольку размеры ядра много меньше размеров атома. С другой стороны анализ изменения нуклонного состава ядер представляет определенный интерес с точки зрения высказанных выше предположений. Результаты такого анализа мы рассмотрим несколько позже.

Таким образом, представленные выше результаты позволяют связать первый механизм возникновения дефицита элементов в периодах ПСАЭВ с формированием изотопов. Тогда что же мы можем сказать по поводу второго механизма возникновения дефицита элементов?

Рассмотрим границу между шестым и седьмым периодами ПСАЭВ, поскольку именно на этой границе происходит запуск второго механизма дефицита элементов. Если внимательно посмотреть на изменение нуклонного состава ядер, то видно одно очень необыкновенное свойства  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ , который замыкает шестой период как ПСАЭВ, так и ПСЯЭВ (см. Главу 6), по сравнению с предшествующими ему ядрами элементов  ${}_{82}^{208}\text{Pb}$ ,  ${}_{83}^{209}\text{Bi}$ ,  ${}_{84}^{209}\text{Po}$  и  ${}_{85}^{210}\text{At}$ . В ряду этих элементов наблюдается необычное изменение содержания нейтронов в ядрах при этом добавка нейтронов к ядрам по отношению к предыдущему элементу в ряду (83 – 86) составляет:

- для  ${}_{83}^{209}\text{Bi}$  – добавка 0 нейтронов;
- для  ${}_{84}^{209}\text{Po}$  – добавка минус 1 нейтрон;
- для  ${}_{85}^{210}\text{At}$  – добавка 0 нейтронов;
- для  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$  – добавка плюс 11 нейтронов!!!

С другой стороны рассмотрим изменение нуклонного состава, а точнее добавку нейтронов к ядру, для элементов, с которых начинается седьмой период ПСАЭВ (и, соответственно, ПСЯЭВ, см. Главу 6):

- для  ${}_{87}^{223}\text{Fr}$  – добавка 0 нейтронов;
- для  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  – добавка + 2 нейтрона;
- для  ${}_{89}^{223}\text{Ac}$  – добавка минус 1 нейтрон;
- для  ${}_{90}^{232}\text{Th}$  – добавка плюс 6 нейтронов!!!

Представленные выше результаты являются общедоступными, но с этой точки зрения на них никто и никогда (по крайней мере, по нашим данным) не обращал внимания. Хотя из них очень четко видна граница между рассматриваемыми периодами.

Чтобы наконец-то завершить шестой период требуется резкий скачек содержания нейтронов в ядре радона (+ 11 нейтронов), хотя этому предшествует практически неизменное содержание нейтронов в ядрах рассматриваемых элементов. Т.е. на примере радона мы можем предполагать включение второго механизма возникновения дефицита элемен-

тов в периодах ПСАЭВ, работа которого приводит к резкому сокращению количества элементов в периодах и, в итоге, ограничивает сверху ПСАЭВ.

В начале седьмого периода мы видим проявление влияния предшествующего периода – содержание нейтронов в ядрах элементов слабо изменяется, при этом идет колебательный процесс – число нейтронов неизменно – число нейтронов возрастает – число нейтронов падает. При этом для создания  ${}_{90}^{232}\text{Th}$  требуется дополнительно ввести в ядро на один протон целых **шесть** нейтронов. В дальнейшем мы не наблюдаем такого скачкообразного изменения нуклонного состава ядер элементов.

Таким образом, можно констатировать, что начиная с  ${}_{90}^{232}\text{Th}$ , в полной мере начинает работать второй механизм возникновения дефицита элементов, который, в основном, и приводит к ограничению ПСАЭВ и ПСЯЭВ.

Суммируем основные результаты, полученные в данном разделе. На основании анализа нуклонного состава ядер предложен механизм образования изотопов, основанный на поглощении части электронной оболочки ядром. Предложенный механизм согласуется с ростом величины  $N/Z$  по мере роста  $Z$ , наблюдается на практике в виде электронного захвата и может быть использован как для объяснения первого механизма возникновения дефицита элементов в периодах ПСАЭВ, так и для наблюдаемого дублирования заполняемой части электронной оболочки атомов в нечетных периодах ПСАЭВ.

Тогда говоря о емкости периода ПСАЭВ мы должны учитывать суммарное количество изотопов, имеющих в данном периоде. Т.е., *если мы ранее рассматривали только ствол дерева, то теперь мы должны учесть наличие кроны.*

Анализ имеющихся литературных данных показал, что подобный подход еще никто не применял при анализе закономерностей ПСАЭВ. Всем хорошо известно наличие изотопов, но причина их появления не выяснена до сих пор. Мы имеем только описательные характеристики этих изотопов, при этом обычно все сводится к нуклонному составу ядра.

В результате анализа распределения изотопов по периодам и классам ПСАЭВ установлено:

- для четных (нечетных) периодов ПСА/В распределение числа изотопов от номера периода описывается стандартным нормальным распределением, что дополнительно подтверждает правильность такого деления периодов;
- аналогичным образом описывается распределение изотопов по классам;

- изменение относительного содержания изотопов в классах (т.е. отношение количества изотопов к количеству элементов) позволяет выделить в отдельные группы нечетные и четные классы;
- распределение моноизотопных элементов по периодам не выявляет специфики «нечетность – четность», но при этом периоды очень четко объединяются в специфические группы, физическую сущность которых пока нельзя даже предположить;
- распределение количества моноизотопных элементов по классам позволяет разделить последние на две характерные группы – четные и нечетные.

Комплекс выявленных закономерностей позволяет объединить периоды и классы ПСАЭВ. В таблицах 5.3 и 5.2 соответственно, представлены возможные объединения с указанием источника, который позволяет ввести это объединение. В данном случае мы не будем рассматривать объединение периодов ПСАЭВ в классы, поскольку мы уже достаточно много внимания уделили этому вопросу.

*Таблица 5.3. Объединение периодов ПСАЭВ*

№ п/п	Объединяющие признаки	Основания для объединения
1.	«Мистическое» объединение нечетного и четного периодов. При этом сумма номеров объединяемых периодов равна 13. Объединяемые периоды: $1 + 12 = 2 + 11 = 3 + 10 = 4 + 9 = 5 + 8 = 6 + 7 = 13$	Одинаковое количество элементов в периоде, т.е. одинаковая емкость периода. См. таблицу 5.2.
2.	«Мистическое» объединение нечетного и четного периодов.	Одинаковое нормированное содержание изотопов в периодах (т.е. одинаковое отношение общего количества изотопов в периоде к количеству элементов в периоде). См. рис.5.9.
	Объединение периодов: $(1 + 4)$ , $(2 + 3 + 6 + 8)$ , $(5 + 7 + 10 + 11)$ и $(7 + 12)$ .	Зависимость нормированного содержания изотопов в объединяемых периодах описывается идентичным соотношением. См. рис.5.9
3.	«Мистическое» объединение нечетного и четного периодов.	Распределение моноизотопных элементов по периодам. См. рис.5.12. Одинаковое содержание моноизотопных элементов в периоде.
	Объединение периодов: $(1 + 5)$ , $(2 + 3 + 4 + 7)$ , $(6 + 9 + 10 + 11)$ , $(8 + 12)$	Зависимость изменения содержания моноизотопных элементов в периоде от номера периода описывается идентичными соотношениями. См. рис. 5.12.



**Таблица 5.4. Объединение классов ПСАЭВ**

№ п/п	Объединяющие признаки	Основания для объединения
1.	Объединение нечетных и четных классов.	Нормированное содержание изотопов в зависимости от номера класса описывается одной зависимостью для нечетных классов и другой зависимостью для четных классов. См. рис. 5.11.
2.	Объединение нечетных и четных классов.	Распределение моноизотопных элементов по четным и нечетным классам описывается своими соотношениями. См. рис.5.13.

Скачкообразное изменение нуклонного состава ядер элементов на границе шестого и седьмого периодов ПСАЭВ позволяют предполагать включение второго механизма возникновения дефицита элементов в периодах ПСАЭВ и, соответственно, ПСЯЭВ. Кроме того, полученные результаты позволяют утверждать, что этот второй механизм возникновения дефицита элементов должен определяться закономерностями построения ПСЯЭВ, т.е. закономерностями ядерной физики.

Таким образом, сказанной выше позволяет сделать следующие выводы:

1. Первый механизм возникновения дефицита элементов в периодах ПСАЭВ и ПСЯЭВ определяется закономерностями построения электронной оболочки атомов и, соответственно закономерностями атомной физики. Можно предположить, что следствием его работы является появление изотопов ядер элементов, когда при неизменном составе и структуре электронной оболочки наблюдается вариация нуклонного состава ядер. Тогда можно предполагать, что первый механизм возникновения дефицита элементов является следствием проявления взаимодействия ядра и электронной оболочки атома (поглощение ядром ближайшего электрона и формирование изотопа вместо следующего элемента, т.е. электронного захвата, наблюдаемого на практике). Таким образом, мы имеем четкое подтверждение о прямых и обратных связях между ПСАЭВ и ПСЯЭВ.
2. Второй механизм возникновения дефицита элементов в ПСАЭВ и ПСЯЭВ, скорее всего, связан с закономерностями построения ядер. На практике наблюдается скачкообразное изменение нуклонного состава ядер на границе включения в работу этого механизма (граница между шестым и седьмым периодами ПСАЭВ и, соответственно, ПСЯЭВ).

## 5.5 ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕИЗВЕСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Установленные нами закономерности изменения основных параметров известных элементов позволяют оценить такие основные характеристики неизвестных элементов как нуклонный состав ядер, орбитальный радиус и первая энергия ионизации. Но в данной работе мы ограничимся прогнозированием нуклонного состава атомов неизвестных элементов.

Для 172 элемента замыкающего ПСАЭВ ранее [1] мы получили следующие оценки при определении минимальной удельной энергии связи:

$$Z = 172, \quad N = 296, \quad A = 468$$

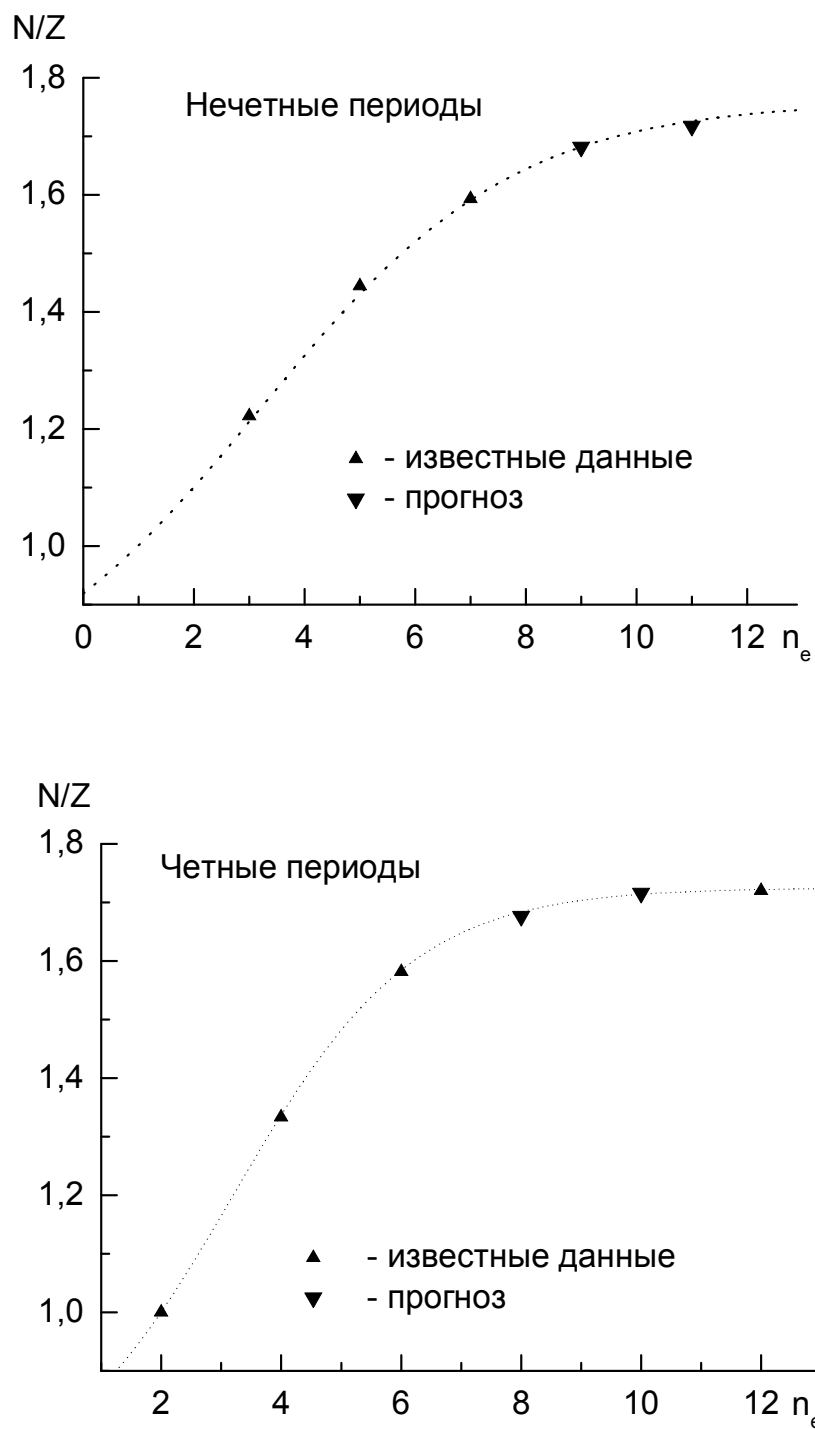
Рассмотрим зависимость отношения  $N/Z$  для элемента замыкающего каждый из периодов от номера периода, которая приведена на рис. 5.14, соответственно для четных и нечетных периодов ПСАЭВ. Представленные зависимости с высокой степенью достоверности можно описать следующими соотношениями

$$\begin{aligned} \frac{N}{Z} &= 1,76 - \frac{1,05}{\left[1 + \exp\left(\frac{n_e - 3,2}{2,3}\right)\right]} - \text{нечетные периоды} \\ \frac{N}{Z} &= 1,725 - \frac{1,05}{\left[1 + \exp\left(\frac{n_e - 3,2}{1,5}\right)\right]} - \text{четные периоды} \end{aligned} \quad (5.10)$$

Установленные соотношения позволяют прогнозировать нуклонный состав ядер элементов 136, 154, 162, 170 (см. Приложение 3).

Представляет интерес, рассмотреть зависимость содержания нейтронов от содержания протонов в атомах элементов при переходе от периода к периоду ПСАЭВ. При этом воспользуемся делением элементов на семейства и подгруппы в зависимости от имеющихся электронных орбиталей (напомним, что более подробно деление элементов по этому признаку было рассмотрено ранее в разделе 2.5).

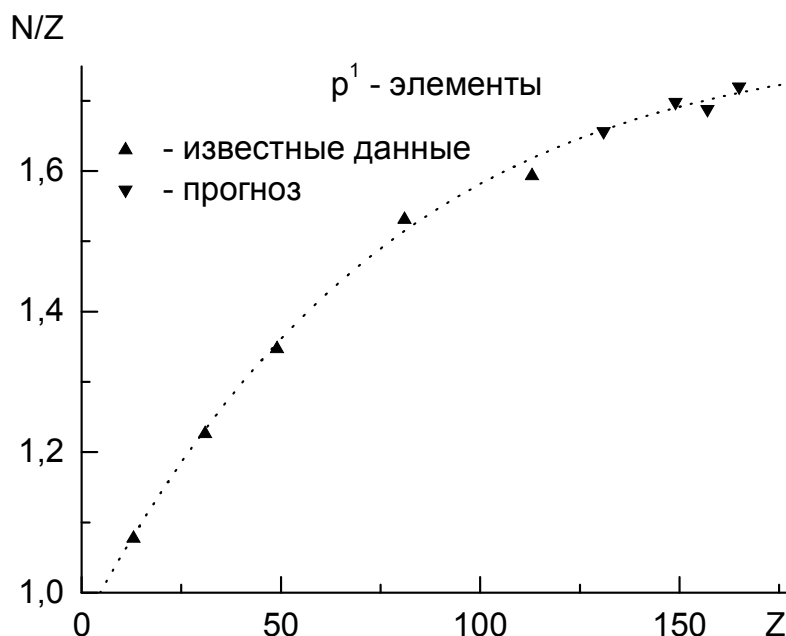
Напомним, что в этом случае, элементы содержат идентичные заполняемые электронные орбитали, а отличаются только количеством



**Рис. 5.14.** Зависимость отношения  $N/Z$  элементов, замыкающих периоды, от номера периода ПСАЭВ: символы известные данные и прогноз; пунктирные линии – соотношение (5.10)

внутренних полностью заполненных электронных орбиталей и, соответственно, количеством нуклонов в ядре. Данные зависимости рассмотрим для различных семейств и подгрупп элементов (таблица 2.6 и рис. 2.7).

Рассмотрим семейство ***p*-элементов** (см. таблицу 2.6). На рис. 5.15 показана зависимость отношения числа нейтронов к числу протонов в ядрах атомов от атомного номера  $Z$  для  $p^1$ -элементов, которая может быть описана соотношением, подобным (5.10), но со своими коэффициентами пропорциональности.



**Рис. 5.15.** Изменение нуклонного состава ядер  $p^1$ -элементов при переходе от периода к периоду: символы – известные и прогнозируемые значения; линия – установленная закономерность

Данное соотношение позволяет прогнозировать нуклонный состав неизвестных к данному времени  $p^1$ -элементов. Полученные результаты приведены в Приложении 3, а также отмечены на рис.5.15.

Аналогичным образом был выполнен анализ изменения нуклонного состава для элементов, отнесенных нами к различным семействам, группам и подгруппам. Установленные закономерности во всех случаях достаточно хорошо описываются соотношениями (5.10) со своими коэффициентами пропорциональности. Полученные таким образом закономерности позволяют определить нуклонный состав ядер атомов для любого неизвестного к настоящему времени элемента. Результаты оценки нуклонного состава приведены в Приложении 3.

Особо отметим, что оценки нуклонного состава, как и другие оценки определялись в итоге по совокупности всех установленных соотношений. В частности и соотношений, характерных для ПСЯЭВ, которые мы будем рассматривать несколько позднее.

Ранее в [11] были представлены результаты оценки нуклонного состава ядер элементов неизвестных к настоящему времени. В данной работе на основании предложенного автором метода равносторонних гипербола была предпринята попытка оценить верхний предел ПСАЭВ. Также были выполнены оценки нуклонного состава ядер некоторых неизвестных к настоящему времени элементов. В частности верхний предел ПСАЭВ оценен на уровне  $Z_{\max} = 155$ , что существенно ниже верхнего предела полученного нами.

В таблице 5.5 представлено сопоставление результатов, полученных в [11] с результатами, полученными в данной работе.

**Таблица 5.5.** Сопоставление нуклонного состава ядер элементов

Z	116	118	119	120	126	155	172	Источник
A	300	306	309	313	333	419	468	Данная работа
	298	304	307	310	327	411	-	[11]

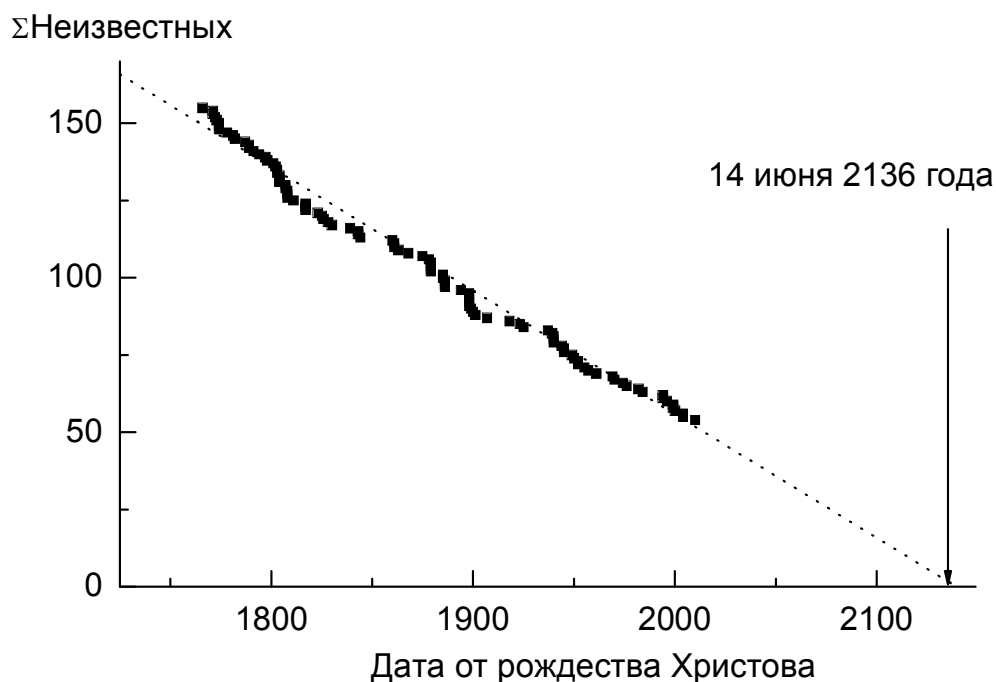
Из представленных результатов видно, что наблюдается в принципе неплохое соответствие между результатами, полученными с различных точек зрения. В наших оценках получаем большее число нейтронов. Это обусловлено, вероятнее всего, тем фактом, что в данной работе учитывается рост отношения  $N/Z$  с ростом номера элемента, в то время как в [11] изменение этого отношения не учитывается.

## 5.6 ПЕРСПЕКТИВЫ ОТКРЫТИЯ НОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ранее в Главе 1 мы рассмотрели хронологию открытия элементов ПСАЭВ, которая подробно представлена в Приложении 1. Здесь указаны порядковый номер открытия, дата открытия, порядковый номер элемента и автор (или авторы) открытия. Подробный анализ, возможно, позволит нам сделать прогноз о перспективах открытия новых элементов.

При этом мы рассматривали хронологию открытия элементов графически в координатах: номер открытия (количество известных элементов  $\Sigma$ Эл) – дата открытия, т.е. использовали традиционное представление имеющихся данных. По результатам, показанным на рис.1.2 трудно сделать какой-либо прогноз о дальнейшем развитии ПСАЭВ.

С другой стороны, поскольку нам известно, что ПСАЭВ должна содержать 172 элемента, то результаты, показанные на рис. 1.2 можно представить в других координатах: **количество неизвестных элементов ПСАЭВ – дата**. Тогда и получим зависимость, представленную на рис. 5.16.



**Рис. 5.16.** Перспективы открытия новых элементов ПСАЭВ

При этом из рассмотрения мы исключили все элементы, которые были открыты до 1763г. (см. рис. 1.2 и Приложение 1). Такое решение основано на следующих рассуждениях. Ранее (см.Главу 1), этот превый

этап (до 1763г.) мы назвали подготовительным этапом. Это было время формирования первичных взглядов на строение Вещества, формирования наук и научных сообществ. Кроме того, в это время происходил процесс интенсивного развития промышленности, что потребовало решения различных конструкторских, технологических, материаловедческих и других чисто исследовательских задач. Т.е. фактически этот этап характеризует эволюционное развитие Естествознания, в то время как дальнейшее развитие Естествознания носит ярко выраженный революционный характер.

Представленная на рис.5.16 зависимость позволяет с достаточно высокой достоверностью (коэффициент корреляции 0,9937) предсказать хронологию открытия не известных в настоящее время элементов ПСАЭВ и, в какой-то степени предсказать дату окончательного решения вопроса о развитии ПСАЭВ.

Данную закономерность можно считать установленной с высокой достоверностью, о чем свидетельствует очень высокое значение коэффициента корреляции.

Конечно же мы понимаем некоторую эфемерность представленной даты окончательного закрытия вопроса о развитии Периодической системы элементов, которая приведена на рис. 5.16. Но в каждой шутке есть только доля шутки.

Таким образом, хронологический закон развития ПСАЭВ достаточно четко отражает развитие естествознания и позволяет с высокой вероятностью предсказать хронологию открытия новых элементов и оценить дату окончательного решения вопроса о ее конечности.

## РЕЗЮМЕ К ГЛАВЕ 5

1. На основании выполненного анализа закономерностей предложена новая структура Периодической системы атомов элементов Вещества с учетом ее конечности, которая содержит 172 элемента, 12 периодов и семь классов.
2. Введен новый структурный признак – класс, который объединяет два периода Системы, имеющие идентичный набор заполняемых в рассматриваемых периодах электронных орбиталей и, соответственно, одинаковое количество элементов.
3. Установлена математическая запись закона периодичности, которая описывает распределение элементов по периодам Системы, при этом номер периода соответствует значению главного квантового числа.
4. Анализ распределения элементов по периодам свидетельствует о наличии собственных закономерностей для четных и нечетных периодов Системы и позволяет ввести новое понятие – дефицит элементов в периоде ПСАЭВ. Дефицит элементов определяется теоретическим количеством элементов в периоде (теоретической емкостью периода) за вычетом реального количества элементов. Закономерности распределения элементов по четным и нечетным периодам Периодической системы позволяют предположить существование двух независимых механизмов возникновения дефицита элементов.
5. Показано, что первый механизм возникновения дефицита элементов связан с появлением новых электронных орбиталей, которые заполняются в данном периоде. А второй механизм связан с последовательным исчезновением электронных орбиталей во вновь появляющейся орбитали. Выявленные механизмы появления дефицита элементов в периодах Системы независимы друг от друга. При этом, если первый механизм начинает проявляться уже в самом начале Периодической системы, то второй механизм проявляться только после 7 периода, т. е. начиная с пятого класса.
6. Физической основой первого механизма дефицита элементов в периодах ПСАЭВ может быть наблюдаемый на практике электронный захват, когда ядро захватывает наиболее близкий к нему электрон, и вместо нового элемента мы наблюдаем появление изотопа.
7. Представленный анализ хронологии развития Периодической системы позволяет с высокой вероятностью предсказать хронологию открытия новых элементов и оценить дату окончательного решения вопроса о конечности Периодической системы.



## 6. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЯДЕР ЭЛЕМЕНТОВ ВЕЩЕСТВА

### 6.1 ПРЕДЛАГАЕМАЯ СТРУКТУРА ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЯДЕР

Полученная структура ПСАЭВ с учетом ее конечности содержит 172 элемента, которые разделены на 12 периодов и семь классов и позволяет предложить соответствующую структуру Периодической системы ядер элементов Вещества (ПСЯЭВ).

На наш взгляд в качестве основы для построения ПСЯЭВ необходимо использовать магические ядра, поскольку они являются наиболее стабильными и, тогда мы можем предположить, что именно эти элементы будут заканчивать каждый период ПСЯЭВ. По аналогии с построением ПСАЭВ в этом случае магические ядра исполняют роль инертных газов в случае ПСЯЭВ. Такой подход позволяет получить два варианта структуры ПСЯЭВ, которые в сокращенном виде показаны в таблице

6.1. При построении ПСЯЭВ все ядра элементов разделены на соответствующие семейства а-, b-, c-, h- и g-ядер, по аналогии с ss-, p-, d- и f-элементами, которые были выделены нами в ПСАЭВ по типам заполняемых электронных орбиталей. Таким образом, выделенные семейства ядер должны иметь специфическое строение ядерных оболочек.

Основное отличие между вариантами заключается в том, какие элементы 6 и 7 периодов следует отнести к g-элементам, какие – к с-элементам. В остальном эти два варианта полностью соответствуют друг другу. Вариант а (таблица 6.1) фактически построен по аналогии с ПСАЭВ, когда f-элементы встраиваются в d-элементы после d<sup>1</sup>.

В представленных вариантах ПСЯЭВ мы выделили номера элементов, которые замыкают каждый из периодов.

Таким образом, получили два варианта структуры ПСЯЭВ, каждый из вариантов состоит из 172 типов ядер, которые распределены по 12 периодам. Периоды, в свою очередь, объединены в четыре класса. Также выделено пять характерных типов ядер элементов по аналогии с типами электронных орбиталей. При этом каждое ядро характеризуется ядерной формулой, которая должна описывать распределение нуклонов (кварков?) ядра по энергиям. Таким образом, на наш взгляд ядерная формула должна характеризовать состояние кварковой жидкости, образующей ядро. В принципе уже есть сообщения о том, что в ядрах элементов могут быть обнаружены кварковые ассоциации.

В случае ПСАЭВ гелий, который обычно относят к остальным инертным газам, относится к ss-элементам и мы выделяли его отдельно – как единственный благородный газ, имеющий электронные оболочки

**Таблица 6.1** *Общая структура Периодической системы  
ядер элементов Вещества  
(вариант а)*

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	С е м е й с т в а я д е р					Кол-во, шт
		а	б	g	с	h	
I	1	1-2					2
	2	3-4				5-8	6
	3	9-10	11-16			17-20	12
II	4	21-22	23-28				8
	5	29-30	31-36		37-46	47-50	22
	6	51-52	53-58	59-72	73-82	83-86	36
III	7	87-88	89-94	95-108	109-118	119-122	36
	8	123-124	125-130		131-140	141-144	22
	9	145-146	147-152				8
IV	10	153-154	155-160			161-164	12
	11	165-166				167-170	6
	12	170-172					2

*(вариант б)*

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	С е м е й с т в а я д е р					Кол-во, шт
		а	б	с	g	h	
I	1	1-2					2
	2	3-4				5-8	6
	3	9-10	11-16			17-20	12
II	4	21-22	23-28				8
	5	29-30	31-36	37-46		47-50	22
	6	51-52	53-58	59-68	69-82	83-86	36
III	7	87-88	89-94	95-104	105-118	119-122	36
	8	123-124	125-130	131-140		141-144	22
	9	145-146	147-152				8
IV	10	153-154	155-160			161-164	12
	11	165-166				167-170	6
	12	170-172					2

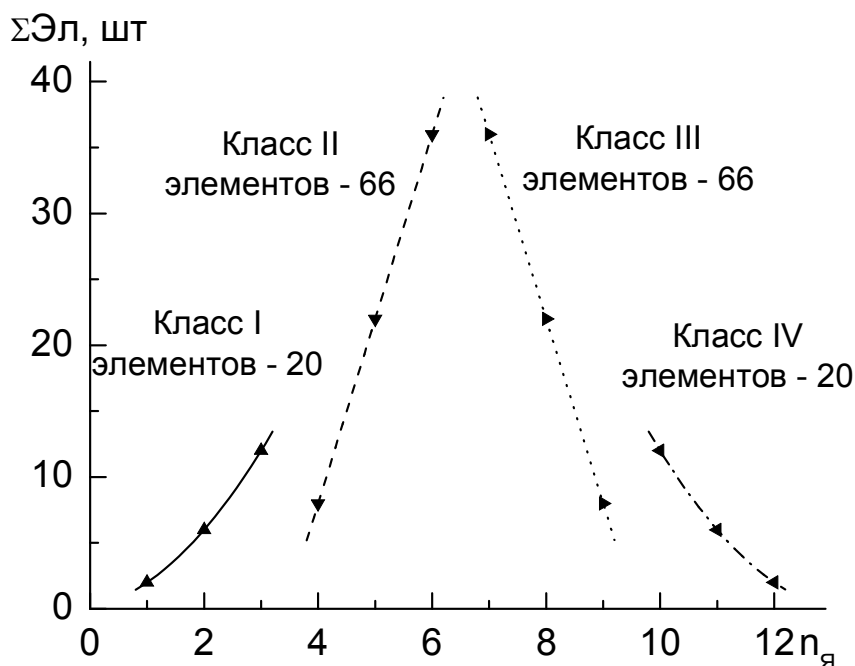
только s-типа. Аналогичным образом гелий в случае ПСЯЭВ замыкает первый период, являясь единственным магическим ядром а-типа.

В данной работе мы не будем подробно рассматривать структуру и характеристики ядерной формулы. Этот вопрос сам по себе очень важен и сложен, поэтому мы его рассмотрим, позднее в отдельной публикации.

Попытки построить какие-то иные варианты ПСЯЭВ при условии того, что магические ядра завершают ее периоды не увенчались успехом.

Ответить на вопрос о том, какому варианту ПСЯВ отдать предпочтение в данный момент мы не можем, поэтому мы будем анализировать различные закономерности ПСЯЭВ для обоих вариантов. Вполне возможно, что полученная таким образом информация позволит нам склониться к какому-то одному варианту, тем более что спорным является положение в таблице для ядер известных к настоящему времени элементов.

Анализ структуры ПСЯЭВ начнем с анализа распределения ядер элементов по периодам и классам. На рис.6.1 показано распределение ядер элементов по периодам ПСЯЭВ. Этому распределению удовлетворяют оба варианта ПСЯЭВ.



**Рис. 6.1.** Распределение ядер по периодам и классам ПСЯЭВ

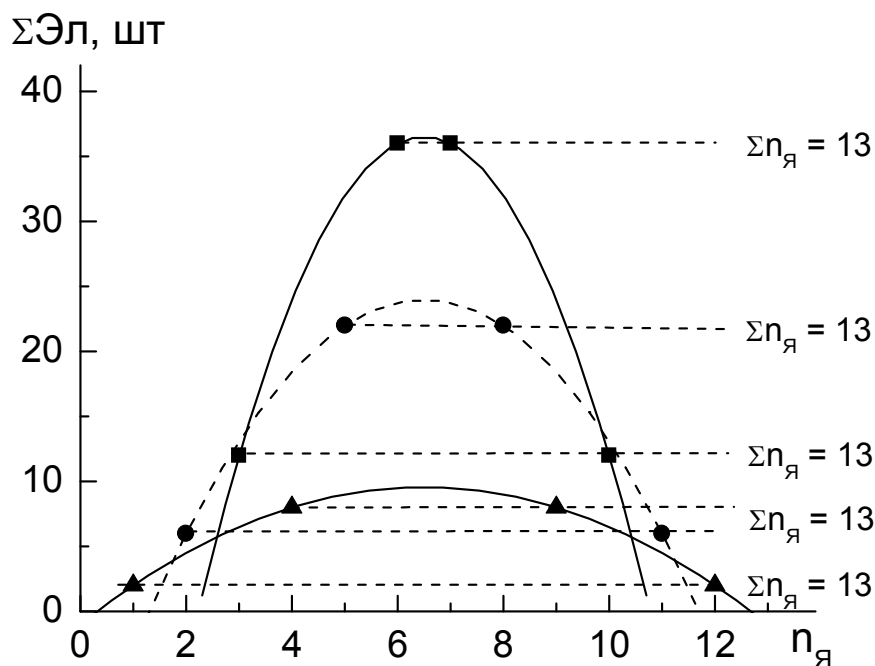
Особо отметим, что представленное на рис.6.1 распределение ядер по периодам ПСЯЭВ описывается простейшими соотношениями

$$\Sigma \text{Эл}(n_{\text{я}}) = \begin{cases} n_{\text{я}} \cdot (n_{\text{я}} + 1), n_{\text{я}} = (1-3), \text{класс } I \\ (14n_{\text{я}}^2 - 48), n_{\text{я}} = (4-6), \text{класс } II \\ (134 - 14n_{\text{я}}^2), n_{\text{я}} = (7-9), \text{класс } III \\ (182 - 27n_{\text{я}} + n_{\text{я}}^2), n_{\text{я}} = (10-12), \text{класс } IV \end{cases} \quad (6.1)$$

Соотношение (6.1) фактически является математической записью предлагаемой структуры ПСЯЭВ, оно с абсолютной точностью описывает распределение ядер элементов по всем периодам.

Из представленных соотношений (6.1) видно, что входящие в них коэффициенты пропорциональности определяются номером класса. Таким образом, эти результаты очень наглядно демонстрируют обоснованность введения такой классификационной категории как класс.

Можно представить еще несколько подходов к объединению периодов, в частности один из таких подходов показан на рис.6.2. Здесь одинаковыми символами обозначены первые, вторые и третьи периоды, образующие класс.



**Рис. 6.2.** Возможное объединение периодов ПСЯЭВ

В данном случае получаем, что на каждом уровне ПСЯЭВ сумма номеров периодов одинакова и равна 13. Подобное объединение периодов мы наблюдали ранее для ПСАЭВ.

Таким образом, в данном разделе представлены два варианта построения ПСЯЭВ на основе предположения о том, что магические ядра должны замыкать периоды. Принципиальное отличие между предлагаемыми вариантами заключается в том, каким образом выделить группу ядер g-типа:

- как тип ядер, появляющихся в 6 и 7 периодах ПСЯЭВ между b- и c-ядрами (*вариант а* таблица 6.1, по аналогии с построением ПСАЭВ);
- или как тип ядер, появляющихся в 6 и 7 периодах ПСЯЭВ в промежутке между c-ядрами и h-ядрами (*вариант b* таблица 6.1).

Возможно, что ответ на этот вопрос о предпочтительности вариантов ПСЯЭВ можно будет получить по результатам анализа закономерностей ПСЯЭВ.

Предложенная структура ПСЯЭВ содержит 172 типа ядер элементов, которые распределены по 12 периодам и 4 классам в соответствие с закономерностями построения ядер, по аналогии с распределением атомов элементов в соответствие с закономерностями построения электронной оболочки.

Кроме того установлено соотношение (6.1), которое описывает распределение ядер элементов по периодам ПСЯЭВ и фактически является математическим законом ее построения.

## 6.2 АНАЛИЗ НУКЛОННОГО СОСТАВА ЯДЕР

Можно предположить, что для ПСЯЭВ одной из основных характеристик для анализа ее закономерностей является нуклонный состав ядер, поэтому именно на анализе нуклонного состава ядер мы и сосредоточим свое внимание при рассмотрении закономерностей ПСЯЭВ.

Прежде всего, рассмотрим изменение нуклонного состава для ядер, которые замыкают выделенные периоды (см. таблицу 6.1), подобно тому, как мы это делали ранее для ПСАЭВ. Отметим, что номера ядер элементов, которые замыкают выделенные периоды, одинаковы для обоих вариантов ПСЯЭВ. Поэтому полученные результаты не позволят отдать предпочтение одному из вариантов структуры рассматриваемой ПСЯЭВ.

На рис.6.3 показано изменение  $N/Z$  в зависимости от номера периода для ядер элементов, которые замыкают периоды. При построении этой зависимости мы воспользовались результатами прогнозирования свойств неизвестных элементов, которые были получены нами ранее при анализе закономерностей ПСАЭВ (см. Приложение 3).

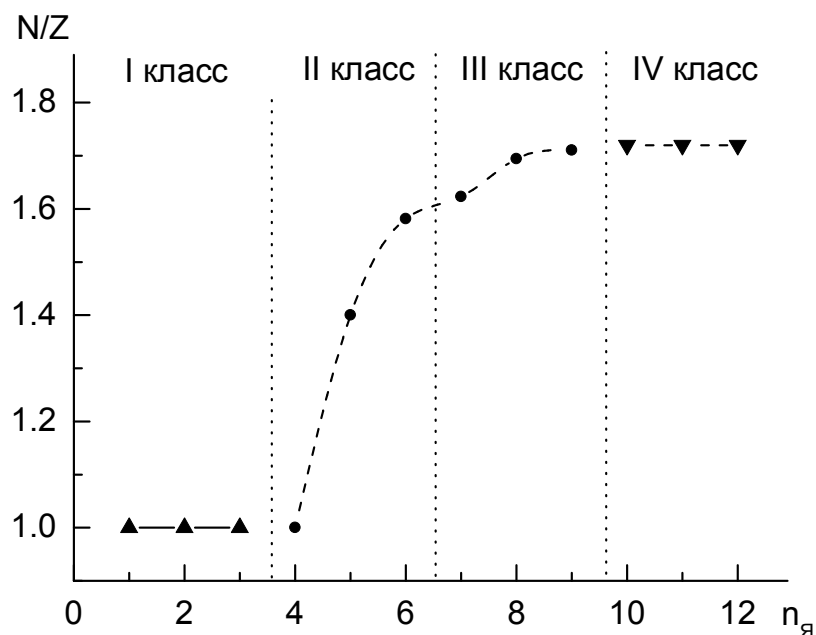
Полученные закономерности (рис.6.1.) очень четко описываются достаточно простыми соотношениям

$$\left(\frac{N}{Z}\right)_{n_{\text{я}}} = \begin{cases} 1,00 & \text{при } n_{\text{я}} = (1-3) \\ 1,72 - \frac{n_{\text{яmax}}}{1 + \exp[(n_{\text{я}} - 1)/1,10]} & \text{при } n_{\text{я}} = (4-6) \\ 1,72 - \frac{n_{\text{яmax}}}{1 + \exp[(n_{\text{я}} - 2,5)/1,10]} & \text{при } n_{\text{я}} = (7-9) \\ 1,72 & \text{при } n_{\text{я}} = (10-12) \end{cases} \quad (6.2)$$

где  $\left(\frac{N}{Z}\right)_{n_{\text{я}}}$  – значение отношения  $N/Z$  для элемента, замыкающего период  $n_{\text{я}}$ ;

$n_{\text{яmax}} = 12$  – число периодов ПСЯЭВ.

Соотношения (6.2) достаточно хорошо описывают имеющиеся данные, что дополнительно свидетельствует о правомерности введения дополнительной классификационной категории – класс в структуру ПСЯЭВ.



**Рис. 6.3.** Изменение  $N/Z$  для ядер, замыкающих периоды ПСЯЭВ в зависимости от номера периода: символы – известные данные; линии установленные закономерности

Результаты, которые показаны на рис.6.3, позволяют ввести следующие названия выделенных ранее классов ПСЯЭВ:

- I класс – **суперлегкие ядра** ( $1 \leq Z \leq 28$ );
- II класс – **легкие ядра** ( $29 \leq Z \leq 86$ );
- III класс – **тяжелые ядра** ( $87 \leq Z \leq 144$ );
- IV класс – **супертяжелые ядра** ( $144 \leq Z \leq 172$ ).

Таким образом, введенные нами классы получают дополнительное обоснование в необходимости их введения, т.е. теперь мы можем очень четко делить ядра по величине  $N/Z$ .

На наш взгляд следует особо отметить, что **оценки нуклонного состава неизвестных ядер, полученные нами ранее в результате анализа закономерностей ПСАВ, полностью соответствуют закономерностям, установленным для ПСЯЭВ**, что наглядно демонстрирует наличие внутренней связи между положениями ядерной физики и положениями атомной физики.

Следует также отметить, что отношение  $N/Z$  для легких и тяжелых ядер описывается сигмоидальным распределением (6.2), которое (как это будет видно из представленного ниже материала) является одним из основных соотношений, позволяющих эффективно описывать различные закономерности ПСЯЭВ.

От представленного выше общего анализа нуклонного состава ядер

перейдем к рассмотрению нуклонного состава ядер, которые отнесены нами к различным семействам (см. таблицу 6.1).

**а-Ядра.** Прежде всего, отметим, что выделенные нами а-ядра удовлетворяют двум вариантам структуры ПСЯЭВ (таблица 6.1). На рис. 6.4 показано изменение отношения  $N/Z$  для  $a^1$ - и  $a^2$ -ядер в зависимости от номера периода ПСЯЭВ  $n_j$ . Видно, что для сублегких  $a^1$ -ядер наблюдается квадратичная зависимость отношения  $N/Z$  от номера периода, в то время как для остальных ядер изменение  $N/Z$  описывается сигмоидальным распределением. Для сублегких и легких  $a^2$ -ядер наблюдаются квадратичные зависимости отношения  $N/Z$  от  $Z$  для каждой из подгрупп, в то время как для остальных  $a^2$ -ядер наблюдается сигмоидальное распределение, но естественно со своими параметрами.

**б-Ядра.** б-Ядра также полностью удовлетворяют установленным вариантам структуры ПСЯЭВ (см. таблицу 6.1). Из рассмотрения мы исключим б-ядра третьего периода, поскольку они относятся к сублегким ядрам и описываются собственными закономерностями. На рис. 6.5 показано изменение отношения  $N/Z$  для б-ядер при переходе от периода к периоду, а на рис.6.6 – изменение  $N/Z$  внутри каждого из рассматриваемых периодов.

Имеющиеся данные для б-ядер при переходе от периода к периоду также описываются сигмоидальным распределением. При этом наблюдается достаточно хорошее соответствие между установленными соотношениями и полученными ранее данными (Приложение 3).

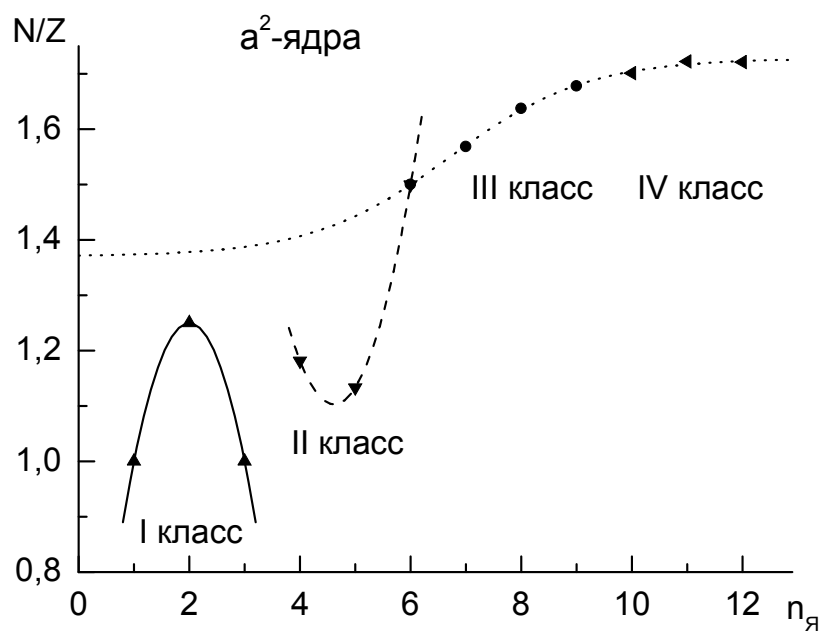
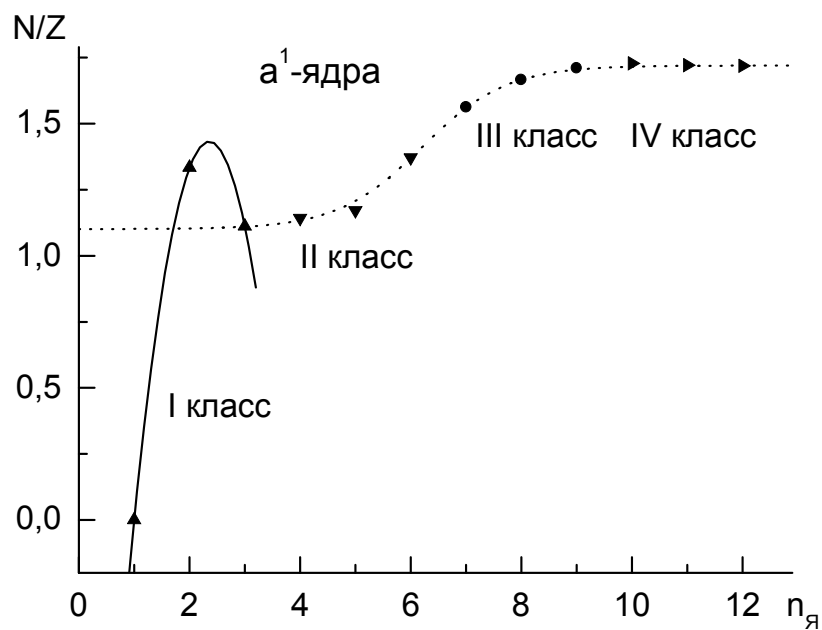
**h-Ядра.** h-Ядра также полностью удовлетворяют установленным вариантам структуры ПСЯЭВ (см. таблицу 6.1). На рис. 6.7 и рис.6.8 показано изменение отношения  $N/Z$  для h-ядер при переходе от периода к периоду и внутри периодов, соответственно. В данном случае для описания изменения этого отношения также применимо сигмоидальное распределение.

Имеющиеся данные для h-ядер достаточно хорошо коррелируют с установленными соотношениями.

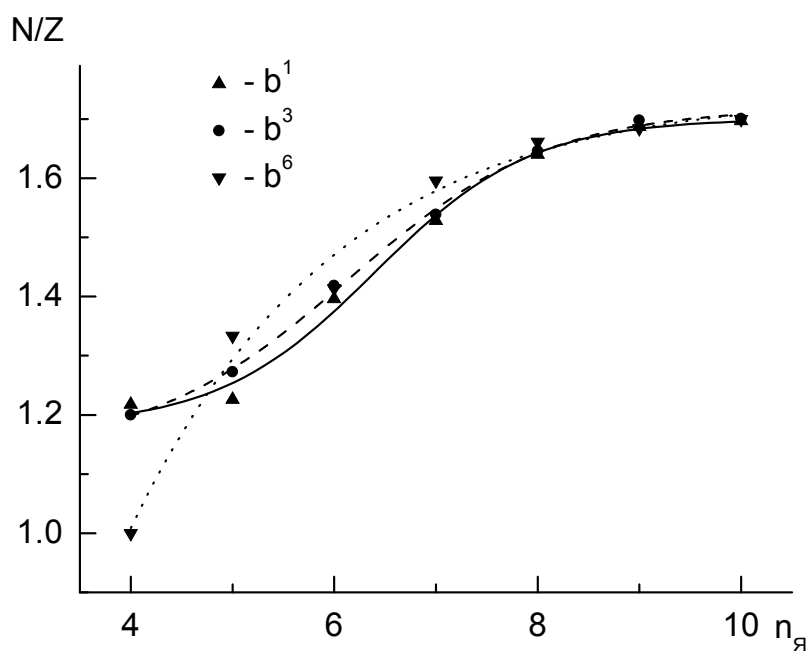
**с- и g-Ядра.** Именно для этих двух типов ядер наблюдается расхождение в структуре ПСЯЭВ, как это показано в таблице 6.1. Отметим, что g-ядра появляются только в шестом и седьмом периодах ПСЯЭВ. Рассмотрим с-ядра, которые появляются в существенно большем количестве периодов по сравнению с h-ядрами.

На рис.6.9 представлена зависимость отношения  $N/Z$  от  $Z$  для с-ядер для двух предлагаемых вариантов ПСЯЭВ. Подобно тому, как это мы делали ранее, общую зависимость мы описали сигмоидальной функцией, которая на рисунках показана пунктирной линией. Сопоставление представленных результатов позволяет сделать вывод о том,

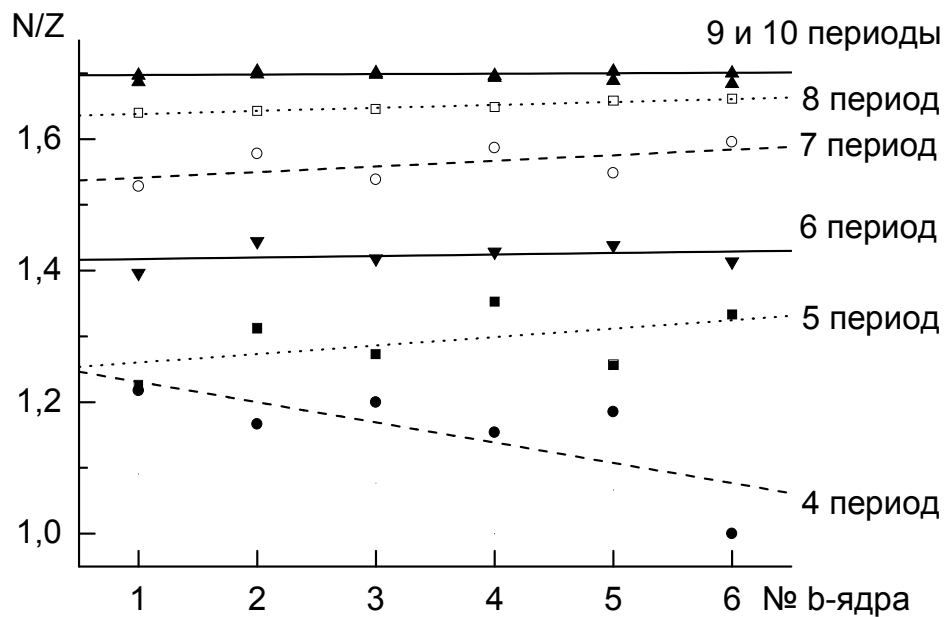




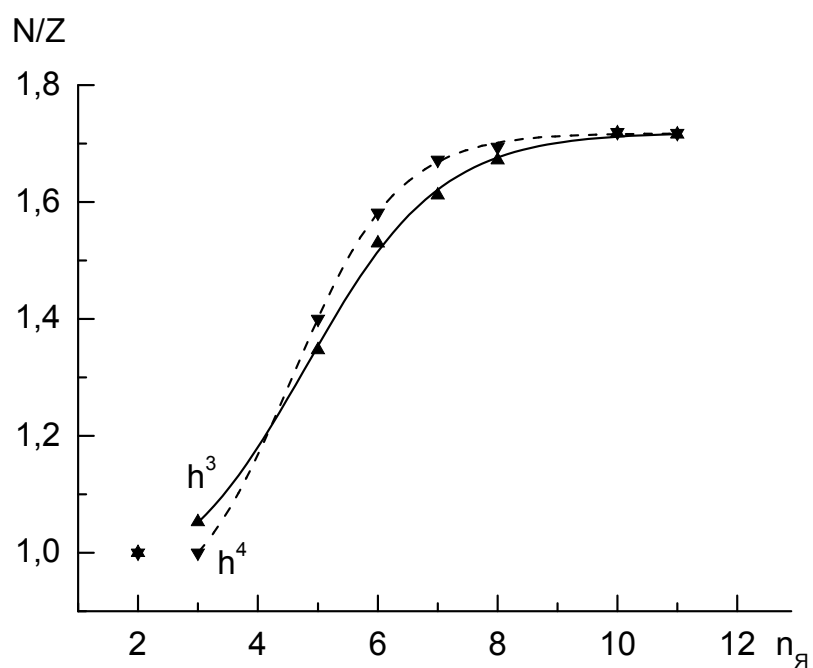
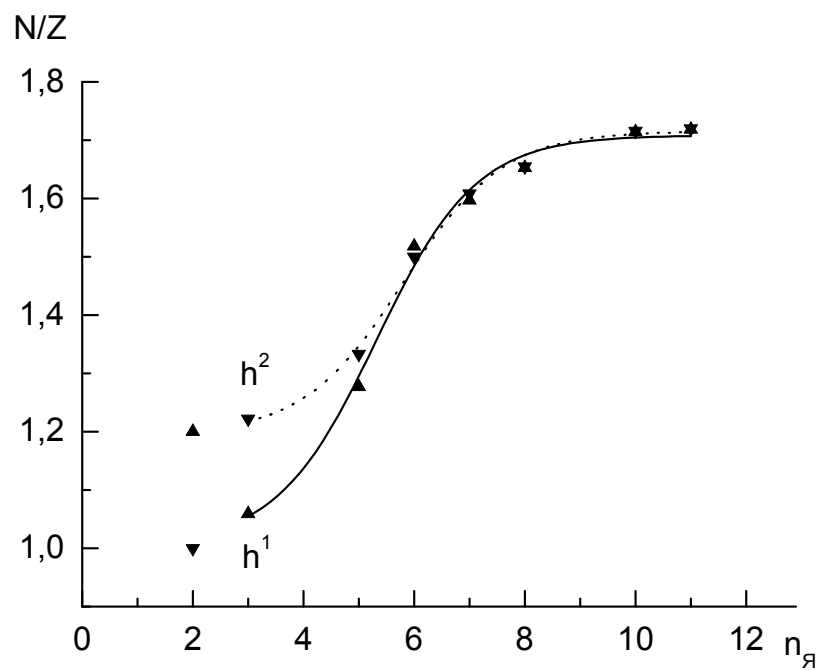
**Рис. 6.4.** Изменение  $N/Z$  для  $a$ -ядер: символы – известные данные (Приложение 4); линии установленные закономерности



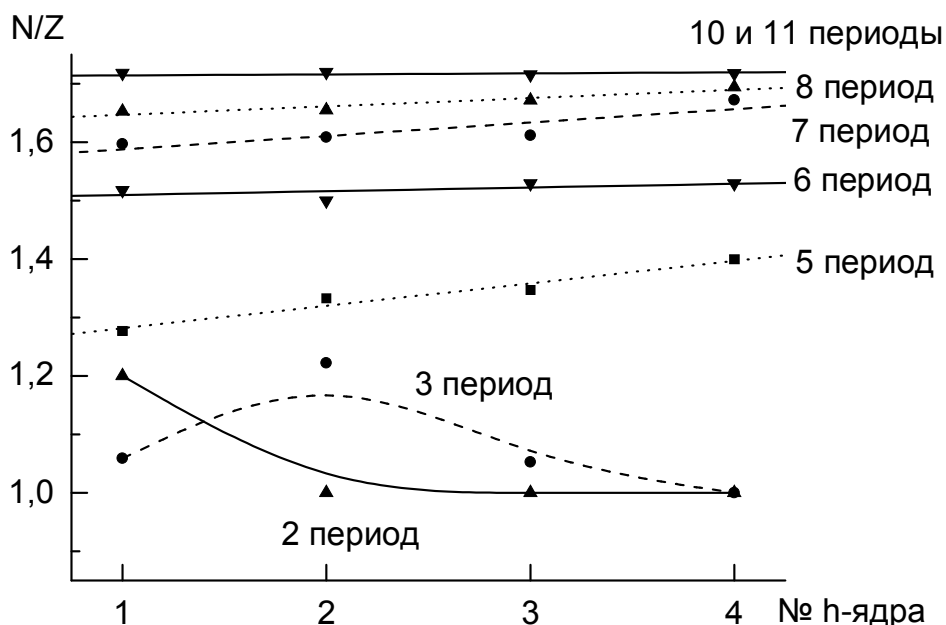
**Рис. 6.5.** Изменение  $N/Z$  для  $b$ -ядер при переходе от периода к периоду: символы – известные данные (Приложение 4); линии установленные закономерности



**Рис. 6.6.** Изменение  $N/Z$  для  $b$ -ядер внутри каждого из рассматриваемых периодов: символы – известные данные (Приложение 4); линии установленные закономерности



**Рис. 6.7.** Изменение  $N/Z$  для  $h$ -ядер при переходе от периода к периоду: символы – известные данные (Приложение 4); линии установленные закономерности



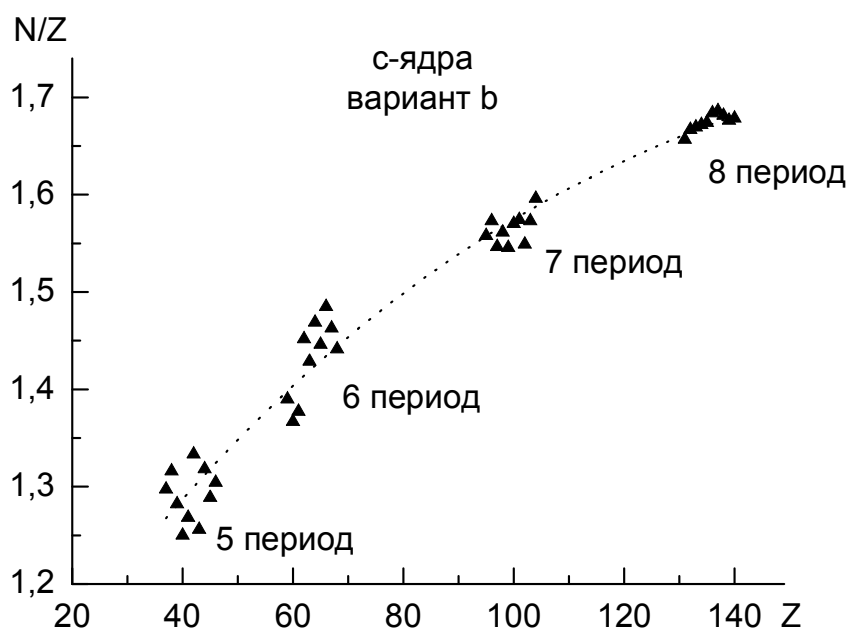
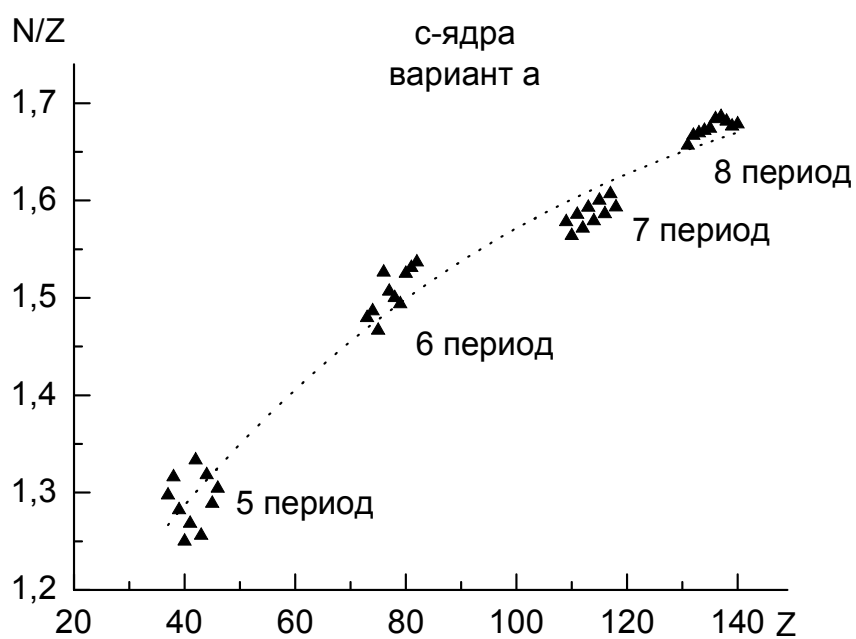
**Рис. 6.8.** Изменение  $N/Z$  для  $h$ -ядер внутри каждого из рассматриваемых периодов: символы – известные данные (Приложение 4); линии установленные закономерности

что более предпочтительным является вариант *b* (см. таблицу 6.1), поскольку для варианта *a* с-ядра седьмого периода явно выпадают из общей зависимости. Если мы будем рассматривать данную зависимость по отдельности (т.е. для ядер  $c^1, c^2, \dots, c^{10}$ ), то получим идентичную картину. При этом для случая с-ядер варианта *a* наблюдается очень специфическая группировка ядер, что выглядит также несколько необычно.

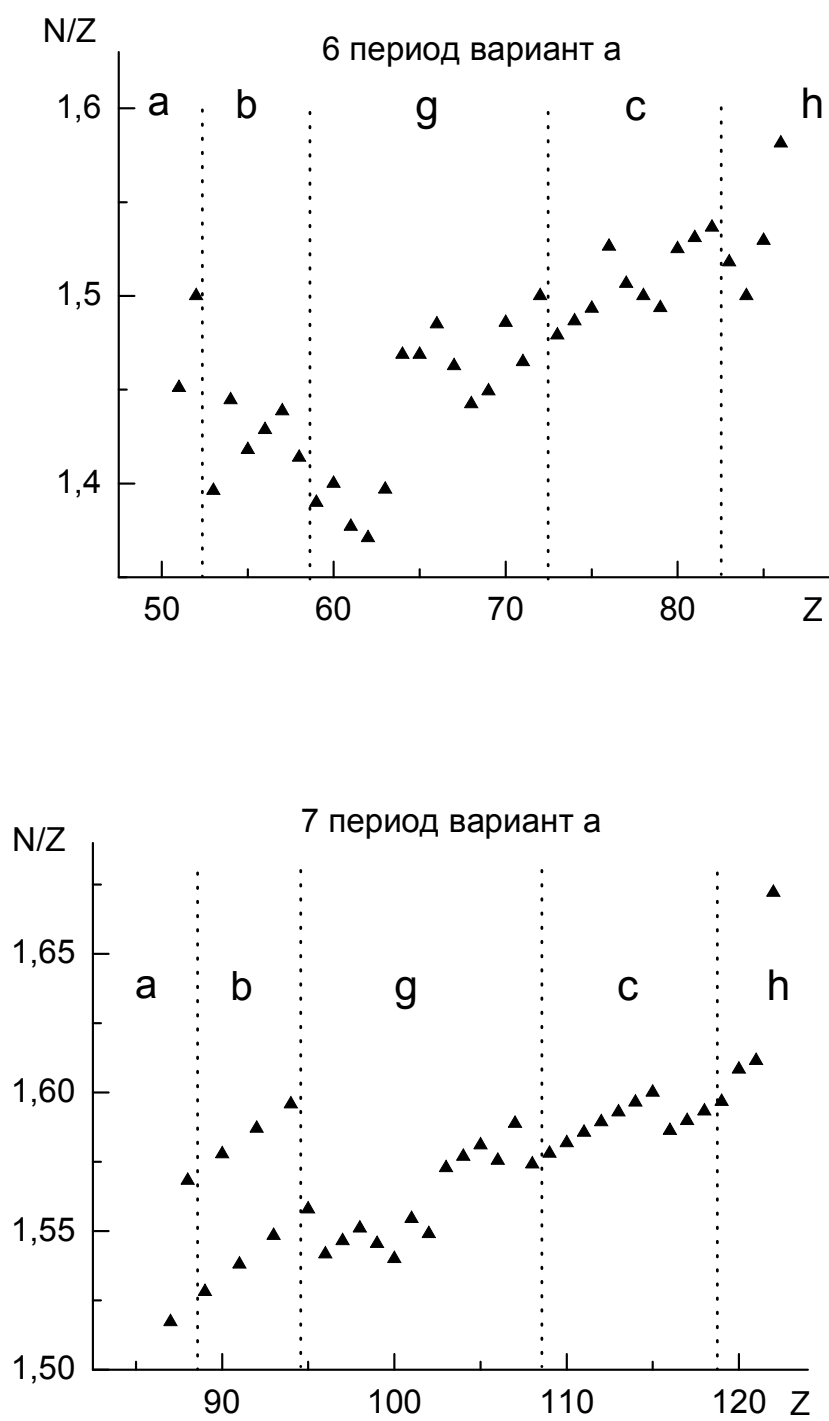
Прежде всего, рассмотрим закономерности, полученные для шестого периода. Видно, что в варианте *b* *g*-элементы объединяются в специфические группы. Подобное также наблюдается и для седьмого периода.

Следует напомнить о том, что вариант *a* был введен нами несколько искусственным путем по аналогии со строением ПСАЭВ, где *f*-элементы встраиваются в *d*-элементы. Но ведь это была специфика построения электронной оболочки атомов, а в рассматриваемом случае мы имеем дело с закономерностями строения ядер, поэтому вполне логичным, с самого начала, и являлся вариант *b*.

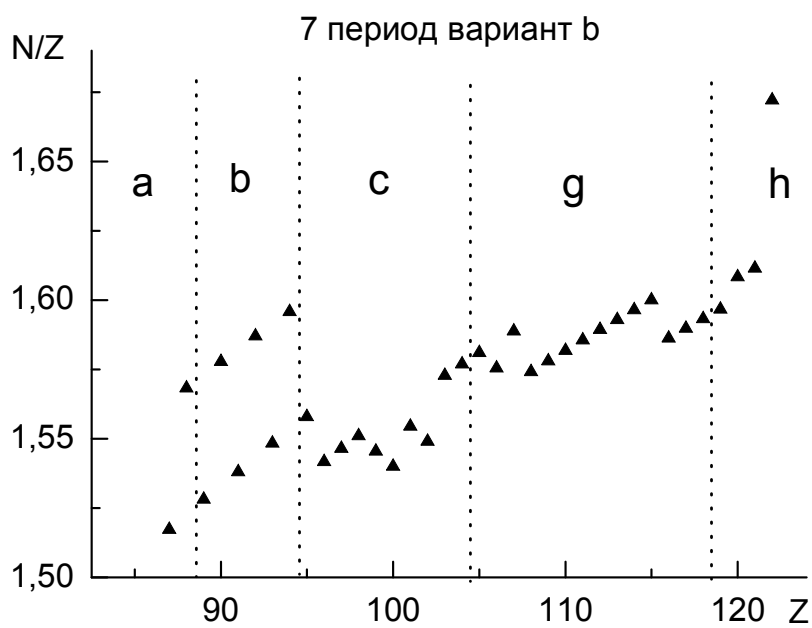
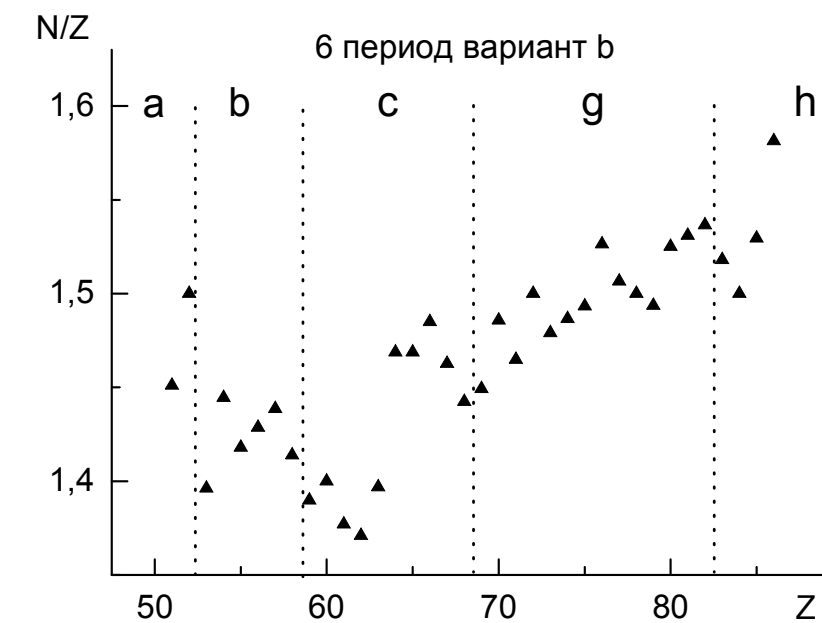
На наш взгляд представленные выше результаты достаточно убедительно доказывают предпочтительность варианта *b*, но все равно дополнительно рассмотрим общие зависимости  $N/Z$  для шестого и седьмого периодов ПСАЭВ с учетом двух возможных вариантов структуры ПСЯЭВ, которые представлены на рис.6.10 (вариант *a*) и 6.11 (вариант



**Рис. 6.9.** Изменение  $N/Z$  для с-ядер в зависимости от  $Z$ : символы – известные данные (Приложение 4); линии установленные закономерности



**Рис. 6.10.** Общее изменение  $N/Z$  в зависимости от  $Z$  для шестого и седьмого периодов (вариант а)



**Рис. 6.11.** Общее изменение  $N/Z$  в зависимости от  $Z$  для шестого и седьмого периодов (вариант b)

b). Данные результаты также позволяют отдать предпочтение варианту b).

Таким образом, представленные выше результаты позволяют утверждать о том, что структура Периодической системы ядер элементов Вещества должна соответствовать варианту b таблицы 6.1. Таким образом, получаем Периодическую систему ядер, представленную на рис.6.12. Т.е. можно говорить, что это **окончательный вариант**.

Далее рассмотрим изменение нуклонного состава ядер внутри периодов. На рис.6.13 представлены полученные зависимости для суперлегких ядер. Из рассмотрения в данном случае мы исключили ядра первого периода, что обусловлено его аномальностью, поскольку он фактически контактирует с СФЧ. Именно для суперлегких ядер первого периода наблюдается рост отношения  $N/Z$  с ростом  $Z$ , в то время как для остальных суперлегких ядер наблюдается следующее поведение  $N/Z$  (см. рис. 6.13):

- $N/Z = 1$  для части суперлегких ядер второго и третьего периодов;
- $N/Z$  падает с ростом  $Z$ , при этом для части ядер второго периода и части ядер третьего периода изменение  $N/Z$  описывается одним и тем же соотношением;
- для части ядер второго периода, которые граничат с третьим периодом, также наблюдается спад отношения  $N/Z$  с ростом  $Z$ , но при этом изменение  $N/Z$  описывается своим соотношением.

Далее рассмотрим легкие ядра, для которых характерные зависимости отношения  $N/Z$  от  $Z$  представлены на рис. 6.14 и рис.6.15. Рассмотрим 4 период ПСЯЭВ. Результаты, представленные на рис.6.14, позволяют сделать вывод о том, что на фоне проявления закономерностей характерных для суперлегких ядер (снижение отношения  $N/Z$  с ростом  $Z$ , зависимости 1 на рис. 6.14), также проявляется рост отношения  $N/Z$  с ростом  $Z$  (зависимости 2 на рис. 6.14). Подобное поведение обнаруживают и легкие ядра пятого и шестого периодов (рис. 6.15), при этом для легких ядер шестого периода зависимости, характерные для суперлегких ядер проявляются только в начале периода.

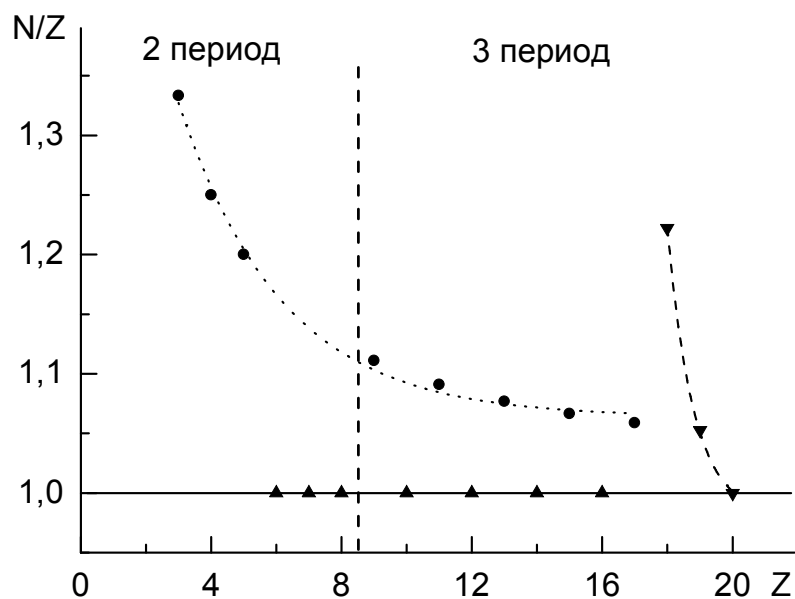
Таким образом, можно сделать вывод о том, что для легких ядер наблюдаются зависимости, выявленные ранее для суперлегких ядер, которые характеризуются снижением отношения  $N/Z$  с ростом  $Z$ , но при этом начинают проявляться зависимости, которые характеризуются ростом отношения  $N/Z$  с ростом  $Z$ .

Рассмотрим тяжелые ядра, для которых подобные зависимости показаны на рис. 6.16 и 6.17. В данном случае наблюдаются ярко выра-

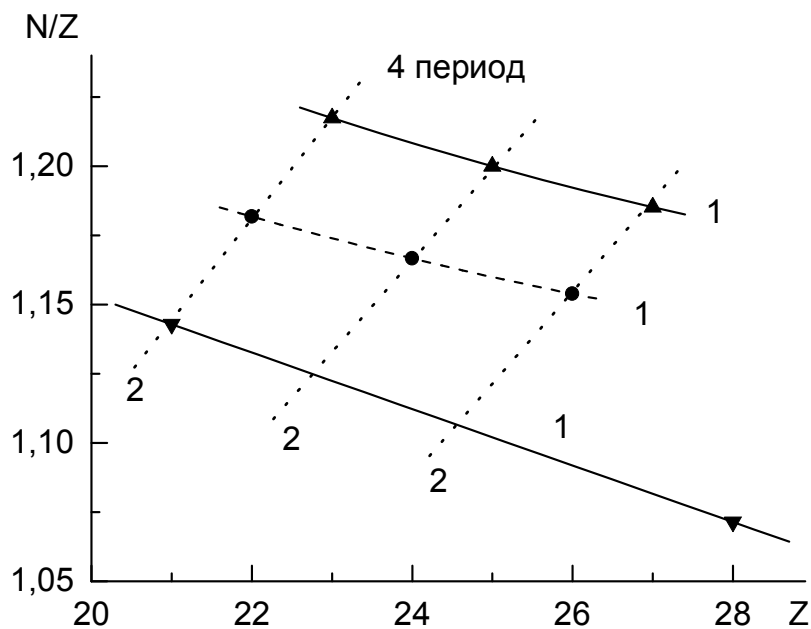


С Е М Е Й С Т В А Я Д Е Р	h - ядра											
	g - ядра											
	с - ядра											
	b - ядра											
	a - ядра											
Период	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Класс	I			II			III			IV		

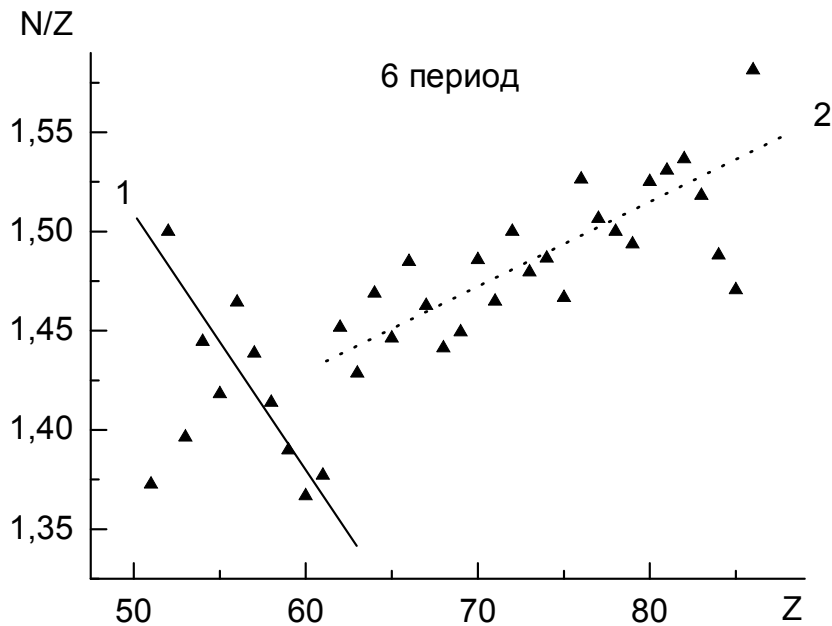
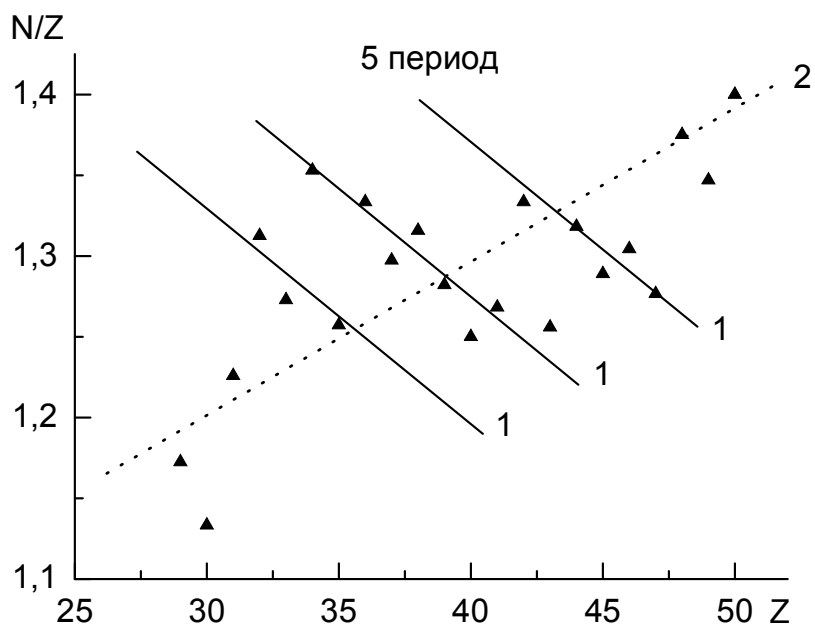
Рис. 6.12. Периодическая система ядер элементов Вещества



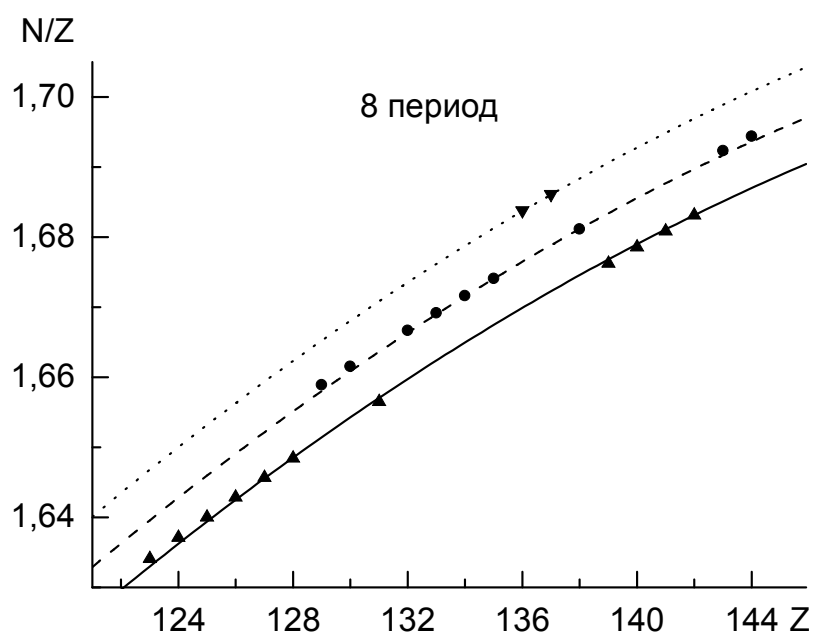
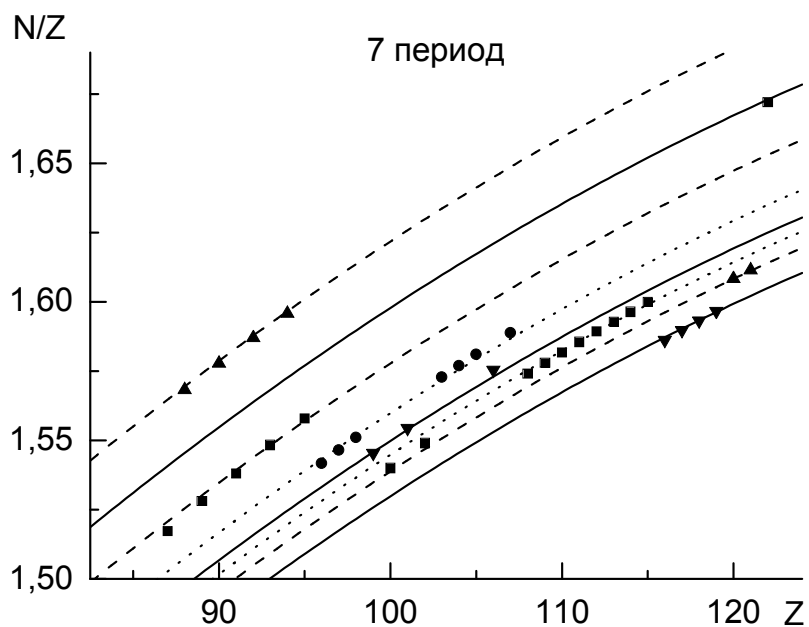
**Рис. 6.13.** Изменение отношения  $N/Z$  от  $Z$  для суперлегких ядер: символы известные данные (Приложение 4); линии – установленные закономерности



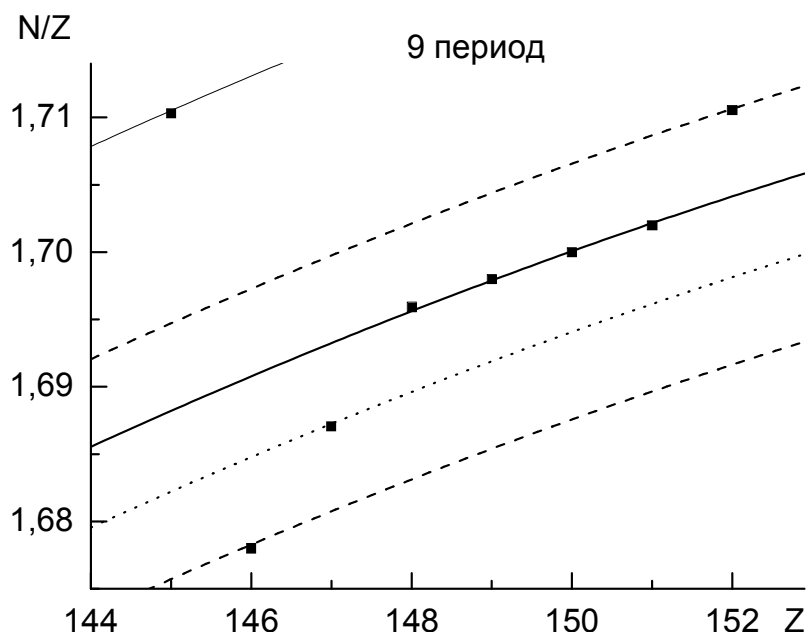
**Рис. 6.14.** Изменение отношения  $N/Z$  от  $Z$  для легких ядер 4 периода: символы известные данные (Приложение 4); линии – установленные закономерности



**Рис. 6.15.** Изменение отношения  $N/Z$  от  $Z$  для легких ядер 5 и 6 периодов: символы – известные данные (Приложение 4); линии – установленные закономерности 1 и 2



**Рис. 6.16.** Изменение отношения  $N/Z$  от  $Z$  для тяжелых ядер 7 и 8 периодов: символы известные данные (Приложение 4); линии – установленные закономерности



**Рис. 6.17.** Изменение отношения  $N/Z$  от  $Z$  для тяжелых ядер 9 периода: символы – известные данные (Приложение 4); линии – установленные закономерности

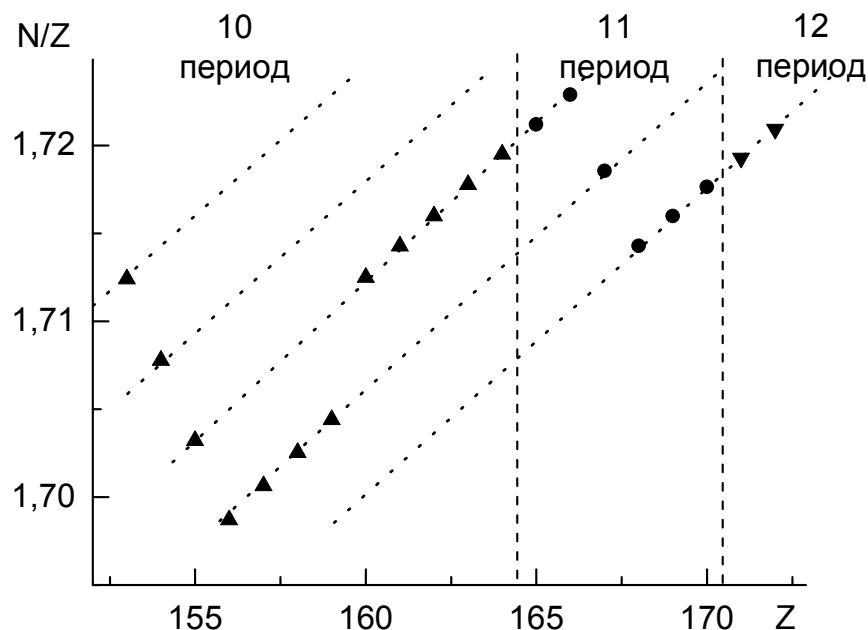
женные закономерности, которые характеризуют рост отношения  $N/Z$  с ростом  $Z$  для всех периодов, отнесенных нами к классу тяжелых ядер. Таким образом, данную тенденцию можно считать ярко выраженной особенностью класса тяжелых ядер.

Для всех трех периодов, образующих класс тяжелых ядер установленные зависимости можно описать одним и тем же соотношением

$$\frac{N}{Z} = k - m_{n_{\text{я}}} \cdot (Z - Z_{\text{max}})^2 \quad (6.3)$$

где  $Z_{\text{max}} = 172$  – количество элементов в ПСЯЭВ (соответственно и в ПСАЭВ);  $m_{n_{\text{я}}}$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий период ПСЯЭВ;  $k$  – коэффициент пропорциональности, характеризующий выделенную закономерность внутри каждого из периодов, образующих класс тяжелых ядер.

На рис. 6.18 представлены аналогичные зависимости для класса супертяжелых ядер. В данном случае выявленные линейные зависимости, которые практически характеризуют весь класс супертяжелых ядер одновременно. Именно супертяжелым ядрам характерно возрастание от-



**Рис. 6.18.** Изменение отношения  $N/Z$  от  $Z$  для супертяжелых ядер: символы – известные данные (Приложение 4); линии – установленные закономерности

ношения  $N/Z$  с ростом  $Z$ .

Суммируем основные результаты анализа изменения нуклонного состава ядер элементов внутри периодов ПСЯЭВ для различных классов ядер:

1. Суперлегкие ядра характеризуются ярко выраженным снижением отношения  $N/Z$  с ростом  $Z$ , в то время как супертяжелые ядра характеризуются ростом отношения  $N/Z$  с ростом  $Z$ .
2. Для легких ядер проявляются закономерности, выявленные для суперлегких ядер, так и закономерности, выявленные для супертяжелых ядер.
3. Для тяжелых ядер в полной мере проявляются закономерности характерные для супертяжелых ядер.

Таким образом, в результате анализа изменения нуклонного состава ядер внутри периодов ПСЯЭВ установлено, что наблюдаемые закономерности очень четко характеризуют выделенные классы ядер. Кроме того, анализ нуклонного состава позволил однозначно определиться со структурой ПСЯЭВ.

### 6.3 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ ПО ПЕРИОДАМ И КЛАССАМ

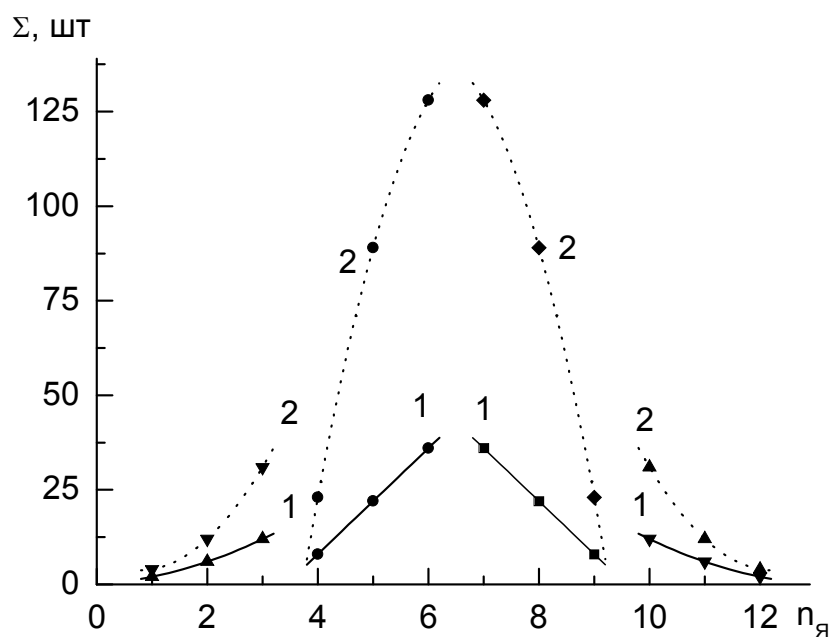
Представляет интерес рассмотреть распределение изотопов по периодам и классам ПСЯЭВ, подобно тому, как это мы делали уже ранее для ПСАЭВ. При этом следует напомнить, что распределение изотопов по периодам и классам для ПСЯЭВ заметно отличается по сравнению с ПСАЭВ. К настоящему времени практически известно содержание стабильных изотопов вплоть до радона  ${}_{86}^{136}\text{Rn}$ , который замыкает как шестой период ПСАЭВ, так и шестой период ПСЯЭВ, т.е. фактически радон замыкает первую половину этих систем. Напомним, что для этих систем мы получили симметричную по содержанию элементов структуру. Тогда мы можем по аналогии, определить содержание стабильных изотопов и для остальных периодов. Таким образом, получаем, что общее количество стабильных изотопов составляет 574 на 172 элемента.

Рассмотрим общее распределение ядер по периодам ПСЯЭВ, которое показано на рис. 6.19, где также показано распределение элементов по классам. Видно, что каждый класс можно характеризовать своей специфической зависимостью, как это показано на рис.6.20. При этом распределение элементов и изотопов по классам ПСЯЭВ описывается нормальным законом.

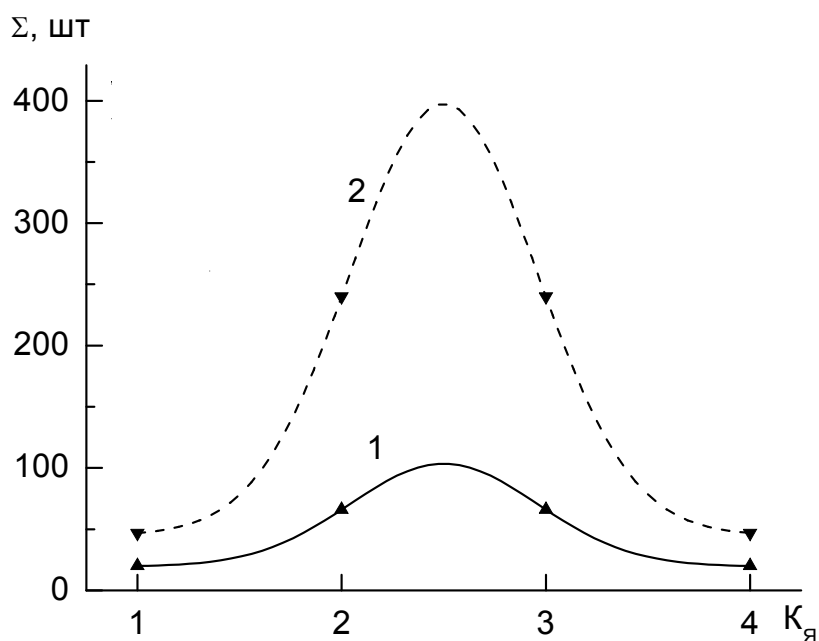
Как и в случае ПСАЭВ представляет интерес анализ зависимости нормированного содержания изотопов в периодах и классах ПСЯЭВ. На рис.6.21 показаны результаты, полученные при анализе зависимости нормированного содержания изотопов в периодах ПСЯЭВ. В данном случае мы можем опять говорить о «*мистическом*» объединении периодов, которое мы наблюдали ранее для ПСАЭВ: –  $(1 + 12 = 2 + 11 = 3 + 10 = 4 + 9 = 6 + 7 = 5 + 8 = 13)$ . Таким образом, указанное выше объединение периодов наблюдается как для ПСАЭВ, так и для ПСЯЭВ, не смотря на то, что для этих двух систем периоды объединяют совершенно разные наборы элементов. Кроме того наблюдается следующее объединение периодов –  $(1 + 3 + 4 + 8), (2 + 7), (5 + 9 + 10 + 12)$  и  $(6 + 11)$ , которое отличается от дополнительных объединений, наблюдаемых ранее для ПСАЭВ.

На рис.6.22 показано изменение нормированного содержания изотопов от номера класса, которое очень хорошо описывается стандартным нормальным распределением.

Далее аналогичным образом рассмотрим моноизотопные элементы, для которых на рис.6.23 и 6.24 показано распределение количества моноизотопных элементов по периодам и классам ПСЯЭВ.

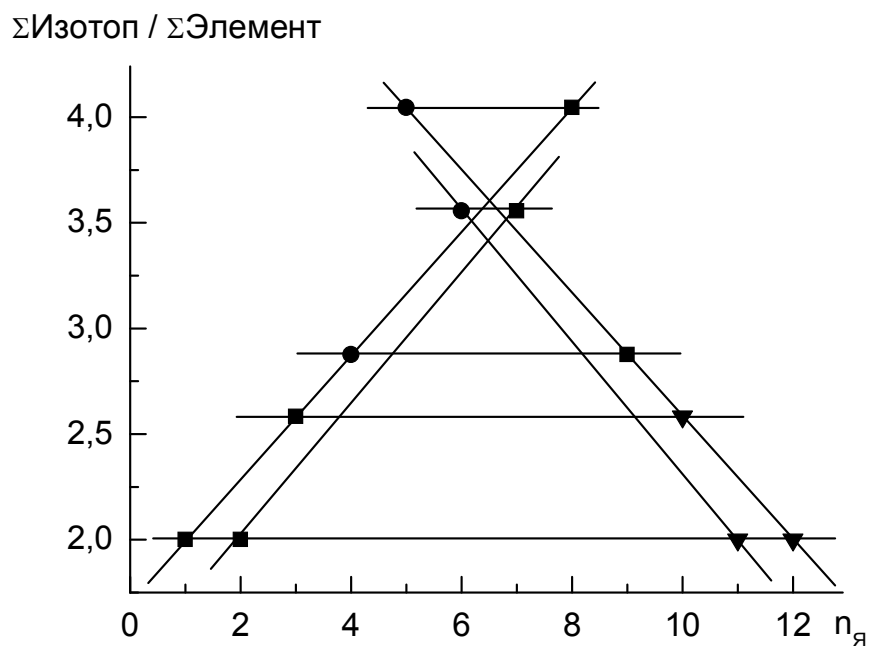


**Рис. 6.19.** Распределение количества элементов (1) и количества изотопов (2) по периодам ПСЯЭВ: символы известные данные; линии – установленные закономерности

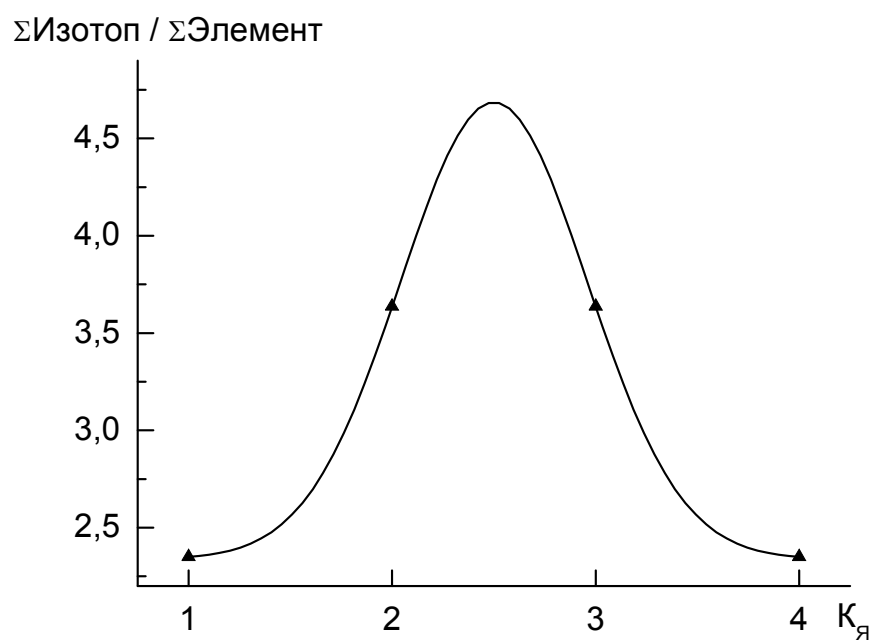


**Рис. 6.20.** Распределение количества элементов (1) и количества изотопов (2) по классам ПСЯЭВ: символы известные данные; линии – установленные закономерности

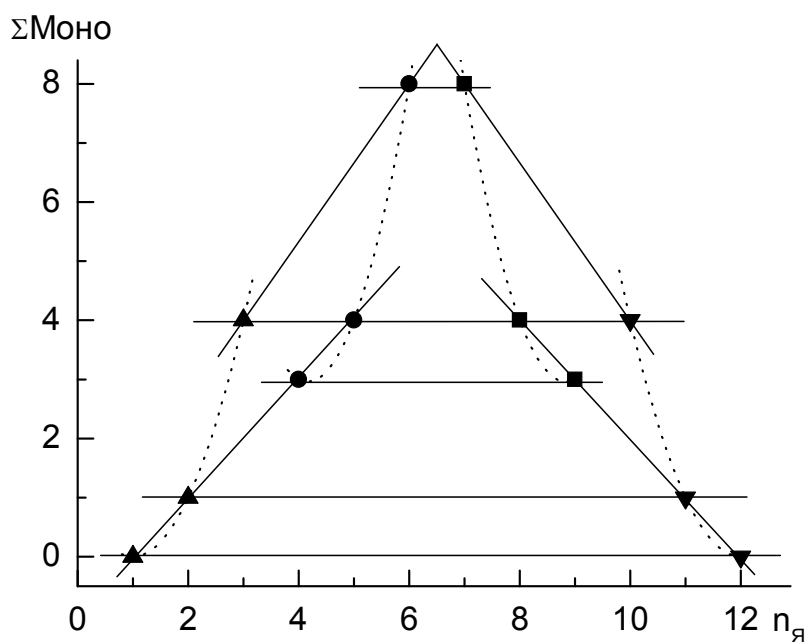




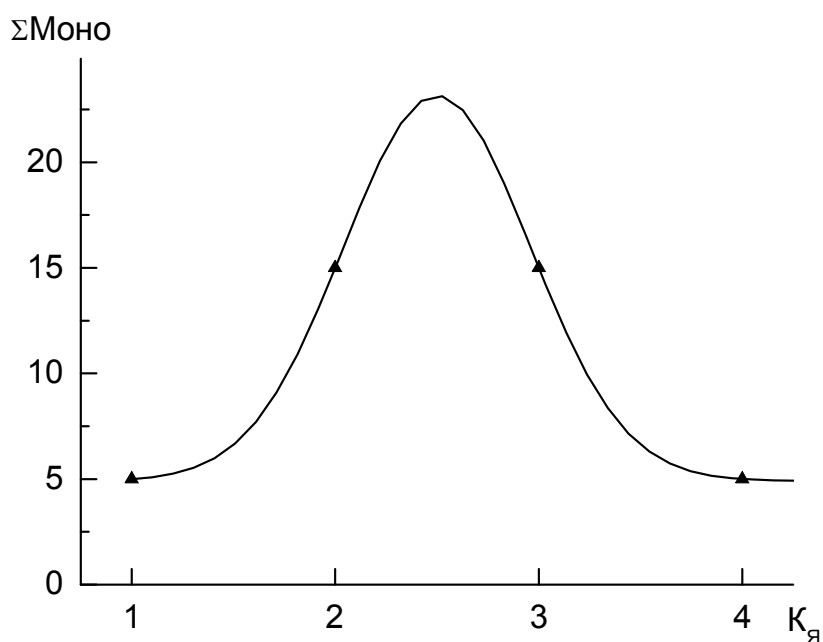
**Рис. 6.21.** Нормированное содержание изотопов по различным периодам ПСЯЭВ: символы известные данные; линии – установленные закономерности



**Рис. 6.22.** Нормированное содержание изотопов в классах ПСЯЭВ: символы известные данные; линия – нормальное распределение



**Рис. 6.23.** Содержание моноизотопных элементов в периодах ПСЯЭВ: символы известные данные; сплошные линии – установленные группировки периодов; пунктирные линии – распределение моноизотопных элементов внутри классов



**Рис. 6.24.** Содержание моноизотопных элементов в классах ПСЯЭВ: символы известные данные; линия – нормальное распределение

Рассмотрим результаты, представленные на рис.6.22 и 6.23. Подобно тому, как это мы наблюдали ранее, для моноизотопных элементов также наблюдается объединение периодов ПСЯЭВ в характерные группы. В таблице 6.2 суммированы наблюдаемые объединения для периодов ПСЯЭВ.

**Таблица 6.2. Объединение периодов ПСЯЭВ**

№ п/п	Объединяющие признаки	Основания для объединения
1.	«Мистическое» объединение нечетного и четного периодов. При этом сумма номеров объединяемых периодов равна 13. Объединяемые периоды: $1 + 12 = 2 + 11 = 3 + 10 = 4 + 9 = 5 + 8 = 6 + 7 = 13$	Одинаковое количество элементов в периоде, т.е. одинаковая емкость периода. См. рис. 6.2.
2.	«Мистическое» объединение нечетного и четного периодов.	Одинаковое нормированное содержание изотопов в периодах (т.е. одинаковое отношение общего количества изотопов в периоде к количеству элементов в периоде). См. рис.6.21.
	Объединение периодов: $(1 + 3 + 4 + 8)$ , $(2 + 7)$ , $(5 + 9 + 10 + 12)$ и $(6 + 11)$	Зависимость нормированного содержания изотопов в объединяемых периодах описывается идентичным соотношением. См. рис.6.21.
3.	«Мистическое» объединение нечетного и четного периодов.	Распределение моноизотопных элементов по периодам. См. рис.6.23. Одинаковое содержание моноизотопных элементов в периоде.
	Объединение периодов: $(1 + 2 + 4 + 5)$ , $(3 + 6)$ , $(7 + 11)$ , $(8 + 9 + 11 + 12)$	Зависимость изменения содержания моноизотопных элементов в периоде от номера периода описывается идентичными соотношениями. См. рис. 6.23.

Если сопоставить результаты, представленные в таблице 5.3, таблице 5.4 и таблице 6.2, то можно сделать однозначный вывод о том, что «мистическое» объединение периодов и классов является не более чем следствием проявления симметрии структуры ПСАЭВ и ПСЯЭВ. Это очень наглядно видно на графическом материале, ссылки на который приведены в соответствующих таблицах. Так что никакой мистики здесь нет. Мы оставили эти рассуждения в данной работе для того, чтобы показать, насколько важно избавляться от мистицизма и искать достаточно простые и вполне реальные объяснения наблюдаемым явлениям.

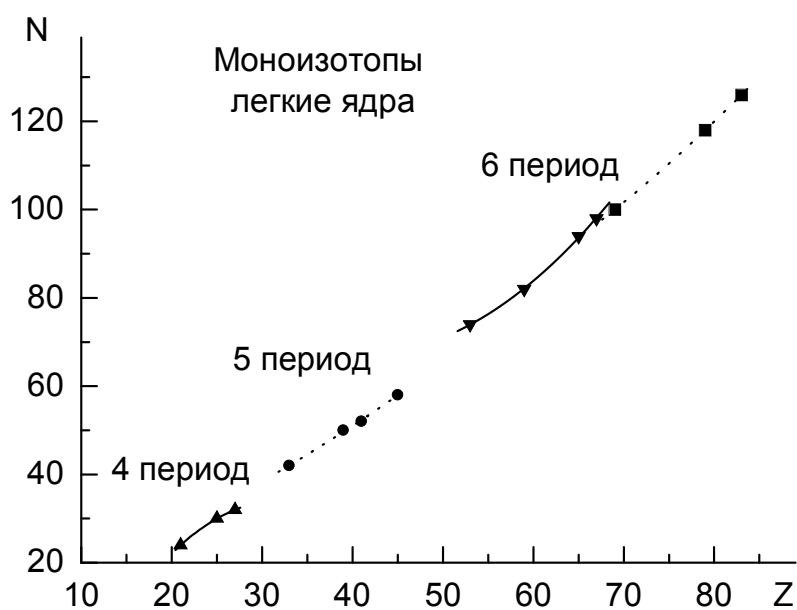
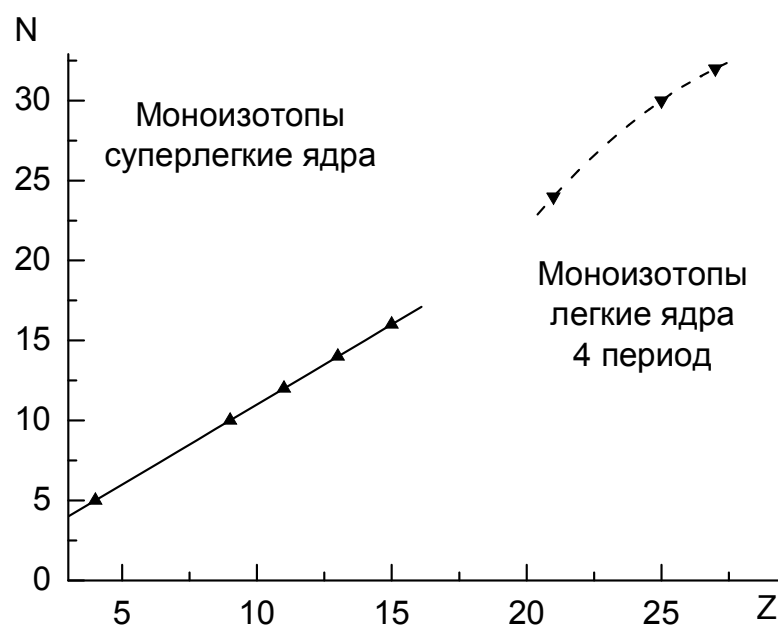
ям, закономерностям и особенностям.

С другой стороны, другие объединения периодов ПСАЭВ и ПСЯЭВ, которые приведены в таблице 5.3 и таблице 6.3 в настоящее время мы не можем объяснить, поэтому необходимо продолжить анализ этих объединений в последующих работах.

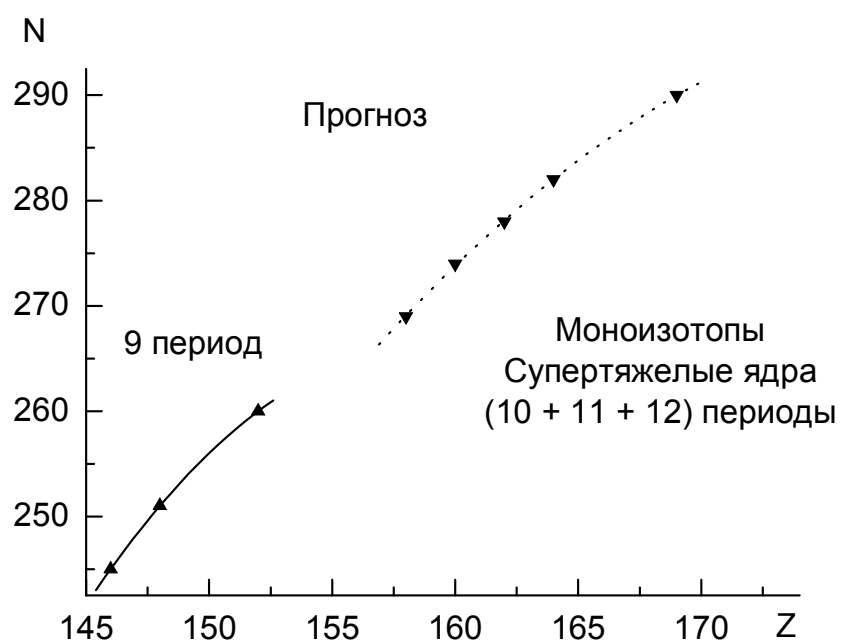
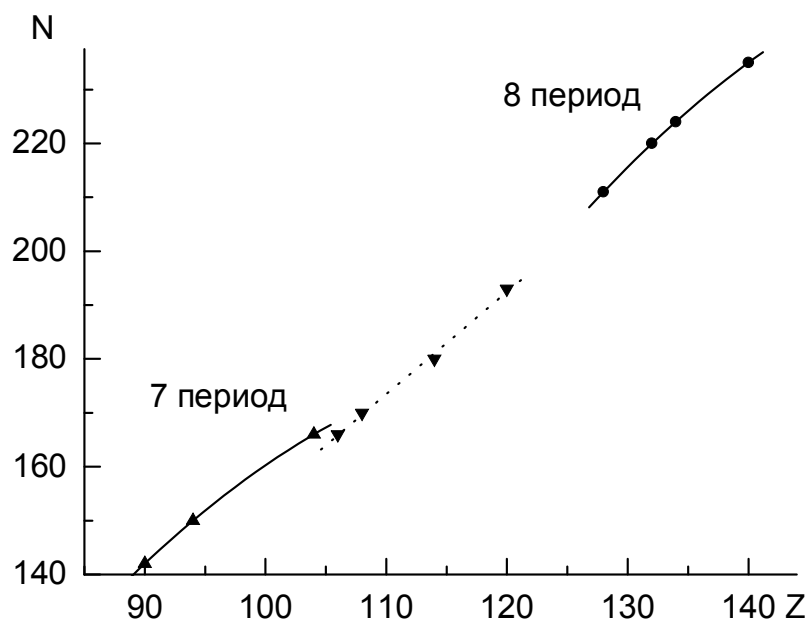
Далее рассмотрим распределение моноизотопных элементов внутри периодов ПСЯЭВ.

На рис.6.25 показана зависимость  $N$  от номера элемента  $Z$  для моноизотопных элементов, отнесенных нами к первому и второму классам ПСЯЭВ, т.е. для суперлегких и легких ядер. Видно, что между  $N$  и  $Z$  рассматриваемых моноизотопных элементов существует очень четкая связь, которая может быть описана простейшими соотношениями

Тогда, используя симметрию ПСЯЭВ можно оценить порядковые номера неизвестных к настоящему времени элементов, которые будут моноизотопами. Эта оценка достаточно важна, поскольку по имеющимся к настоящему времени данным моноизотопные ядра являются наиболее стабильными в своем окружении. Тогда и синтез новых элементов на практике надо реализовать, прежде всего, для этих моноизотопных элементов. Полученные нами оценки, представлены на рис. 6.26 для тяжелых и супертяжелых ядер (прогноз). Здесь же отдельно представлены известные данные для 7 периода.



**Рис. 6.25.** Зависимость числа нейтронов в ядрах моноизотопных элементов первого и второго классов от номера элемента: символы известные данные; линии – установленные закономерности



**Рис. 6.26.** Зависимость числа нейтронов в ядрах моноизотопных элементов третьего и четвертого классов от номера элемента.

## РЕЗЮМЕ К ГЛАВЕ 6

1. Впервые предложена структура Периодической системы ядер элементов Вещества, которая содержит 172 базовых ядра, 12 периодов и четыре класса – класс суперлегких ядер, класс легких ядер, класс тяжелых ядер и класс супертяжелых ядер. Основой для построения Системы является предположение о том, что магические ядра замыкают каждый из ее периодов.
2. По типу строения ядер выделено пять семейств ядер, каждое из которых должно характеризоваться собственной ядерной формулой подобно s-, p-, d- и f-элементам.
3. Представлены математические закономерности периодичности ядер, которые описывают распределение ядер и их изотопов по периодам.
4. На основании анализа закономерностей изменения нуклонного состава ядер уточнен нуклонный состав ядер неизвестных к настоящему времени элементов Вещества.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дмитрий Иванович Менделеев (1834 – 1907) в 1869г. открыл Периодический закон – **фундаментальный закон Естествознания**. На основе Периодического закона, атомного веса и сходства химических свойств, известных к тому времени 63 элементов, он создал Периодическую систему. Дальнейшее развитие Естествознания, а именно, появление новых областей знания, таких как атомная физика, ядерная физика и квантовая физика, только развивает и дополняет новыми знаниями и закономерностями Периодическую систему, что особо подчеркивает фундаментальность открытого им Периодического закона.

Анализ хронологии открытия элементов позволяет наглядно продемонстрировать важность и фундаментальность открытий Д.И. Менделеева для развития Естествознания в целом и для развития физики, как базовой науки Естествознания, в частности.

Современное развитие Естествознания позволяет предложить структуру Материи в виде двух субстанций – Вещества (массы) и Поля (энергии). Тогда закономерности строения Вещества определяются триединством Периодической системы атомов элементов, Периодической системой ядер элементов и Системой фундаментальных частиц.

В свою очередь закономерности строения Поля определяются четырьмя видами взаимодействия

- сильное взаимодействие – обеспечивает стабильность ядер элементов и должно определять закономерности строения ПСЯЭВ;
- электромагнитное взаимодействие – обеспечивает стабильность электронной оболочки атомов и должно определять закономерности ПСАЭВ;
- слабое взаимодействие – определяет стабильность фундаментальных частиц и должно определять закономерности СФЧ;
- гравитационное взаимодействие – определяет взаимодействие Вещества (массы) и Поля (энергии) в целом.

При этом закономерности строения Вещества и Поля определяются закономерностями соответствующих разделов физики и квантовой физики.

Основными предметами анализа в данной работе являются Периодическая система атомов элементов Вещества и Периодическая система ядер элементов Вещества.

На основании выполненного анализа закономерностей предложена новая структура Периодической системы атомов элементов Вещества с учетом ее конечности, которая содержит 172 элемента, 12 периодов и



семь классов. Основное ограничение ПСАЭВ сверху получено по результатам оценки минимальной энергии связи нуклонов ядра (6 МэВ).

Деление элементов на семейства, группы и подгруппы по типам заполняемых электронных оболочек позволяет упростить рассмотрение изменения различных характеристик ядер и атомов элементов в соответствии со строением Периодической системы атомов элементов Вещества. При этом изменение свойств ядер и атомов элементов внутри периода происходит при неизменном содержании заполненных внутренних электронных орбиталей, переменном массовом числе, переменном нуклонном составе и переменном числе электронов в заполняемой части электронной оболочки. В то время как изменение свойств ядер и атомов для выбранной подгруппы элементов, при переходе от периода к периоду происходит при неизменной заполняемой части электронной орбитали и при переменном числе внутренних заполненных электронных орбиталей, переменном массовом числе и переменном номере элемента.

Анализ закономерностей изменения эффективного и орбитального радиусов, энергии ионизации показал, что эти характеристики наглядно отражают закономерности изменения строения электронных орбиталей элементов и определяются порядковым номером элемента  $Z$  и номером периода  $n_e$ .

По характеру изменения размеров атом и энергии ионизации все  $p$ -элементы распадаются на две характерные подгруппы:  $(p^1-p^3)$  – и  $(p^4-p^6)$  – подгруппы, которые отражают порядок заполнения электронами  $p$ -орбиталей.

Все  $d$ -элементы во всех периодах по характерному изменению радиусов и энергии ионизации можно подразделить на четыре характерные подгруппы:

- первая подгруппа –  $d^1$ -элементы;
- вторая подгруппа –  $(d^2-d^4)$  – элементы;
- третья подгруппа –  $(d^5-d^7)$  – элементы;
- четвертая подгруппа –  $(d^8-d^{10})$  – элементы.

Все  $f$ -элементы шестого периода и, частично, седьмого периодов делятся на характерные подгруппы:

- первая группа на основании анализа эффективного радиуса атомов объединяет  $(f^1-f^4)$ -элементы, в то время как в случае анализа орбитального радиуса  $f^1$ -элемент выделяется в отдельную подгруппу;
- вторая группа как в случае анализа радиусов атомов, так и в случае анализа энергии ионизации объединяет  $(f^5-f^7)$ -элементы;

- третья группа как в случае анализа радиусов атомов, так и в случае анализа энергии ионизации объединяет ( $f^8$ -  $f^{11}$ )-элементы;
- четвертая группа как в случае анализа радиусов атомов, так и в случае анализа энергии ионизации объединяет ( $f^{12}$ -  $f^{14}$ )-элементы.

Можно предположить, что деление d- и f-элементов на подгруппы по аналогии с делением p-элементов на соответствующие подгруппы, должно отражать порядок заполнения электронами d- и f-орбиталей.

Установлены коэффициенты пропорциональности, использование которых позволяет прогнозировать первую энергию ионизации не известных к настоящему времени элементов и радиусы атомов неизвестных к настоящему времени элементов.

Полученные зависимости для более высоких энергий ионизации позволяют сделать вывод о том, что свойства внешних электронных оболочек в полной мере отражаются на свойствах более глубоких электронных оболочек. Т.е. фактически эти результаты показывают четкую индивидуальность атома элемента в каждой отдельно взятой части его электронной оболочки. Скорее всего, подобное должно наблюдаться и для ядер.

Соотношение между нуклонами в ядрах атомов элементов, которое наблюдается на практике для наиболее стабильных изотопов, очень четко отражает строение электронных оболочек уже всего атома в целом, что является наглядной демонстрацией связи основных положений ядерной физики с основными положениями атомной физики. Таким образом, установленные закономерности подтверждают высказанную гипотезу о наличии связи между Периодической системой атомов элементов Вещества и Периодической системой ядер элементов Вещества.

В Периодическую систему атомов элементов Вещества введен новый структурный признак – **класс**, который объединяет два периода Системы, имеющие идентичный набор заполняемых в рассматриваемых периодах электронных орбиталей и, соответственно, одинаковое количество элементов.

Установлена математическая запись закона периодичности, которая абсолютно точно описывает распределение элементов по периодам Системы, при этом номер периода соответствует значению главного квантового числа.

Анализ распределения элементов по периодам свидетельствует о наличии собственных закономерностей для четных и нечетных периодов Системы и позволяет ввести новое понятие – дефицит элементов в периоде ПСАЭВ.

Дефицит элементов определяется теоретическим количеством эле-

ментов в периоде (теоретической емкостью периода) за вычетом реального количества элементов.

Закономерности распределения атомов элементов по четным и нечетным периодам Периодической системы позволяют предположить существование двух независимых механизмов возникновения дефицита.

Установлено, что первый механизм возникновения дефицита атомов элементов в периодах ПСАЭВ обусловлен появлением новых типов электронных орбиталей в электронной оболочке атома, которая заполняются в данном периоде. А второй механизм связан с последовательным исчезновением типов электронных орбиталей во вновь появляющейся части электронной оболочки атома, заполняемой в данном периоде.

Выявленные механизмы появления дефицита элементов в периодах Системы независимы друг от друга. При этом, если первый механизм начинает проявляться уже в самом начале Периодической системы, то второй механизм проявляться только после 7 периода, т. е. начиная с пятого класса.

Физической основой первого механизма дефицита элементов в периодах ПСАЭВ может быть наблюдаемый на практике электронный захват, когда ядро захватывает наиболее близкий к нему электрон, и вместо нового элемента мы наблюдаем появление изотопа.

Представленный анализ хронологии развития Периодической системы позволяет с высокой вероятностью предсказать хронологию открытия новых элементов и оценить дату окончательного решения вопроса о конечности Периодической системы.

Впервые предложена структура Периодической системы ядер элементов Вещества, которая содержит 172 базовых ядра, 12 периодов и четыре класса – класс суперлегких ядер, класс легких ядер, класс тяжелых ядер и класс супертяжелых ядер. Основой для построения Системы является предположение о том, что магические ядра замыкают каждый из ее периодов. По типу строения ядер выделено пять семейств ядер, каждое из которых должно характеризоваться собственной ядерной формулой подобно s-, p-, d- и f-элементам. Представлены математические закономерности периодичности ядер, которые абсолютно точно описывают распределение ядер и их изотопов по периодам.

Анализ закономерностей изменения нуклонного состава ядер как внутри периодов ПСЯЭВ, так и при переходе от периода к периоду, позволил уточнить нуклонный состав ядер неизвестных к настоящему времени элементов Вещества, который был установлен ранее на основании закономерностей ПСАЭВ.

Дальнейшее направление работ в развитие представленного в дан-

ной монографии материала можно сформулировать следующим образом:

1. Исследование зависимости физико-механических и химических свойств элементов Вещества и установленных подгрупп от их положения в ПСАЭВ и ПСЯЭВ.
2. Естественная радиоактивность и строение ПСАЭВ и ПСЯЭВ.
3. Ядерные формулы введенных семейств ядер и строение ПСЭЯЭВ.
4. Дальнейшее исследование механизмов дефицита атомов элементов в периодах ПСАЭВ.
5. Прогнозирование первой энергии ионизации, орбитального и эффективного радиусов атомов неизвестных к настоящему времени элементов.
6. Исследование закономерностей изменения физико-механических и химических свойств атомов элементов Вещества в соответствие с закономерностями строения ПСАЭВ и ПСЯЭВ.

## ЛИТЕРАТУРА

### *Используемая литература*

1. Волков А.И. Строение атомов и периодический закон. – М.: Новое знание, 2006. – 196с.
2. Глинка Н.Л. Общая химия. – Л.: Химия, 1987. – 704с.
3. Изотопы: свойства, получение, применение. В 2 т. / Под ред. В.Ю. Баранова М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005 – т.1 – 600с., т.2 – 728с.
4. Кравцов В.А. Массы атомов и энергии связи ядер. – М., Атомиздат, 1974. – 344с.
5. Менделеев Д. И. Основы химии. – С.-Петербург, 1903. – 800с.
6. Некрасов Б.В. Основы общей химии. Т.2. – Л.: Химия, 1974. – 656с.
7. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. Акад. И.К. Ки-коина. – М., Атомиздат, 1976. – 1008с.
8. Трифонов Д.Н. О количественной интерпретации периодичности. – М., Наука, 1971. – 159с.
9. Шрайвер Д., Эткинс П. Неорганическая химия. В 2-х т./ Т.1 – М.: Мир, 2004. – 679с.

### *Цитируемая литература*

1. Градобоев А.В., Матвеев В.С. Закономерности строения элементов и конечность Периодической системы Д.И.Менделеева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 183с.
2. Трифонов Д.Н., Трифонов В.Д. Как были открыты химические элементы. – М.: Просвещение, 1980. – 224с.
3. Фигуровский Н.А. Открытие элементов и происхождение их названий. – М.: Наука, 1970. – 207с.
4. Добров Г.М. Прогнозирование науки и техники. – М.:Наука,1969. – 207с.
5. Муштаев В.И., Токарев В.Е. Основы инженерного творчества. – М.: Дрофа, 2005. – 254с.
6. Кедров Б.М., Трифонов Д.Н. О современных проблемах периодической системы. – М., Атомиздат, 1974. – 72с.
7. Трифонов Д.Н. Периодическая система элементов в таблицах. – МП ВХО им. Д.И. Менделеева. – 1992. – 50с.
8. Рау В.Г. Основы теоретической физики. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Высшая школа, 2005. – 141с.
9. Спроул Р.С. Современная физика. – М.: Наука, 1974. – 592с.

10. Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5 т./ Т. 5. Атомная и ядерная физика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 – 784с.
11. Khazan A. Upper Limited in the Periodic Table of Elements / Progress in Physics – 2007, № 1. – P.38-41.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ХРОНОЛОГИЯ ОТКРЫТИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕЩЕСТВА

<i>№ от-крытия</i>	<i>Z</i>	<i>Сим-вол</i>	<i>Название</i>	<i>Год откры-тия</i>	<i>Страна Автор(ы)</i>
<p>1. Девять элементов известны с древности – железо (Fe), золото (Au), медь (Cu), олово (Sn), ртуть (Hg), свинец (Pb), сера (S), серебро (Ag) и углерод (C).</p> <p>2. Четыре элемента открыты в средние века алхимиками – висмут (Bi), мышьяк (As), сурьма (Sb) и цинк (Zn).</p> <p>Год открытия этих элементов и авторство неизвестны.</p>					
14.	15	P	Фосфор	1669	Х. Бранд (Германия)
15.	78	Pt	Платина	1735	Дж. Скалигер (Италия)
16.	27	Co	Кобальт	1735(9)	Г. Брандт (Швеция)
17.	28	Ni	Никель	1751	А. Кронстедт (Швеция)
18.	1	H	Водород	1766	Г. Кавендиш (Англия)
19.	9	F	Фтор	1771	К. Шееле (Швеция)
20.	8	O	Кислород	1771 - 1774	К. Шееле (Швеция) Дж. Пристли (Англия)
21.	7	N	Азот	1772	Д. Резерфорд (Англия)
22.	56	Ba	Барий	1774	К. Шееле, Ю. Ган (Швеция)
23.	17	Cl	Хлор	1774	К. Шееле (Швеция)
24.	25	Mn	Марганец	1774	К. Шееле, Ю. Ган, Т. Бергман (Швеция)
25.	42	Mo	Молибден	1778	К. Шееле (Швеция)
26.	74	W	Вольфрам	1781	К. Шееле (Швеция)
27.	52	Te	Теллур	1782	Ф. Мюллер фон-Рейхенштейн (Венгрия)
28.	38	Sr	Стронций	1787	А. Крофорд, У. Крукшанк (Англия)
29.	92	U	Уран	1789	М. Клапрот (Германия)
30.	40	Zr	Цирконий	1789	М. Клапрот (Германия)
31.	39	Y	Иттрий	1794	Ю. Гадолин (Финляндия)

Продолжение **Приложения 1.**

<i>№ от-крытия</i>	<i>Z</i>	<i>Сим-вол</i>	<i>Название</i>	<i>Год откры-тия</i>	<i>Страна Автор(ы)</i>
32.	22	Ti	Титан	1791	В. Грегор (Англия)
33.	24	Cr	Хром	1797	Н.-Л. Воклен (Фран-ция)
34.	4	Be	Бериллий	1798	Н.-Л. Воклен (Фран-ция)
35.	41	Nb	Ниобий	1801	Ч. Хатчетт (Англия)
36.	73	Ta	Тантал	1802	А. Экеберг (Швеция)
37.	58	Ce	Церий	1803	Й. Берцелиус, В. Хисингер (Швеция), М. Клапрот (Германия)
38.	46	Pd	Палладий	1803	У. Вулластон (Англия)
39.	77	Ir	Иридий	1804	С. Теннант (Англия)
40.	76	Os	Осмий	1804	С. Теннант (Англия)
41.	45	Rh	Родий	1804	У. Вулластон (Англия)
42.	11	Na	Натрий	1807	Г. Дэви (Англия)
43.	19	K	Калий	1807	Г. Дэви (Англия)
44.	5	B	Бор	1808	Л. Гей-Люссак, Л. Тенар (Франция)
45.	20	Ca	Кальций	1808	Г. Дэви (Англия)
46.	12	Mg	Магний	1808	Г. Дэви (Англия)
47.	53	I	Йод	1811	Б. Куртуа (Франция)
48.	48	Cd	Кадмий	1817	Ф. Штроймер (Герма-ния)
49.	3	Li	Литий	1817	Й.-А. Арведсон (Швеция)
50.	34	Se	Селен	1817	Й. Берцелиус, Ю. Ган (Швеция)
51.	14	Si	Кремний	1823	Й. Берцелиус (Швеция)
52.	13	Al	Алюминий	1825	Х. Эрстед (Дания)
53.	35	Br	Бром	1826	А. Балар (Франция)



Продолжение **Приложения 1.**

<i>№ от-крытия</i>	<i>Z</i>	<i>Символ</i>	<i>Название</i>	<i>Год откры-тия</i>	<i>Страна Автор(ы)</i>
54.	90	Th	Торий	1828	Й. Берцелиус (Швеция)
55.	23	V	Ванадий	1830	Н. Сефстрем (Швеция)
56.	57	La	Лантан	1839	К. Мосандер (Швеция)
57.	68	Er	Эрбий	1843	К. Мосандер (Швеция)
58.	65	Tb	Тербий	1843	К. Мосандер (Швеция)
59.	44	Ru	Рутений	1844	К. К. Клаус (Россия)
60.	55	Cs	Цезий	1860	Р. Бунзен, Г. Кирхгоф (Германия)
61.	37	Rb	Рубидий	1861	Р. Бунзен, Г. Кирхгоф (Германия)
62.	81	Ta	Таллий	1861	У. Крукс (Англия)
63.	49	In	Индий	1863	Ф. Райх, Х. Рихтер (Германия)
64.	2	He	Гелий	1868  1895	П.-Ж. Жансен (Фран- ция), Н. Локьер, Э. Франкленд (Англия) У. Рамзай (Англия)
65.	31	Ga	Галлий	1875	Ф. Лекок-де-Буабодран (Франция)
66.	70	Yb	Иттербий	1878	Ж.-Ш. Мариньяк (Швейцария)
67.	67	Ho	Гольмий	1879	П. Клеве (Швеция)
68.	21	Sc	Скандий	1879	Л. Нильсон (Швеция)
69.	62	Sm	Самарий	1879	Ф. Лекок-де-Буабодран (Франция)
70.	69	Tm	Тулий	1879	П. Клеве (Швеция)
71.	60	Nd	Неодим	1885	К. Ауэр фон-Вельсбах (Австрия)
72.	59	Pr	Празеодим	1885	К. Ауэр фон-Вельсбах (Австрия)

Продолжение **Приложения 1.**

<i>№ от-крытия</i>	<i>Z</i>	<i>Символ</i>	<i>Название</i>	<i>Год откры-тия</i>	<i>Страна Автор(ы)</i>
73.	64	Gd	Гадолиний	1886	Ф. Лекок-де-Буабодран (Франция)
74.	32	Ge	Германий	1886	К. Винклер (Германия)
75.	66	Dy	Диспрозий	1886	Ф. Лекок-де-Буабодран (Франция)
76.	18	Ar	Аргон	1894	Д. Рэлей, У. Рамзай (Англия)
77.	10	Ne	Неон	1898	У. Рамзай, М. Траверс (Англия)
78.	36	Kr	Криптон	1898	У. Рамзай, М. Траверс (Англия)
79.	54	Xe	Ксенон	1898	У. Рамзай, М. Траверс (Англия)
80.	84	Po	Полоний	1898	М. Склодовская-Кюри, П. Кюри (Франция)
81.	88	Ra	Радий	1898	М. Склодовская-Кюри, П. Кюри, Ж. Бемон (Франция)
82.	89	Ac	Актиний	1899	А. Дебьерн (Франция)
83.	86	Rn	Радон	1900	Ф. Дорн (Германия)
84.	63	Eu	Европий	1901	Э. Демарсе (Франция)
85.	71	Lu	Лютеций	1907	Ж. Юрбен (Франция), К. Ауэр фон-Вельсбах (Австрия)
86.	91	Pa	Протакти-ний	1918	Ф. Содди, Д. Крэнстон (Англия), О. Ган, Л. Мейтнер (Франция)
87.	72	Hf	Гафний	1923	Д. Костер, Й.-Д. Хевеши (Дания)
88.	75	Re	Рений	1925	В. Ноддак, И. Такке, О. Берг (Германия)
89.	43	Tc	Технеций	1937	Э. Сегре, К. Перриер (Италия)
90.	87	Fr	Франций	1939	М. Дерре

Продолжение **Приложения 1.**

<i>№ от-крытия</i>	<i>Z</i>	<i>Символ</i>	<i>Название</i>	<i>Год откры-тия</i>	<i>Страна Автор(ы)</i>
91.	85	At	Астат	1940	Э. Сегре, Д. Корсон, К. Маккензи (США)
92.	93	Np	Нептуний	1940	Э. Макмиллан, Ф. Эйблсон (США)
93.	94	Pu	Плутоний	1940	Г. Сиборг, Э. Макмиллан и др. (США)
94.	96	Cm	Кюрий	1944	Г. Сиборг, А. Гиорсо и др. (США)
95.	95	Am	Америций	1945	Г. Сиборг, А. Гиорсо и др. (США)
96.	61	Pm	Прометий	1945	Дж. Марински, Л. Шленденин, Ч. Кориелл (США)
97.	97	Bk	Берклий	1949	Г. Сиборг, А. Гиорсо и др. (США)
98.	98	Cf	Калифор-ний	1950	Г. Сиборг, А. Гиорсо и др. (США)
99.	99	Es	Эйнштей-ний	1952	Г. Сиборг, А. Гиорсо и др. (США)
100.	100	Fm	Фермий	1952	Г. Сиборг, А. Гиорсо и др. (США)
101.	101	Md	Менделее-вий	1955	Г. Сиборг, А. Гиорсо и др. (США)
102.	102	No	Нобелий	1957	Шведско-англо-американская группа
103.	103	Lw	Лоуренсий	1961	Г.Н. Флёрв и др. (СССР) А. Гиорсо и др. (США)
104.	104	Rf	Резерфор-дий	1969	А. Гиорсо и др. (США)
105.	105	Db	Дубний	1970	А. Гиорсо и др. (США)

Продолжение **Приложения 1.**

<i>№ от- крытия</i>	<i>Z</i>	<i>Символ</i>	<i>Название</i>	<i>Год откры- тия</i>	<i>Страна Автор(ы)</i>
106.	106	Sb	Сиборгий	1974	(Россия / США)
107.	107	Bh	Борий	1976	(Россия)
108.	108	Hs	Хассий	1982	(Германия / Россия))
109.	109	Mt	Мейтнерий	1984	(Германия)
110.	110	Ds	Дармштад- тий	1994	(Россия / Германия)
111.	111	Rg	Рентгений	1994	(Германия)
112.	112	-	-	1996	(Германия / Россия)
113.	114	-	-	1999	(Россия / США)
114.	118	-	-	1999	(Россия)
115.	116	-	-	2000	(Россия)
116.	113	-	-	2004	(Россия)
117.	115	-	-	2004	(Россия)
118.	117	-	-	2009	(Россия)

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ ФОРМУЛЫ АТОМОВ ЭЛЕМЕНТОВ**

Класс К <sub>e</sub>	Период n <sub>e</sub>	Название	Символ	Z	Конфигурация электрон- ной оболочки
I	1	Водород	H	1	1s <sup>1</sup>
		<b>Гелий</b>	<b>He</b>	2	<b>1s<sup>2</sup></b>
II	2	Литий	Li	3	[He]2s <sup>1</sup>
		Бериллий	Be	4	[He]2s <sup>2</sup>
		Бор	B	5	[He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup>
		Углерод	C	6	[He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>
		Азот	N	7	[He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>
		Кислород	O	8	[He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>
		Фтор	F	9	[He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>
		<b>Неон</b>	<b>Ne</b>	10	<b>[He]2s<sup>2</sup>2p<sup>6</sup></b>
	3	Натрий	Na	11	[Ne]3s <sup>1</sup>
		Магний	Mg	12	[Ne]3s <sup>2</sup>
		Алюминий	Al	13	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>
		Кремний	Si	14	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>
		Фосфор	P	15	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup>
		Сера	S	16	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup>
		Хлор	Cl	17	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>
		<b>Аргон</b>	<b>Ar</b>	18	<b>[Ne]3s<sup>2</sup>3p<sup>6</sup></b>

Продолжение **Приложения 2**

Класс К <sub>e</sub>	Период n <sub>e</sub>	Название	Символ	Z	Конфигурация электронной обо- лочка
III	4	Калий	K	19	[Ar]4s <sup>1</sup>
		Кальций	Ca	20	[Ar]4s <sup>2</sup>
		Скандий	Sc	21	[Ar]3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup>
		Титан	Ti	22	[Ar]3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>
		Ванадий	V	23	[Ar]3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup>
		Хром	Cr	24	[Ar]3d <sup>4</sup> 4s <sup>2</sup>
		Марганец	Mn	25	[Ar]3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>
		Железо	Fe	26	[Ar]3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>
		Кобальт	Co	27	[Ar]3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup>
		Никель	Ni	28	[Ar]3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>
		Медь	Cu	29	[Ar]3d <sup>9</sup> 4s <sup>2</sup>
		Цинк	Zn	30	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>
		Галлий	Ga	31	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup>
		Германий	Ge	32	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>
		Мышьяк	As	33	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>
		Селен	Se	34	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>
		Бром	Br	35	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>
		<b>Криптон</b>	<b>Kr</b>	36	<b>[Ar]3d<sup>10</sup>4s<sup>2</sup>4p<sup>6</sup></b>
	5	Рубидий	Rb	37	[Kr]s <sup>1</sup>
		Стронций	Sr	38	[Kr]5s <sup>2</sup>
		Иттрий	Y	39	[Kr]4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>
		Цирконий	Zr	40	[Kr]4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>
		Ниобий	Nb	41	[Kr]4d <sup>3</sup> 5s <sup>2</sup>
		Молибден	Mo	42	[Kr]4d <sup>4</sup> 5s <sup>2</sup>
		Технеций	Tc	43	[Kr]4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup>
		Рутений	Ru	44	[Kr]4d <sup>6</sup> 5s <sup>2</sup>
		Родий	Rh	45	[Kr]4d <sup>7</sup> 5s <sup>2</sup>
		Палладий	Pd	46	[Kr]4d <sup>8</sup> 5s <sup>2</sup>
		Серебро	Ag	47	[Kr]4d <sup>9</sup> 5s <sup>2</sup>
		Кадмий	Cd	48	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>
		Индий	In	49	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup>
		Олово	Sn	50	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup>
		Сурьма	Sb	51	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup>
		Теллур	Te	52	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup>
		Йод	I	53	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>
		<b>Ксенон</b>	<b>Xe</b>	54	<b>[Kr]4d<sup>10</sup>5s<sup>2</sup>5p<sup>6</sup></b>

Продолжение **Приложения 2**

Класс К <sub>e</sub>	Период n <sub>e</sub>	Наименование	Символ	Z	Конфигурация электрон- ной оболочки
IV	6	Цезий	Cs	55	[Xe]6s <sup>1</sup>
		Барий	Ba	56	[Xe]6s <sup>2</sup>
		Лантан	La	57	[Xe]5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>
		Церий	Ce	58	[Xe]4f <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>
		Празеодим	Pr	59	[Xe]4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>
		Неодим	Nd	60	[Xe]4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>
		Прометий	Pm	61	[Xe]4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>
		Самарий	Sm	62	[Xe]4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>
		Европий	Eu	63	[Xe]4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>
		Гадолиний	Gd	64	[Xe]4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>
		Тербий	Tb	65	[Xe]4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>
		Диспрозий	Dy	66	[Xe]4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>
		Гольмий	Ho	67	[Xe]4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>
		Эрбий	Er	68	[Xe]4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>
		Тулий	Tm	69	[Xe]4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>
		Иттербий	Yb	70	[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>
		Лютеций	Lu	71	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>
		Гафний	Hf	72	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>
		Тантал	Ta	73	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>
		Вольфрам	W	74	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>
		Рений	Re	75	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>
		Осмий	Os	76	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>
		Иридий	Ir	77	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>
		Платина	Pt	78	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>8</sup> 6s <sup>2</sup>
		Золото	Au	79	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>
		Ртуть	Hg	80	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>
		Таллий	Tl	81	[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>1</sup>
		Свинец	Pb	82	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup>
		Висмут	Bi	83	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup>
		Полоний	Po	84	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup>
		Астат	At	85	[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup>
		<b>Радон</b>	<b>Rn</b>	86	<b>[Xe]4f<sup>14</sup>5d<sup>10</sup>6s<sup>2</sup>6p<sup>6</sup></b>

Продолжение *Приложения 2*

Класс К <sub>e</sub>	Период n <sub>e</sub>	Наименование	Символ	Z	Конфигурация электрон- ной оболочки
IV	7	Франций	Fr	87	[Rn]7s <sup>1</sup>
		Радий	Ra	88	[Rn]7s <sup>2</sup>
		Актиний	Ac	89	[Rn]6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
		Торий	Th	90	[Rn]6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>
		Протактиний	Pa	91	[Rn]5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
		Уран	U	92	[Rn]5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
		Нептуний	Np	93	[Rn]5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
		Плутоний	Pu	94	[Rn]5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup>
		Америций	Am	95	[Rn]5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>
		Кюрий	Cm	96	[Rn]5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
		Берклий	Bk	97	[Rn]5f <sup>8</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
		Калифорний	Cf	98	[Rn]5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup>
		Эйнштейний	Es	99	[Rn]5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup>
		Фермий	Fm	100	[Rn]5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup>
		Менделевий	Md	101	[Rn]5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup>
		Нобелий	No	102	[Rn]5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup>
		Лоуренсий	Lr	103	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>
		Резерфордий	Rf	104	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup>
		Дубний	Db	105	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>3</sup> 7s <sup>2</sup>
		Сиборгий	Sg	106	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>4</sup> 7s <sup>2</sup>
		Борий	Bh	107	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>5</sup> 7s <sup>2</sup>
		Хассий	Hs	108	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup>
		Мейнтерий	Mt	109	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>
		Дармштадтий	Ds	110	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>9</sup> 7s <sup>1</sup>
		Рентгений	Rg	111	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>1</sup>
		?	?	112	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup>
		?	?	113	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>1</sup>
		?	?	114	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>2</sup>
		?	?	115	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>3</sup>
		?	?	116	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>4</sup>
		?	?	117	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>5</sup>
		?	?	118	[Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup> 7p <sup>6</sup>



Продолжение **Приложения 2**

Класс К <sub>e</sub>	Период n <sub>e</sub>	Название	Символ	Z	Конфигурация электронной обо- лочка
V	8	?	?	119	[118]8s <sup>1</sup>
		?	?	120	[118]8s <sup>2</sup>
		?	?	121	[118]7d <sup>1</sup> 8s <sup>2</sup>
		?	?	122	[118]7d <sup>2</sup> 8s <sup>2</sup>
		?	?	123	[118]7d <sup>3</sup> 8s <sup>2</sup>
		?	?	124	[118]7d <sup>4</sup> 8s <sup>2</sup>
		?	?	125	[118]7d <sup>5</sup> 8s <sup>2</sup>
		?	?	126	[118]7d <sup>6</sup> 8s <sup>2</sup>
		?	?	127	[118]7d <sup>7</sup> 8s <sup>2</sup>
		?	?	128	[118]7d <sup>8</sup> 8s <sup>2</sup>
		?	?	129	[118]7d <sup>10</sup> 8s <sup>1</sup>
		?	?	130	[118]7d <sup>10</sup> 8s <sup>2</sup>
		?	?	131	[118]7d <sup>10</sup> 8s <sup>2</sup> 8p <sup>1</sup>
		?	?	132	[118]7d <sup>10</sup> 8s <sup>2</sup> 8p <sup>2</sup>
		?	?	133	[118]7d <sup>10</sup> 8s <sup>2</sup> 8p <sup>3</sup>
		?	?	134	[118]7d <sup>10</sup> 8s <sup>2</sup> 8p <sup>4</sup>
		?	?	135	[118]7d <sup>10</sup> 8s <sup>2</sup> 8s <sup>5</sup>
		<b>?</b>	<b>?</b>	<b>136</b>	<b>[118]7d<sup>10</sup>8s<sup>2</sup>8<sup>6</sup></b>
	9	?	?	137	[136]9s <sup>1</sup>
		?	?	138	[136]9s <sup>2</sup>
		?	?	139	[136]8d <sup>1</sup> 9s <sup>2</sup>
		?	?	140	[136]8d <sup>2</sup> 9s <sup>2</sup>
		?	?	141	[136]8d <sup>3</sup> 9s <sup>2</sup>
		?	?	142	[136]8d <sup>4</sup> 9s <sup>2</sup>
		?	?	143	[136]8d <sup>5</sup> 9s <sup>2</sup>
		?	?	144	[136]8d <sup>6</sup> 9s <sup>2</sup>
		?	?	145	[136]8d <sup>7</sup> 9s <sup>2</sup>
		?	?	146	[136]8d <sup>8</sup> 9s <sup>2</sup>
		?	?	147	[136]8d <sup>10</sup> 9s <sup>1</sup>
		?	?	148	[136]8d <sup>10</sup> 9s <sup>2</sup>
		?	?	149	[136]8d <sup>10</sup> 9s <sup>2</sup> 9p <sup>1</sup>
		?	?	150	[136]8d <sup>10</sup> 9s <sup>2</sup> 9p <sup>2</sup>
		?	?	151	[136]8d <sup>10</sup> 9s <sup>2</sup> 9p <sup>3</sup>
		?	?	152	[136]8d <sup>10</sup> 9s <sup>2</sup> 9p <sup>4</sup>
		?	?	153	[136]8d <sup>10</sup> 9s <sup>2</sup> 9p <sup>5</sup>
		<b>?</b>	<b>?</b>	<b>154</b>	<b>[136]8d<sup>10</sup>9s<sup>2</sup>9p<sup>6</sup></b>

Продолжение Приложения 2

Класс К <sub>e</sub>	Период п <sub>e</sub>	Название	Символ	Z	Конфигурация электрон- ной оболочки
VI	10	?	?	155	[154]10s <sup>1</sup>
		?	?	156	[154]10s <sup>2</sup>
		?	?	157	[154]10s <sup>2</sup> 10p <sup>1</sup>
		?	?	158	[154]10s <sup>2</sup> 10p <sup>2</sup>
		?	?	159	[154]10s <sup>2</sup> 10p <sup>3</sup>
		?	?	160	[154]10s <sup>2</sup> 10p <sup>4</sup>
		?	?	161	[154]10s <sup>2</sup> 10p <sup>5</sup>
		?	?	162	<b>[154]10s<sup>2</sup>10p<sup>6</sup></b>
	11	?	?	163	[162]11s <sup>1</sup>
		?	?	164	[162]11s <sup>2</sup>
		?	?	165	[162]11s <sup>2</sup> 11p <sup>1</sup>
		?	?	166	[162]11s <sup>2</sup> 11p <sup>2</sup>
		?	?	167	[162]11s <sup>2</sup> 11p <sup>3</sup>
		?	?	168	[162]11s <sup>2</sup> 11p <sup>4</sup>
		?	?	169	[162]11s <sup>2</sup> 11p <sup>5</sup>
		?	?	170	<b>[162]11s<sup>2</sup>11p<sup>6</sup></b>
VII(I)	12	?	?	171	[170]12s <sup>1</sup>
		?	?	172	<b>[170]12s<sup>2</sup></b>

**Примечания:**

1. Классы и периоды приведены в соответствие со структурой ПСАЭВ.
2. [Символ или номер элемента] – обозначена конфигурация электронной оболочки атома элемента, замыкающего предыдущий период.
3. Жирным шрифтом выделены элементы, замыкающие период.
4. Электронная оболочка атомов с  $Z > 118$  построена по аналогии с подобными электронными оболочками элементов предыдущих периодов.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3. НУКЛОННЫЙ И ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ЯДЕР ЭЛЕМЕНТОВ**

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
I	1	H	<b>99,985</b>	<b>стабилен</b>	1	<b>0</b>	<b>1</b>
			0,015	стабилен		1	2
		He	<b>99,999</b>	<b>стабилен</b>	2	<b>1</b>	<b>3</b>
			0,0001	стабилен		2	4
	2	Li	7,59	стабилен	3	3	6
			<b>92,41</b>	<b>стабилен</b>		<b>4</b>	<b>7</b>
		Be	100	стабилен	4	5	9
		B	19,8	стабилен	5	5	10
			<b>80,2</b>	<b>стабилен</b>		<b>6</b>	<b>11</b>
		C	<b>98,9</b>	<b>стабилен</b>	6	<b>6</b>	<b>12</b>
			1,1	стабилен		7	13
		N	<b>99,64</b>	<b>стабилен</b>	7	<b>7</b>	<b>14</b>
			0,36	стабилен		8	15
		O	<b>99,76</b>	<b>стабилен</b>	8	<b>8</b>	<b>16</b>
			0,038	стабилен		9	17
			0,200	стабилен		10	18
	3	F	100	стабилен	9	<b>10</b>	<b>19</b>
		Ne	<b>90,48</b>	<b>стабилен</b>	10	<b>10</b>	<b>20</b>
			0,27	стабилен		11	21
			9,25	стабилен		12	22
		Na	100	стабилен	11	<b>12</b>	<b>23</b>
		Mg	<b>78,99</b>	<b>стабилен</b>	12	<b>12</b>	<b>24</b>
			10,69	стабилен		13	25
			11,01	стабилен		14	26
		Al	100	стабилен	13	<b>14</b>	<b>27</b>
		Si	<b>92,23</b>	<b>стабилен</b>	14	<b>14</b>	<b>28</b>
			4,68	стабилен		15	29
			3,09	стабилен		16	30
		P	100	стабилен	15	16	31
		S	<b>95,02</b>	<b>стабилен</b>	16	<b>16</b>	<b>32</b>
			0,75	стабилен		17	33
			4,21	стабилен		18	34
			0,02	стабилен		20	36
		Cl	<b>75,77</b>	<b>стабилен</b>	17	<b>18</b>	<b>35</b>

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
			24,23	стабилен		20	37
		Ar	0,336	стабилен	18	18	36
			0,062	стабилен		20	38
			<b>99,60</b>	<b>стабилен</b>		<b>22</b>	<b>40</b>
		K	<b>93,26</b>	<b>стабилен</b>	19	<b>20</b>	<b>39</b>
			0,01	стабилен		21	40
			6,73	стабилен		22	41
		Ca	<b>96,94</b>	<b>стабилен</b>	20	<b>20</b>	<b>40</b>
			0,65	стабилен		21	41
			0,135	стабилен		22	42
			2,09	стабилен		24	43
			0,004	стабилен		26	46
			0,187	стабилен		28	48
II	4	Sc	100	стабилен	21	<b>22</b>	<b>43</b>
		Ti	8,25	стабилен	22	24	46
			7,44	стабилен		25	47
			<b>73,72</b>	<b>стабилен</b>		<b>26</b>	<b>48</b>
			5,41	стабилен		27	48
			5,18	стабилен		50	28
		V	0,25	стабилен	23	27	50
			99,75	<b>стабилен</b>		<b>28</b>	<b>51</b>
		Cr	4,34	стабилен	24	26	50
			<b>83,79</b>	<b>стабилен</b>		<b>28</b>	<b>52</b>
			9,50	стабилен		29	53
			2,37	стабилен		30	54
		Mn	100	стабилен	25	30	55
		Fe	5,85	стабилен	26	28	54
			<b>91,75</b>	<b>стабилен</b>		<b>30</b>	<b>56</b>
			2,12	стабилен		31	57
			0,28	стабилен		32	58
		Co	100	стабилен	27	32	59
		Ni	<b>66,08</b>	<b>стабилен</b>	28	<b>30</b>	<b>58</b>
			26,22	стабилен		32	60
			1,14	стабилен		33	61
			3,63	стабилен		34	62
			0,83	стабилен		36	64
	5	Cu	<b>69,17</b>	<b>стабилен</b>	29	<b>34</b>	<b>63</b>
			30,83	стабилен		36	65

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
		Zn	<b>48,63</b>	<b>стабилен</b>	30	<b>34</b>	<b>64</b>
			27,90	стабилен		36	66
			4,10	стабилен		37	67
			18,75	стабилен		38	68
			0,62	стабилен		40	70
		Ga	<b>60,11</b>	<b>стабилен</b>	31	<b>36</b>	<b>67</b>
			39,89	стабилен		38	69
		Ge	30,37	стабилен	32	38	70
			27,31	стабилен		40	72
			7,76	стабилен		41	73
			<b>36,73</b>	<b>стабилен</b>		<b>42</b>	<b>74</b>
			7,83	стабилен		44	76
		As	100	стабилен	33	<b>42</b>	<b>75</b>
		Se	0,89	стабилен	34	40	74
			9,37	стабилен		42	76
			7,63	стабилен		43	77
			23,77	стабилен		44	78
			<b>49,61</b>	<b>стабилен</b>		<b>46</b>	<b>80</b>
			8,73	стабилен		48	82
		Br	<b>50,69</b>	<b>стабилен</b>	35	<b>44</b>	<b>79</b>
			49,31	стабилен		46	81
		Kr	0,35	стабилен	36	42	78
			2,28	стабилен		44	80
			11,58	стабилен		46	82
			11,49	стабилен		47	83
			<b>57,00</b>	<b>стабилен</b>		<b>48</b>	<b>84</b>
			17,30	стабилен		49	85
		Rb	<b>72,17</b>	<b>стабилен</b>	37	<b>48</b>	<b>85</b>
			27,83	стабилен		50	87
		Sc	0,56	стабилен	38	46	84
			9,86	стабилен		48	86
			7,00	стабилен		49	87
			<b>82,58</b>	<b>стабилен</b>		<b>50</b>	<b>88</b>
		Y	100	стабилен	39	50	89
		Zr	<b>51,45</b>	<b>стабилен</b>	40	<b>50</b>	<b>90</b>
			11,22	стабилен		51	91
			17,15	стабилен		52	92
			17,38	стабилен		54	94

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
			2,80	стабилен		56	96
		Nb	100	стабилен	41	49	90
		Mo	14,84	стабилен	42	50	92
			9,25	стабилен		52	94
			15,92	стабилен		53	95
			16,68	стабилен		54	96
			9,55	стабилен		55	97
			<b>24,13</b>	<b>стабилен</b>		<b>56</b>	<b>98</b>
			9,63	стабилен		58	100
		Tc	-	<b>4,2·10<sup>6</sup>л</b>	43	<b>54</b>	<b>97</b>
			-	4,2·10 <sup>6</sup> л		55	98
			-	2,1·10 <sup>5</sup> л		56	99
		Ru	5,54	стабилен	44	52	96
			1,87	стабилен		54	98
			12,76	стабилен		55	99
			12,60	стабилен		56	100
			17,06	стабилен		57	101
			<b>31,55</b>	<b>стабилен</b>		<b>58</b>	<b>102</b>
			18,62	стабилен		60	104
		Rh	100	стабилен	45	58	103
		Pd	1,02	стабилен	46	56	102
			11,11	стабилен		58	104
			22,33	стабилен		59	105
			<b>27,33</b>	<b>стабилен</b>		<b>60</b>	<b>106</b>
			26,46	стабилен		62	108
			11,72	стабилен		64	110
		Ag	<b>51,83</b>	<b>стабилен</b>	47	<b>60</b>	<b>107</b>
			48,17	стабилен		62	109
		Cd	1,25	стабилен	48	58	106
			0,89	стабилен		60	108
			12,49	стабилен		62	110
			12,80	стабилен		63	111
			24,13	стабилен		64	112
			12,22	стабилен		65	113
			<b>28,73</b>	<b>стабилен</b>		<b>66</b>	<b>114</b>
			7,49	стабилен		68	116
		In	4,29	стабилен	49	63	113
			<b>95,71</b>	<b>стабилен</b>		<b>65</b>	<b>115</b>

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
		Sn	0,97	стабилен	50	62	112
			0,65	стабилен		64	114
			0,36	стабилен		65	115
			14,53	стабилен		66	116
			7,68	стабилен		67	117
			24,22	стабилен		68	118
			8,58	стабилен		69	119
			<b>32,58</b>	<b>стабилен</b>		<b>70</b>	<b>120</b>
			4,63	стабилен		72	122
			5,79	стабилен		74	124
	6	Sb	<b>57.21</b>	<b>стабилен</b>	51	<b>70</b>	<b>121</b>
			42.79	стабилен		72	123
		Te	0.09	стабилен	52	68	120
			2.55	стабилен		70	122
			0.89	стабилен		71	123
			4.74	стабилен		72	124
			7.07	стабилен		73	125
			18.84	стабилен		74	126
			31.74	стабилен		76	128
			<b>34.08</b>	<b>стабилен</b>		<b>78</b>	<b>130</b>
		I	100	стабилен	53	<b>74</b>	<b>127</b>
		Xe	0.095	стабилен	54	70	124
			0.089	стабилен		72	126
			1.91	стабилен		74	127
			26.40	стабилен		75	128
			4.071	стабилен		76	130
			21.232	стабилен		77	131
			<b>26.909</b>	<b>стабилен</b>		<b>78</b>	<b>132</b>
			10.436	стабилен		80	134
			8.857	стабилен		82	136
		Cs	<b>0</b>	<b>стабилен</b>	55	<b>78</b>	<b>133</b>
			0	$3 \cdot 10^6$ л		80	135
		Ba	0,106	стабилен	56	74	130
			0,101	стабилен		76	132
			2,417	стабилен		78	134
			6,592	стабилен		79	135
			7,854	стабилен		80	136
			11,232	стабилен		81	137

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
			<b>71,698</b>	<b>стабилен</b>		<b>82</b>	<b>138</b>
		La	0,01	стабилен	57	81	138
			<b>99,91</b>	<b>стабилен</b>		<b>82</b>	<b>139</b>
		Ce	0,185	стабилен	58	78	136
			0,251	стабилен		80	138
			<b>88,450</b>	<b>стабилен</b>		<b>82</b>	<b>140</b>
			11,114	стабилен		84	142
		Pr	100	стабилен	59	<b>82</b>	<b>141</b>
		Nd	<b>27,2</b>	<b>стабилен</b>	<b>60</b>	<b>82</b>	<b>142</b>
			12,2	стабилен		83	143
			23,8	стабилен		84	144
			8,3	стабилен		85	145
			17,2	стабилен		86	146
		Pm	0	стабилен	61	<b>84</b>	<b>145</b>
		Sm	3,07	стабилен	62	82	144
			14,99	стабилен		85	147
			11,24	стабилен		86	148
			13,82	стабилен		87	149
			7,38	стабилен		88	150
			<b>26,75</b>	<b>стабилен</b>		<b>90</b>	<b>152</b>
			22,75	стабилен		92	154
		Eu	47,81	стабилен	63	88	151
			<b>52,19</b>	<b>стабилен</b>		<b>90</b>	<b>153</b>
		Gd	0,20	стабилен	64	88	152
			2,18	стабилен		90	154
			14,80	стабилен		91	155
			20,47	стабилен		92	156
			15,65	стабилен		93	157
			<b>24,84</b>	<b>стабилен</b>		<b>94</b>	<b>158</b>
			21,86	стабилен		96	160
		Tb	0	<b>стабилен</b>	65	94	159
		Dy	0,06	стабилен	66	90	156
			0,10	стабилен		92	158
			2,34	стабилен		94	160
			18,91	стабилен		95	161
			25,91	стабилен		96	162
			24,90	стабилен		97	163
			<b>28,18</b>	<b>стабилен</b>		<b>98</b>	<b>164</b>



Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
		Ho	100	стабилен	67	98	165
		Er	0,139	стабилен	68	94	162
			1,001	стабилен		96	164
			<b>35,503</b>	<b>стабилен</b>		<b>98</b>	<b>166</b>
			22,869	стабилен		99	167
			26,978	стабилен		100	168
			14,910	стабилен		102	170
		Tm	100	стабилен	69	<b>86</b>	<b>169</b>
		Yb	0,13	стабилен	70	98	168
			3,04	стабилен		100	170
			14,28	стабилен		101	171
			21,83	стабилен		102	172
			16,13	стабилен		103	173
			<b>31,83</b>	<b>стабилен</b>		<b>104</b>	<b>174</b>
			13,76	стабилен		106	176
		Lu	<b>97,41</b>	<b>стабилен</b>	71	<b>104</b>	<b>175</b>
			2,59	стабилен		105	176
		Hf	0,16	стабилен	72	102	174
			5,26	стабилен		104	176
			18,60	стабилен		105	177
			27,28	стабилен		106	178
			13,62	стабилен		107	179
			<b>35,08</b>	<b>стабилен</b>		<b>108</b>	<b>180</b>
		Ta	0,012	стабилен	73	107	180
			<b>99,99</b>	<b>стабилен</b>		<b>108</b>	<b>181</b>
		W	0,12	стабилен	74	106	180
			26,50	стабилен		108	182
			14,31	стабилен		109	183
			<b>30,64</b>	<b>стабилен</b>		<b>110</b>	<b>184</b>
			28,43	стабилен		112	186
		Re	<b>37,40</b>	<b>стабилен</b>	75	<b>110</b>	<b>185</b>
			-	$2 \cdot 10^5$ л		111	186
			-	$4,3 \cdot 10^{10}$ л		112	187
		Os	0,02	стабилен	76	108	184
			1,59	$2 \cdot 10^{15}$ л		110	186
			1,60	стабилен		111	187
			13,29	стабилен		112	188
			16,21	стабилен		113	189

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
			26,36	стабилен		114	190
			<b>40,91</b>	<b>стабилен</b>		<b>116</b>	<b>192</b>
		Ir	-	стабилен	77	114	191
			-	<b>стабилен</b>		<b>116</b>	<b>193</b>
		Pt	0,014	стабилен	78	112	190
			0,782	стабилен		114	192
			32,97	стабилен		116	194
			<b>33,83</b>	<b>стабилен</b>		<b>117</b>	<b>195</b>
			25,24	стабилен		118	196
			7,16	стабилен		120	198
		Au	100	стабилен	79	<b>118</b>	<b>197</b>
		Hg	0,15	стабилен	80	116	196
			9,97	стабилен		118	198
			16,87	стабилен		119	199
			23,10	стабилен		120	200
			13,18	стабилен		121	201
			<b>29,86</b>	<b>стабилен</b>		<b>122</b>	<b>202</b>
			6,87	стабилен		124	204
		Tl	29,524	стабилен	81	122	203
			<b>70,476</b>	<b>стабилен</b>		<b>124</b>	<b>205</b>
		Pb	1,40	стабилен	82	122	204
			24,10	стабилен		124	206
			22,10	стабилен		125	207
			<b>52,40</b>	<b>стабилен</b>		<b>126</b>	<b>208</b>
		Bi	100	стабилен	83	<b>126</b>	<b>209</b>
		Po	0	102 л	84	<b>125</b>	<b>209</b>
		At	0	8,1 ч	85	<b>125</b>	<b>210</b>
		Rn	0	3,28 д	86	<b>136</b>	<b>222</b>
III	7	Fr	0	22 м	87	<b>136</b>	<b>223</b>
		Ra	0	1600 л	88	<b>138</b>	<b>226</b>
		Ac	0	21,8 л	89	<b>138</b>	<b>227</b>
		Th	100	$1,4 \cdot 10^{10}$ л	90	<b>142</b>	<b>232</b>
		Pa	-	$3,3 \cdot 10^4$ л	91	<b>140</b>	<b>231</b>
		U	-	$1,6 \cdot 10^5$ л	92	141	233
			-	$2,4 \cdot 10^5$ л		142	234
			-	<b><math>7 \cdot 10^8</math> л</b>		<b>143</b>	<b>235</b>
			-	$2,3 \cdot 10^7$ л		144	236
			-	$4,5 \cdot 10^9$ л		146	238

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
		Np	-	$1,5 \cdot 10^3$ л	93	143	236
			-	<b><math>2,1 \cdot 10^6</math> л</b>		<b>144</b>	<b>237</b>
		Pu	-	$2,4 \cdot 10^4$ л	94	145	239
			-	$6,6 \cdot 10^3$ л		146	240
			-	$3,7 \cdot 10^5$ л		148	242
			-	<b><math>8,1 \cdot 10^7</math> л</b>		<b>150</b>	<b>244</b>
			-	7370 л			
		Am	-		95	148	243
		Cm			96	151	247
		Bk			97	150	247
		Cf			98	153	251
		Es			99	153	252
		Fm			100	157	257
		Md			101	157	258
		No			102	158	260
		Lr			103	158	261
		Rf			104	159	263
		Db			105	166	271
		Sg			106	167	273
		Bh			107	170	277
		Hs			108	170	278
		Mt			109	172	281
		Ds			110	172	282
		Rg			111	176	287
		?			112	176	288
		?			113	180	293
		?			114	180	294
		?			115	184	299
		?			116	184	300
		?			117	188	305
		?			118	188	306
		?	?	?	119	190	309
		?	?	?	120	193	313
		?	?	?	121	195	316
		?	?	?	122	198	320
	8	?	?	?	123	201	324
		?	?	?	124	203	327
		?	?	?	125	205	330
		?	?	?	126	207	333

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
		?	?	?	127	209	336
		?	?	?	128	211	339
		?	?	?	129	214	343
		?	?	?	130	216	346
		?	?	?	131	217	348
		?	?	?	132	220	352
		?	?	?	133	222	355
		?	?	?	134	224	358
		?	?	?	135	226	361
		?	?	?	136	229	365
		?	?	?	137	231	368
		?	?	?	138	232	370
		?	?	?	139	233	372
		?	?	?	140	235	375
		?	?	?	141	237	378
		?	?	?	142	239	381
		?	?	?	143	242	382
		?	?	?	144	244	388
	9	?	?	?	145	248	393
		?	?	?	146	245	391
		?	?	?	147	248	395
		?	?	?	148	251	399
		?	?	?	149	253	402
		?	?	?	150	255	405
		?	?	?	151	257	408
		?	?	?	152	260	412
		?	?	?	153	262	415
IV	10	?	?	?	154	263	417
		?	?	?	155	264	419
		?	?	?	156	265	421
		?	?	?	157	267	424
		?	?	?	158	269	427
		?	?	?	159	271	430
		?	?	?	160	274	434
		?	?	?	161	276	437
		?	?	?	162	278	440
		?	?	?	163	280	443
		?	?	?	164	282	446

Класс К <sub>я</sub>	Период п <sub>я</sub>	Символ	Распростра- ненность, %	Период полураспада	Z	N	A
	11	?	?	?	165	284	449
		?	?	?	166	286	452
		?	?	?	167	287	454
		?	?	?	168	288	456
		?	?	?	169	290	459
		?	?	?	170	292	462
	12	?	?	?	171	294	465
		?	?	?	172	296	468

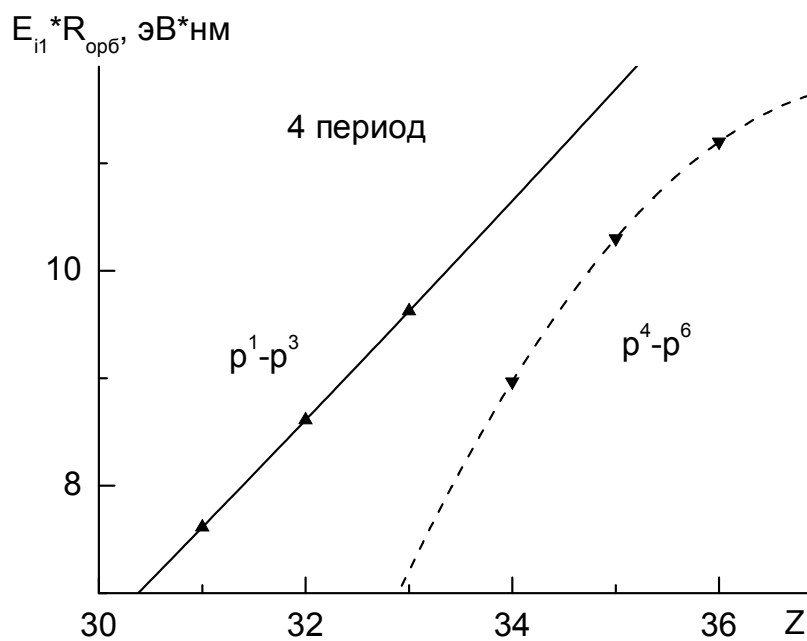
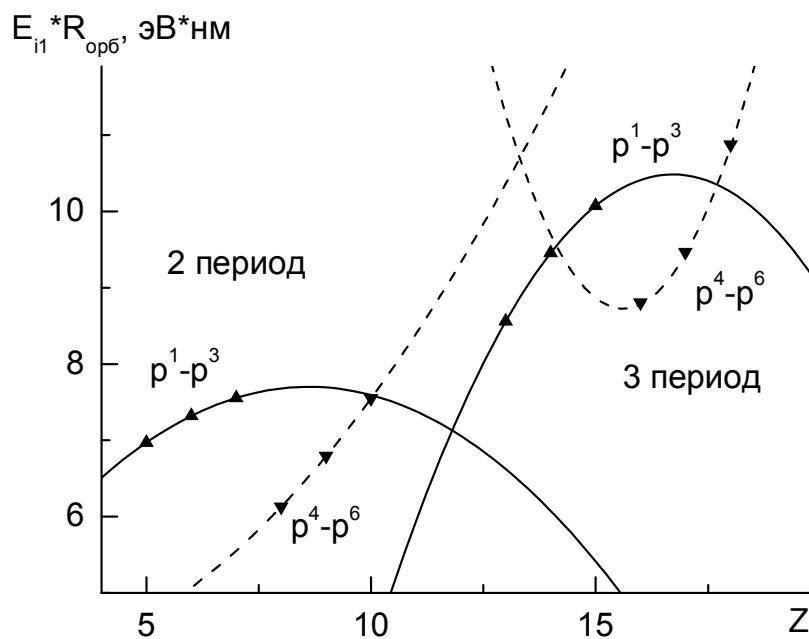
**Примечания:**

1. Классы и периоды приведены в соответствие с структурой ПСЯЭВ.
2. Использованы наиболее стабильные изотопы известных элементов.
3. Жирным шрифтом выделен изотоп, используемый в качестве базового изотопа для данного элемента.
4. Для неизвестных элементов ( $Z > 118$ ) представленные результаты получены по установленным закономерностям.

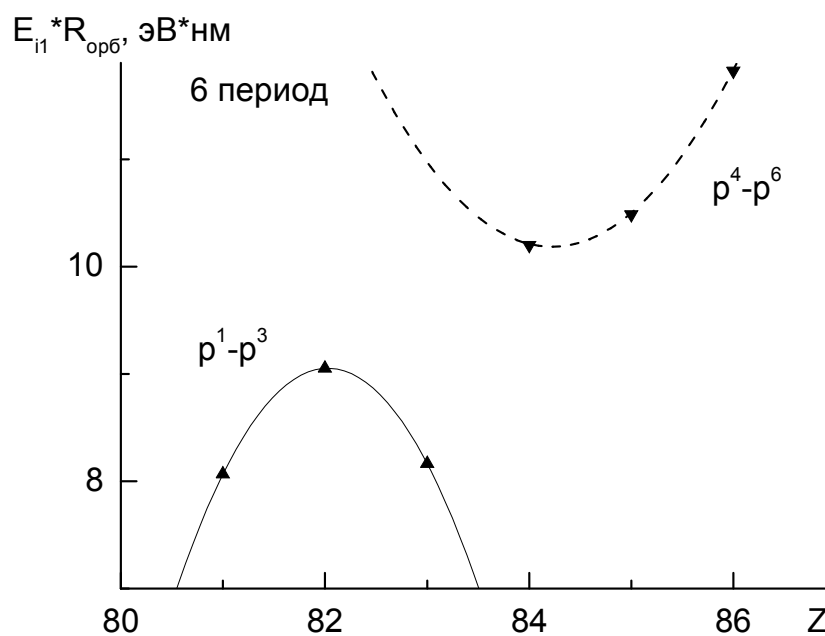
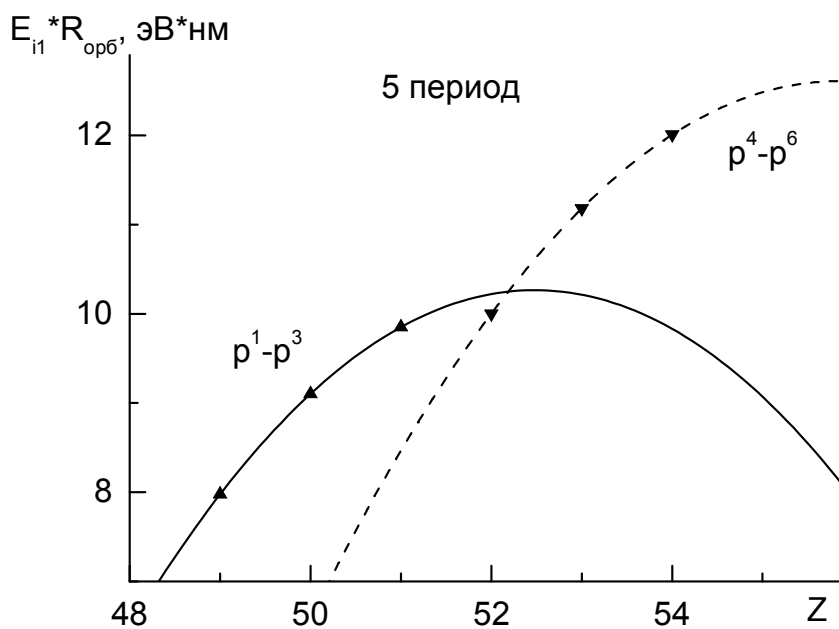
## ПРИЛОЖЕНИЕ 4. НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТОМОВ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕЩЕСТВА

П.4.1 Произведение первой энергии ионизации на радиус атомов

П.4.1.1 p- Элементы. Орбитальный радиус

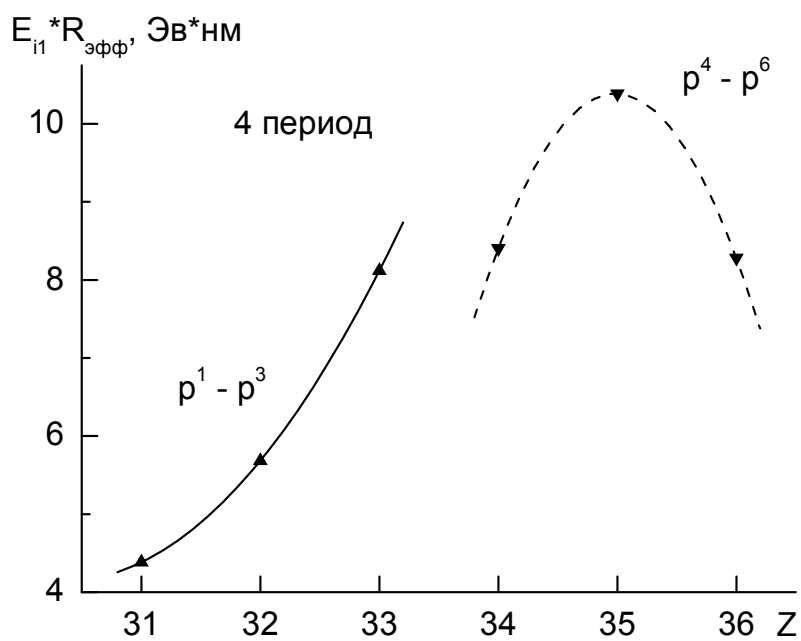
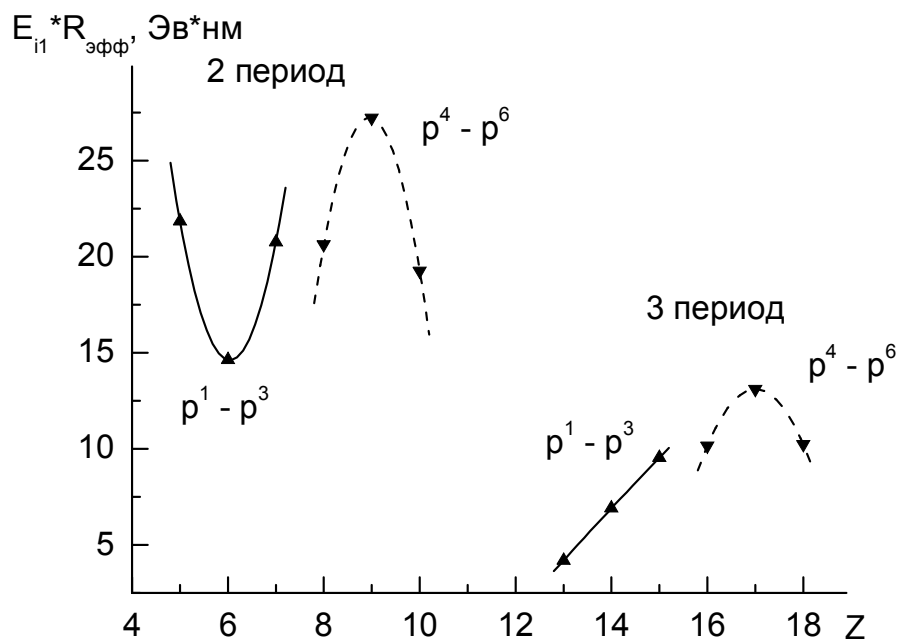


Продолжение *Приложения 4.*



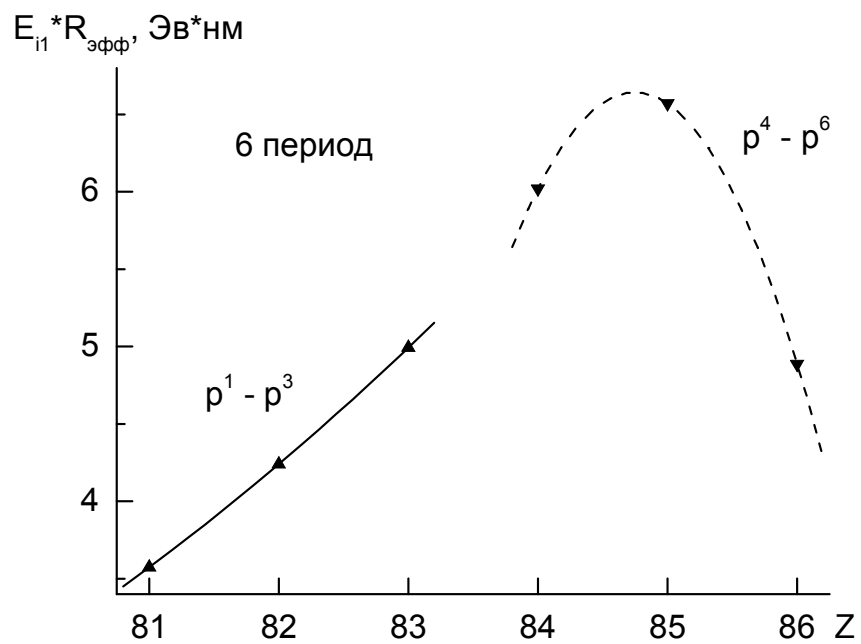
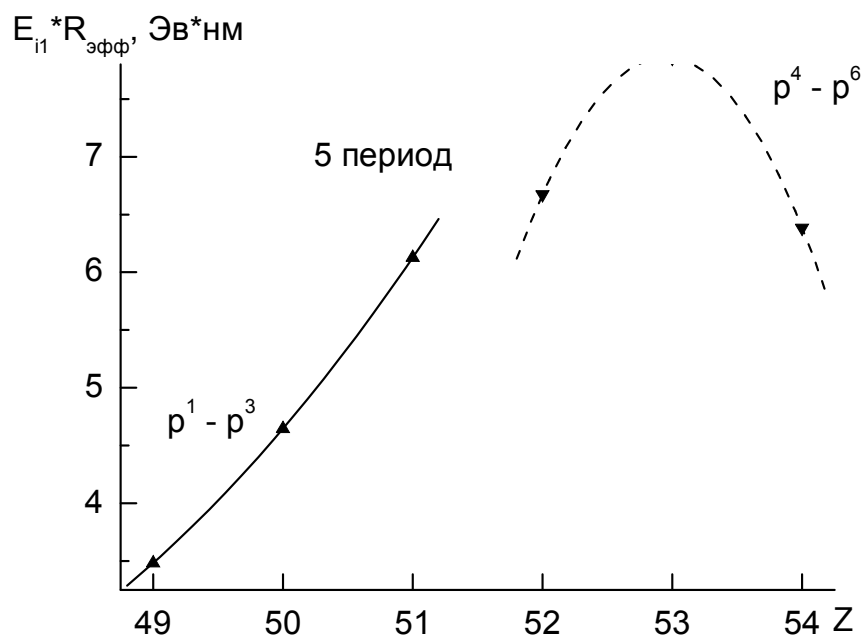
Продолжение **Приложения 4.**

П.4.1.2. p-Элементы. Эффективный радиус



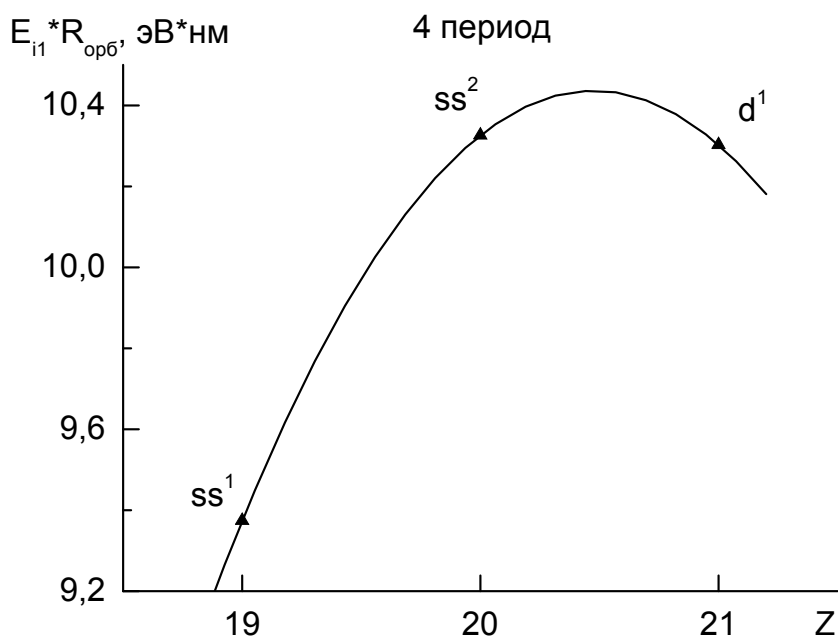
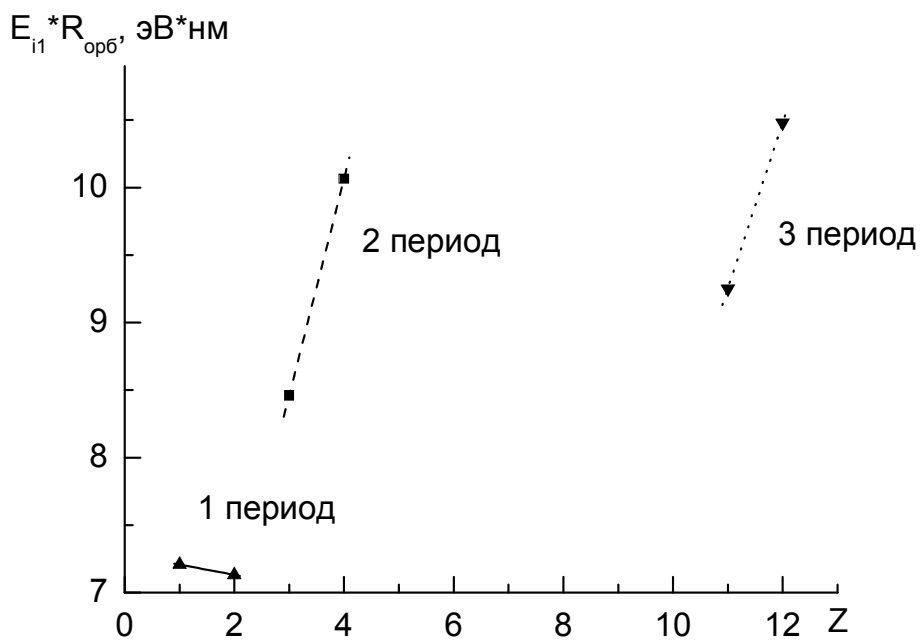


Продолжение *Приложения 4.*

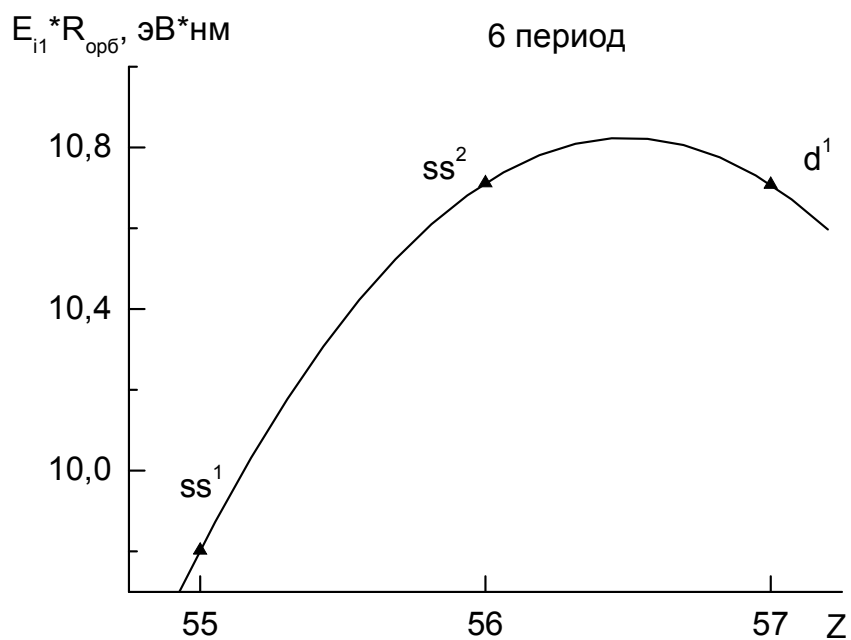
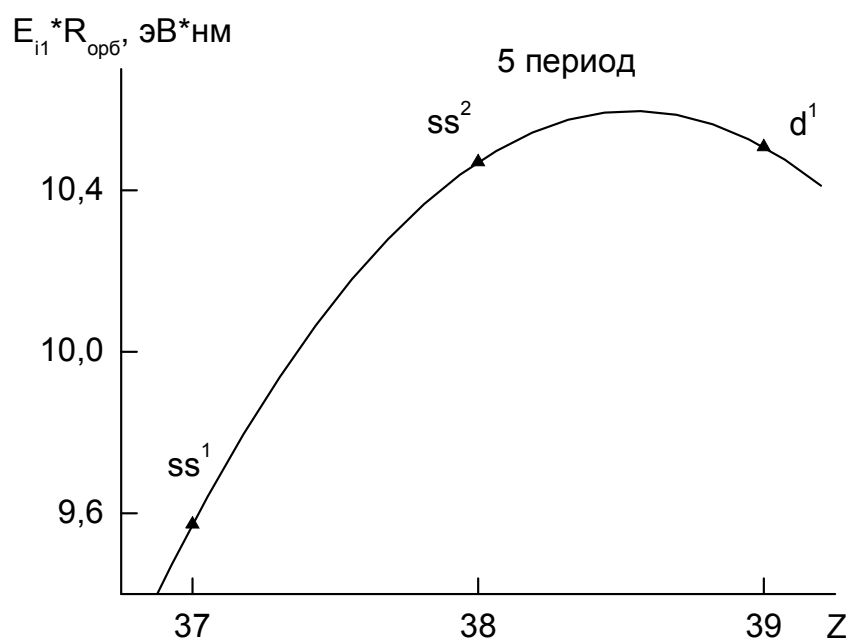


Продолжение **Приложения 4.**

П.4.1.3. ss- Элементы. Орбитальный радиус

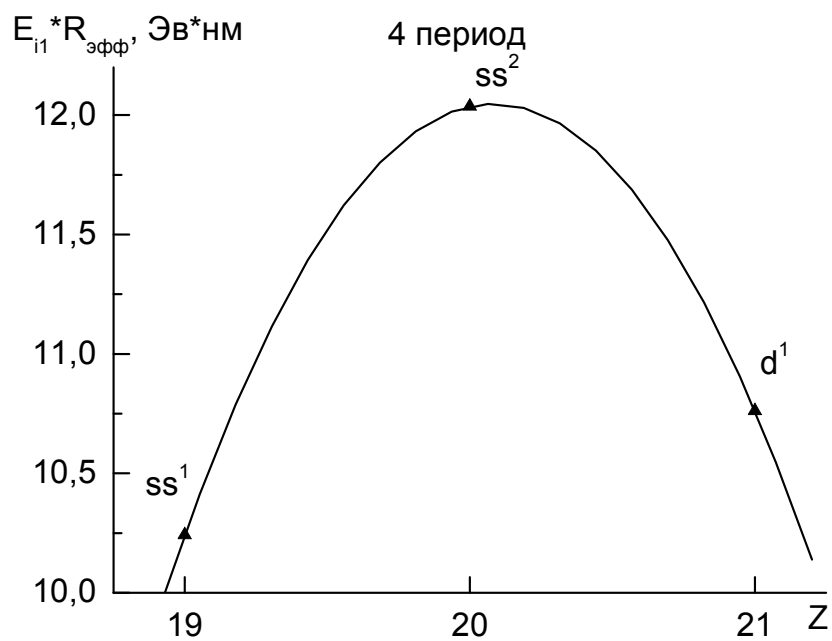
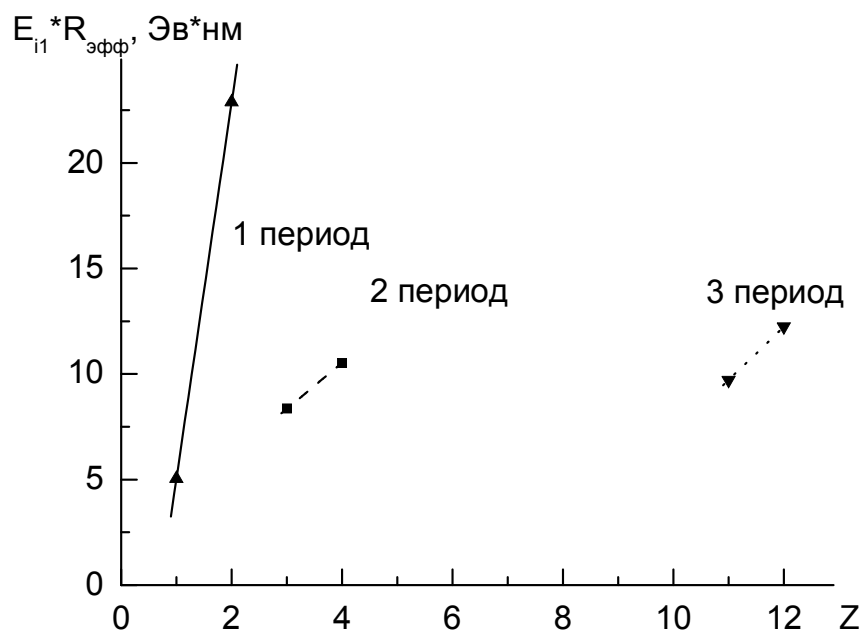


Продолжение *Приложения 4.*

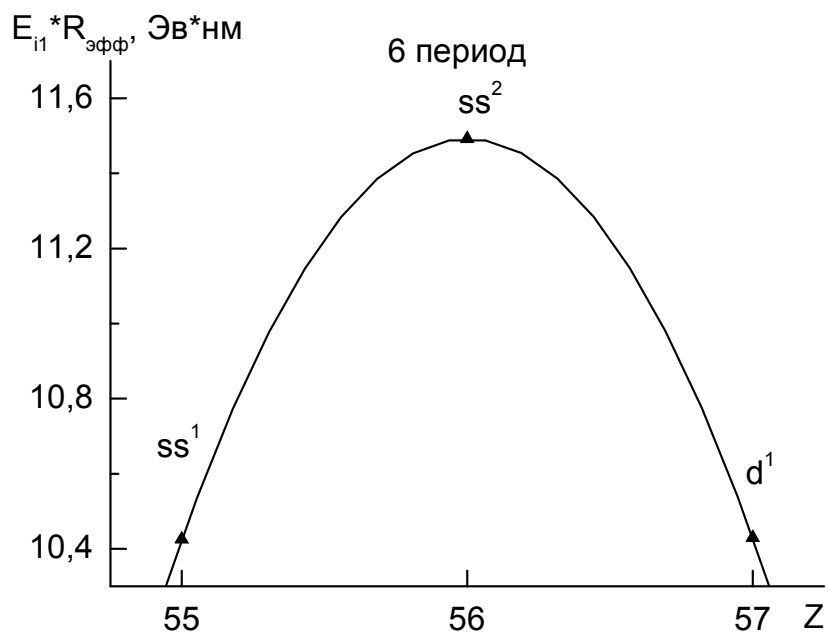
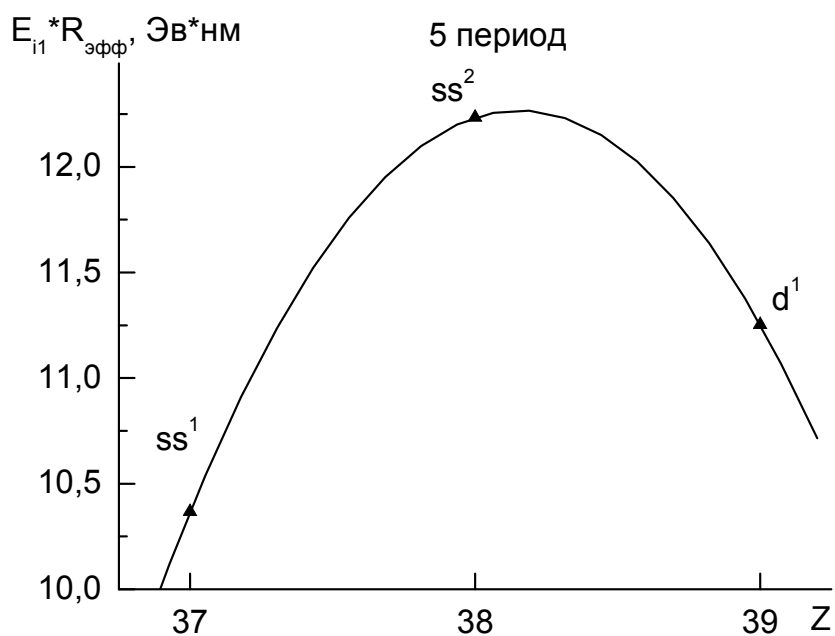


Продолжение **Приложения 4.**

П.4.1.4. ss- Элементы. Эффективный радиус

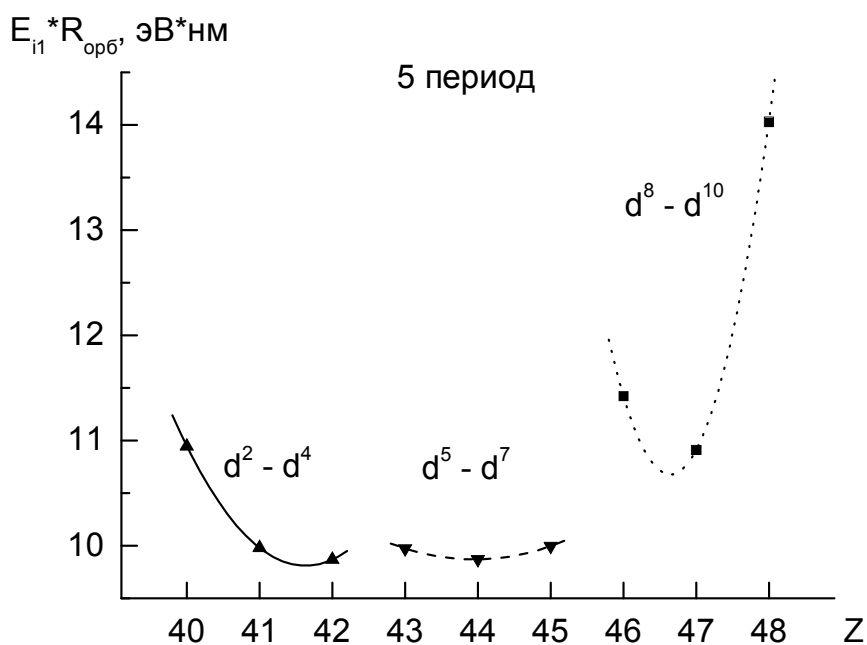
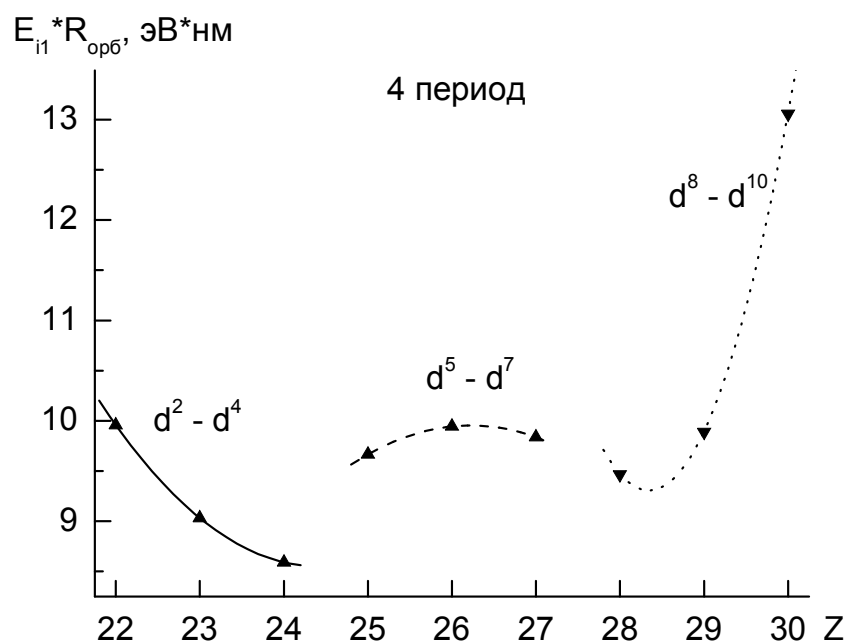


Продолжение *Приложения 4.*

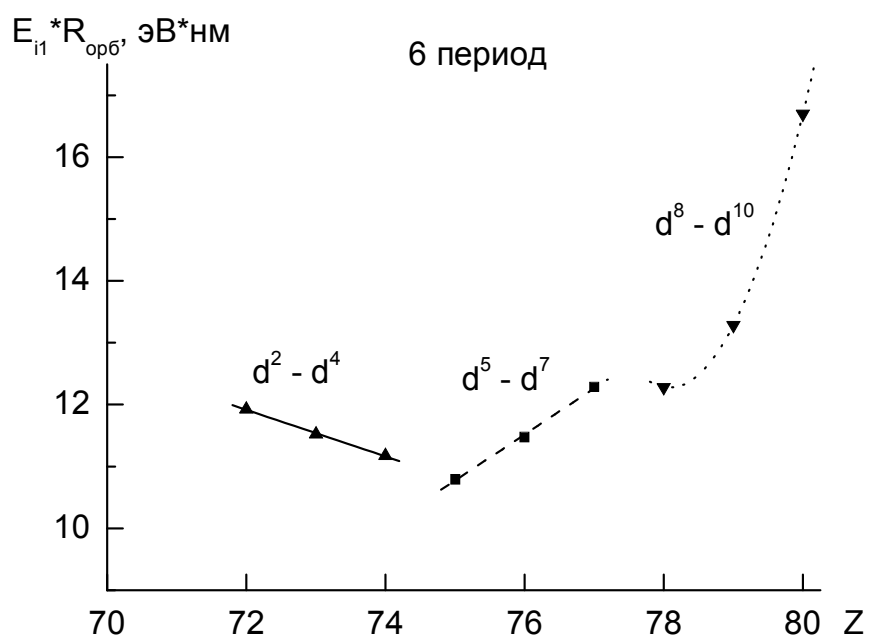


Продолжение **Приложения 4.**

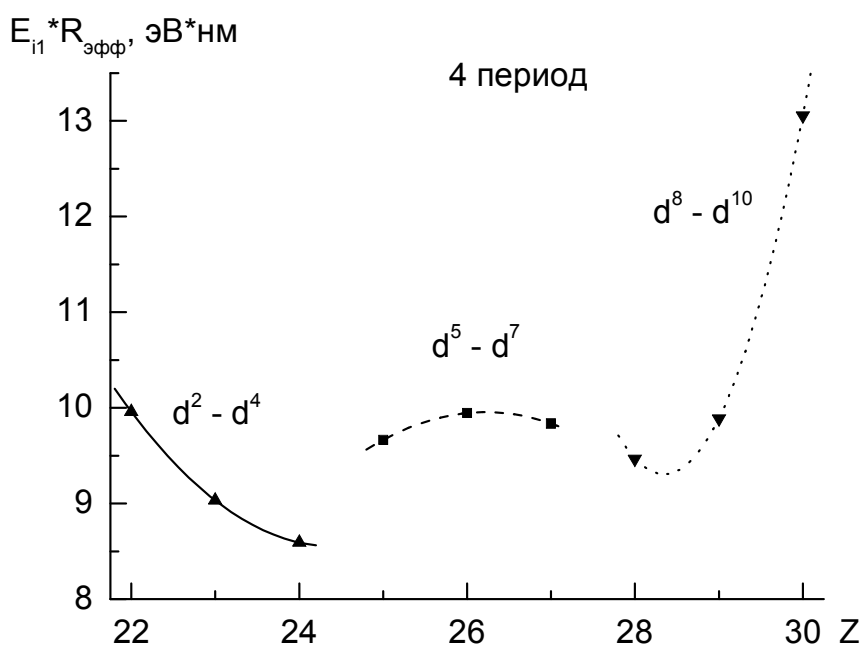
П.4.1.5. d- Элементы. Орбитальный радиус



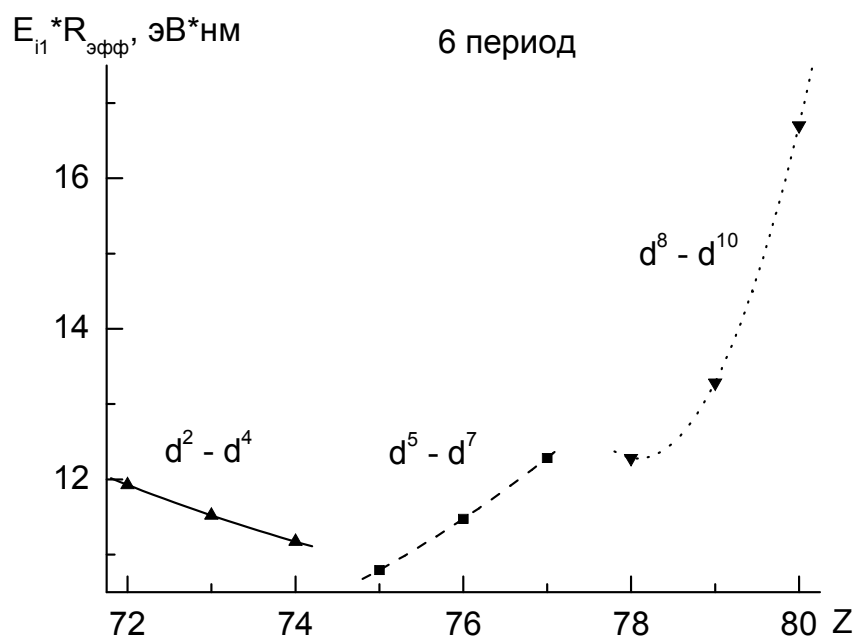
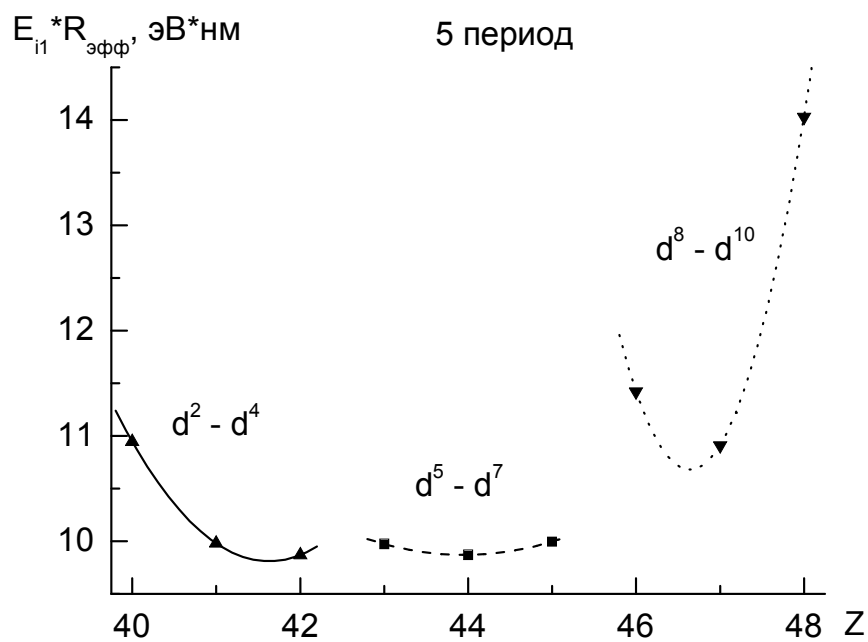
Продолжение *Приложения 4.*



П.4.1.6. d- Элементы. Эффективный радиус



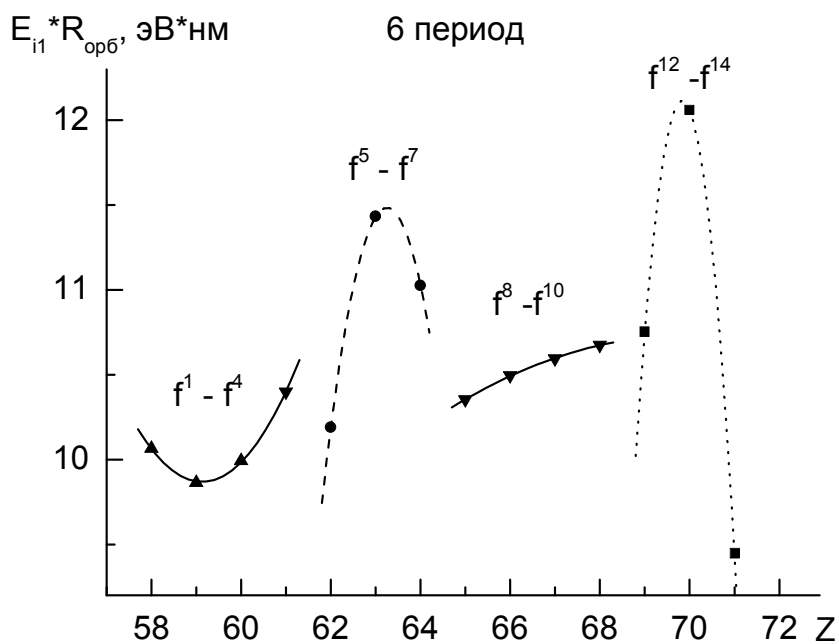
Продолжение *Приложения 4.*



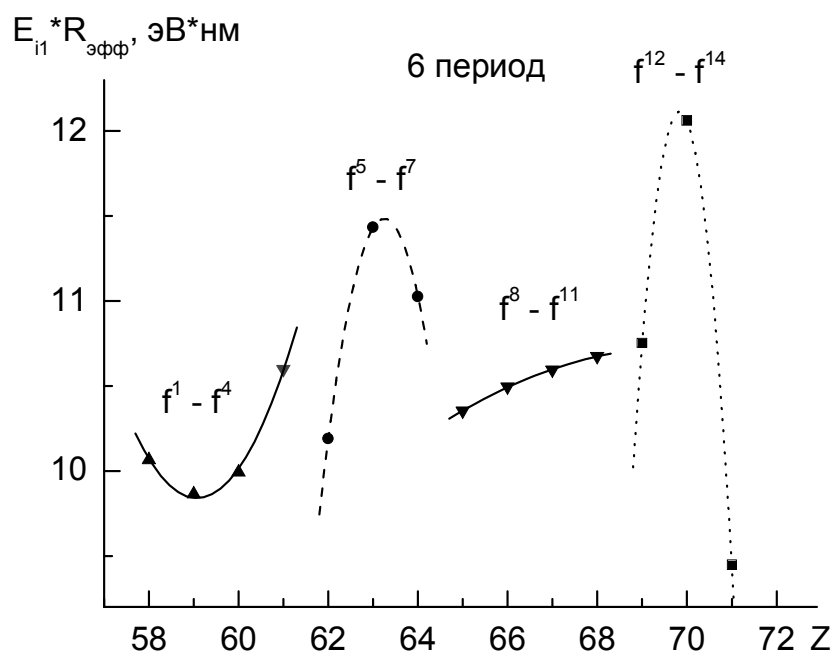


Продолжение **Приложения 4.**

П.4.1.7. f- Элементы. Орбитальный радиус



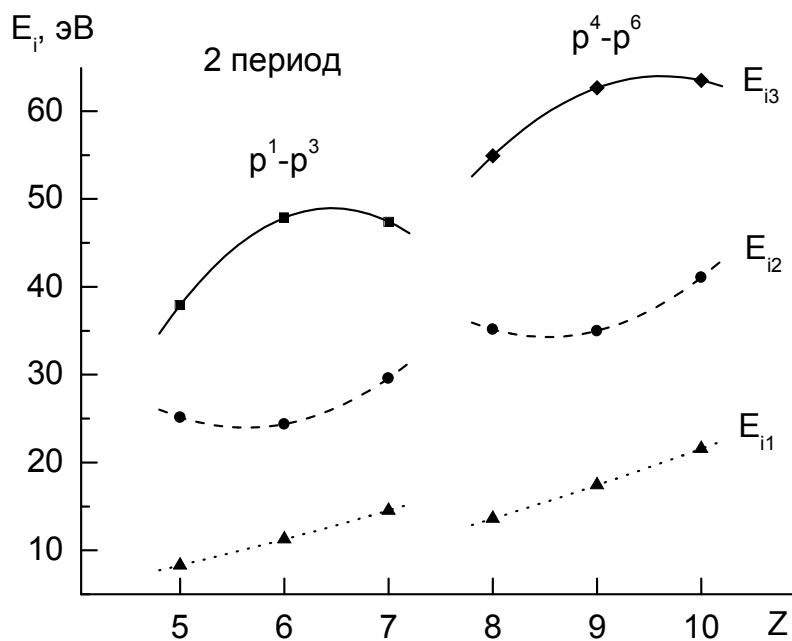
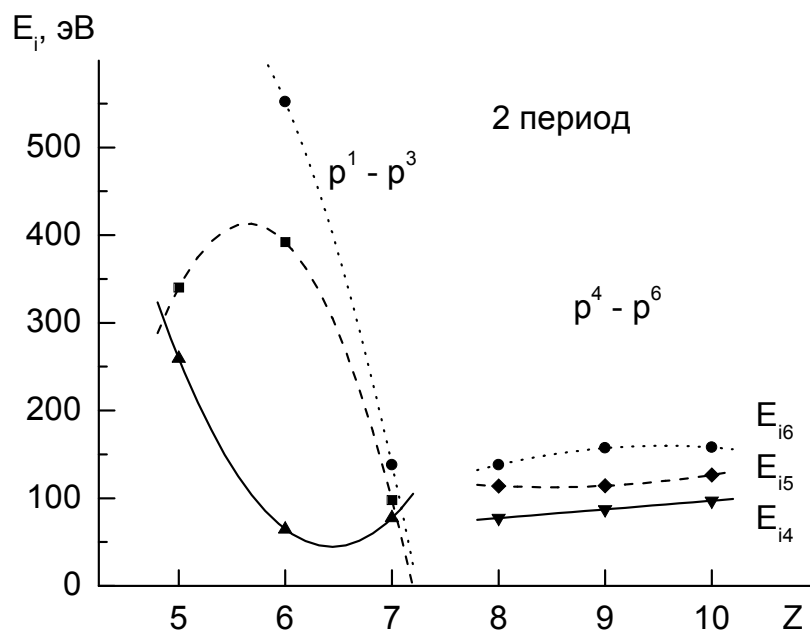
П.4.1.7. f- Элементы. Эффективный радиус



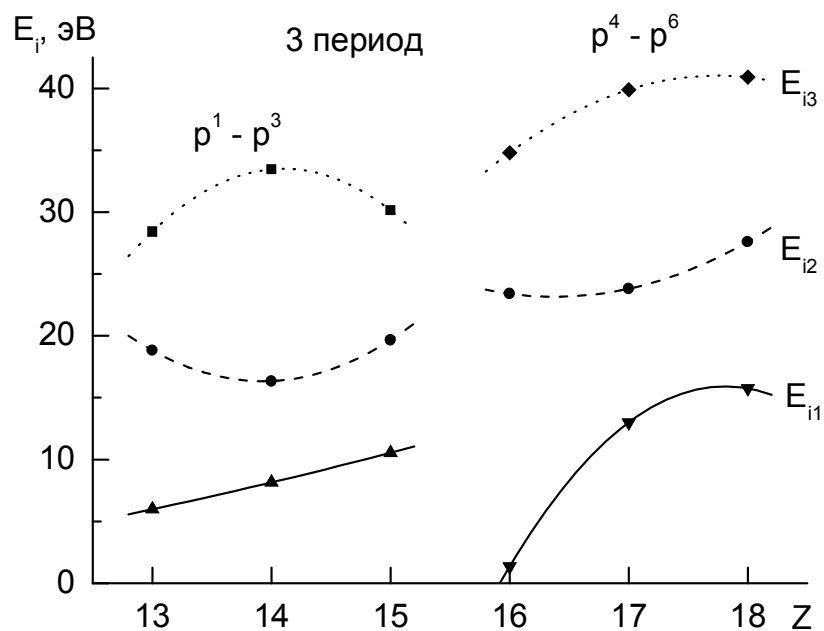
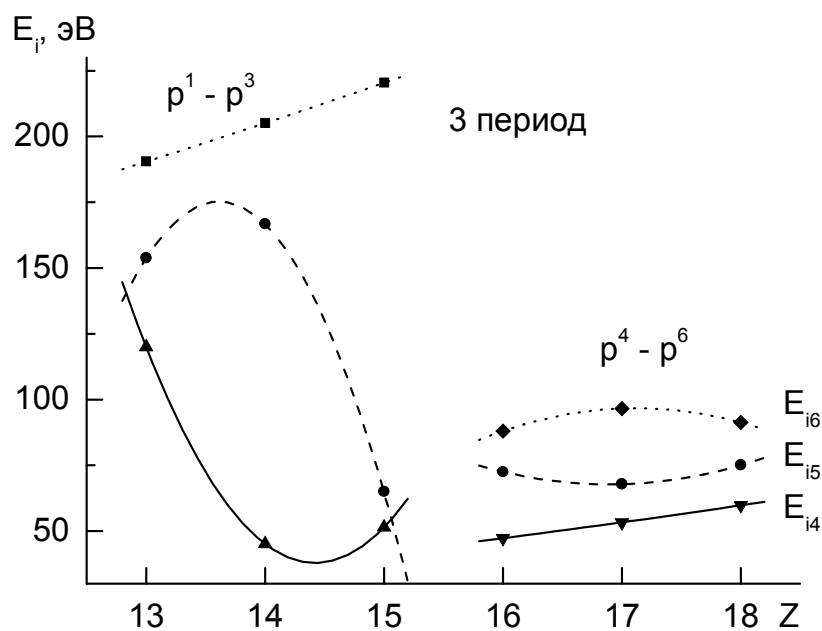
Продолжение **Приложения 4.**

П.4.2 Энергии ионизации

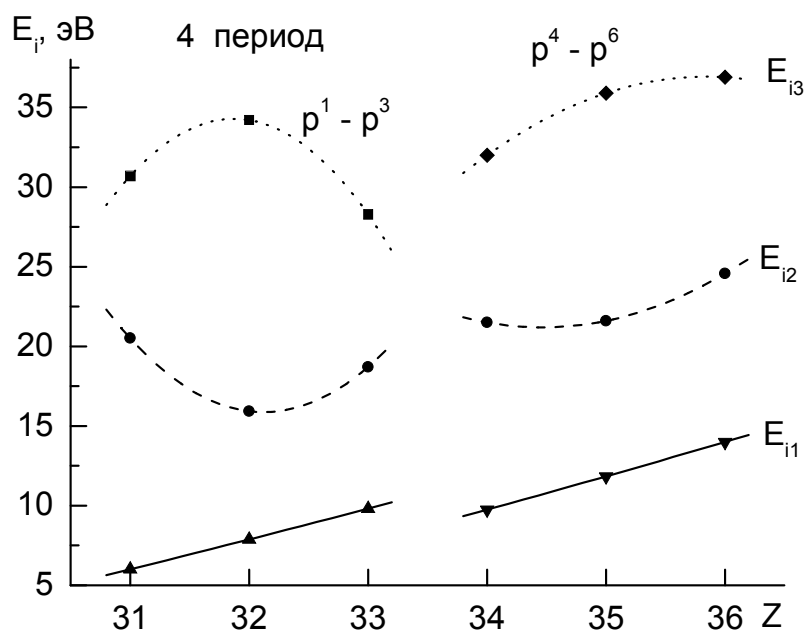
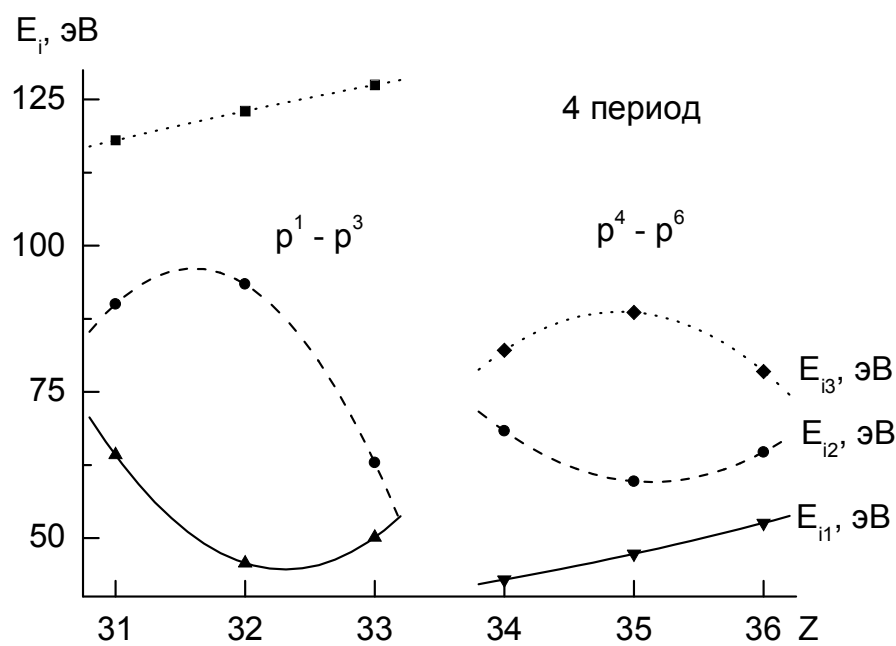
П.4.2.1. p-Элементы



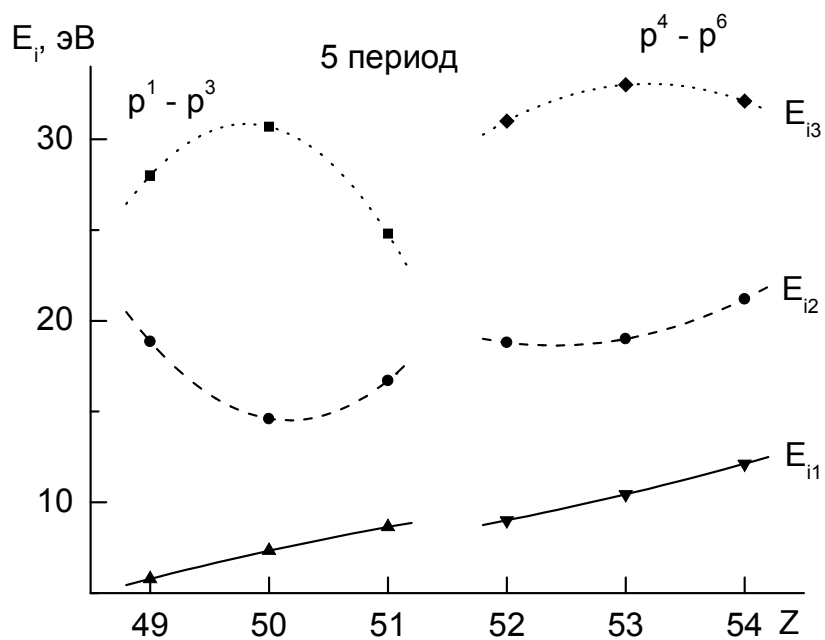
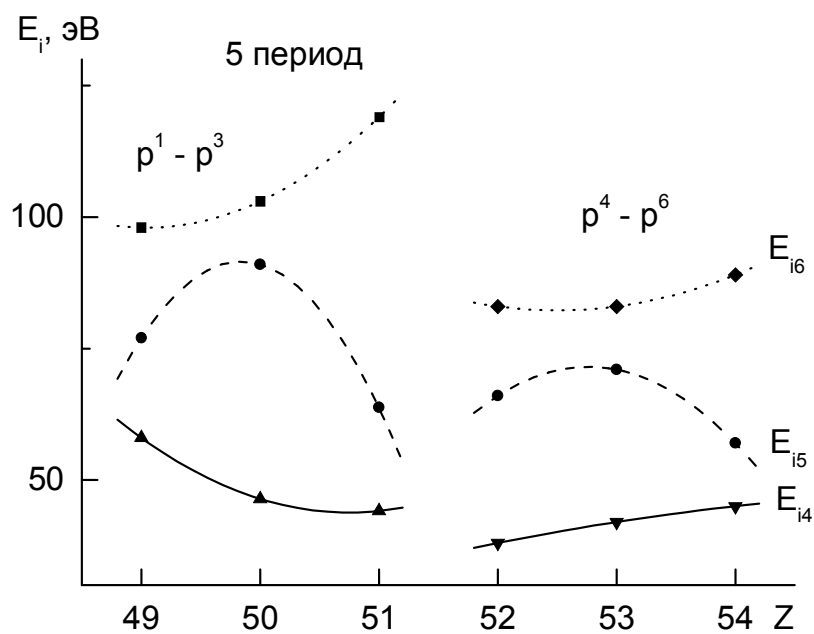
Продолжение *Приложения 4.*



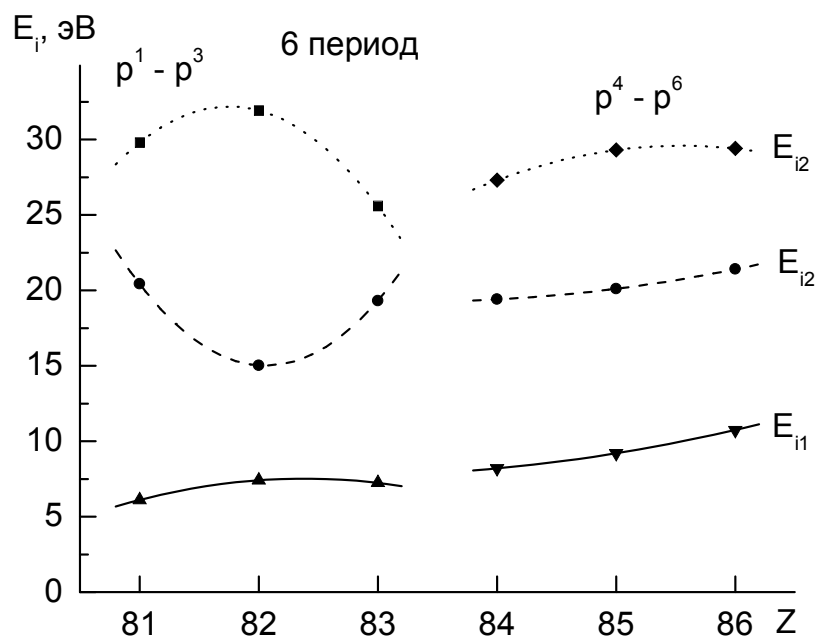
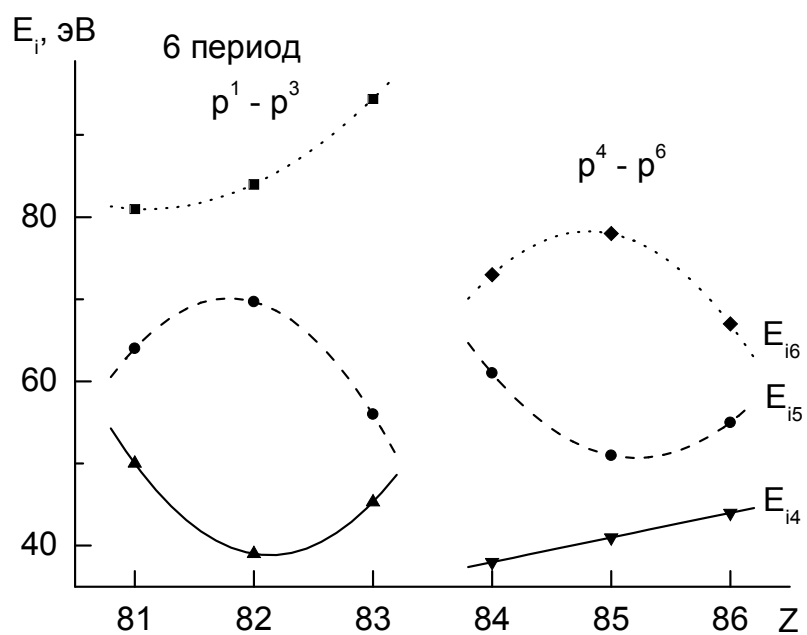
Продолжение *Приложения 4.*



Продолжение *Приложения 4.*

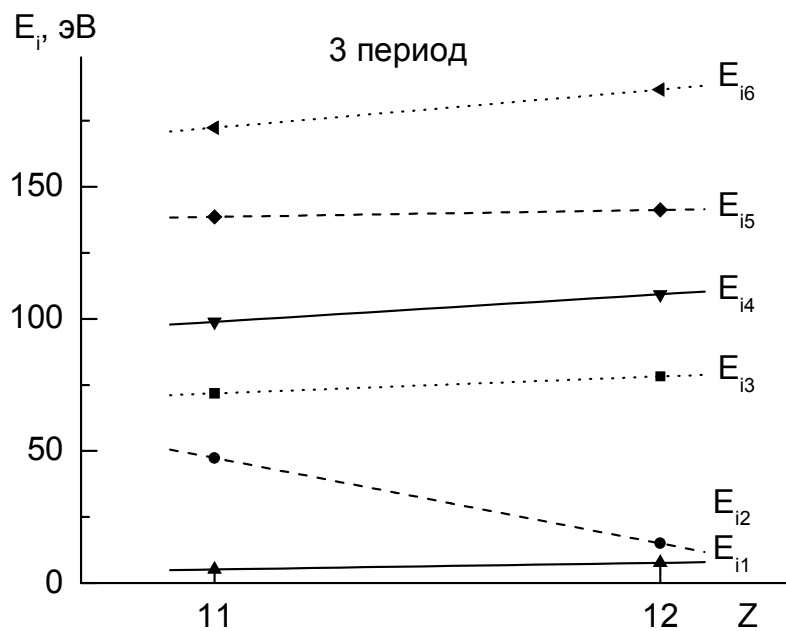
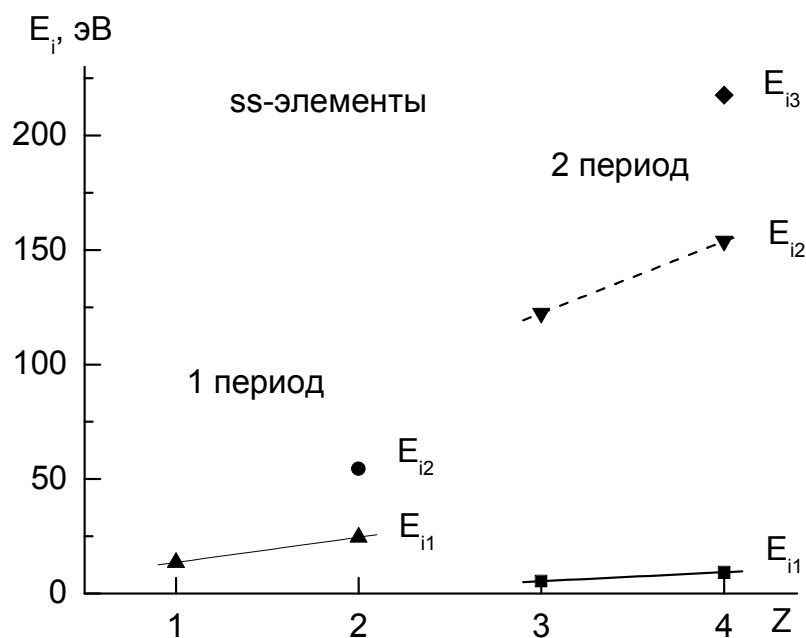


Продолжение *Приложения 4.*

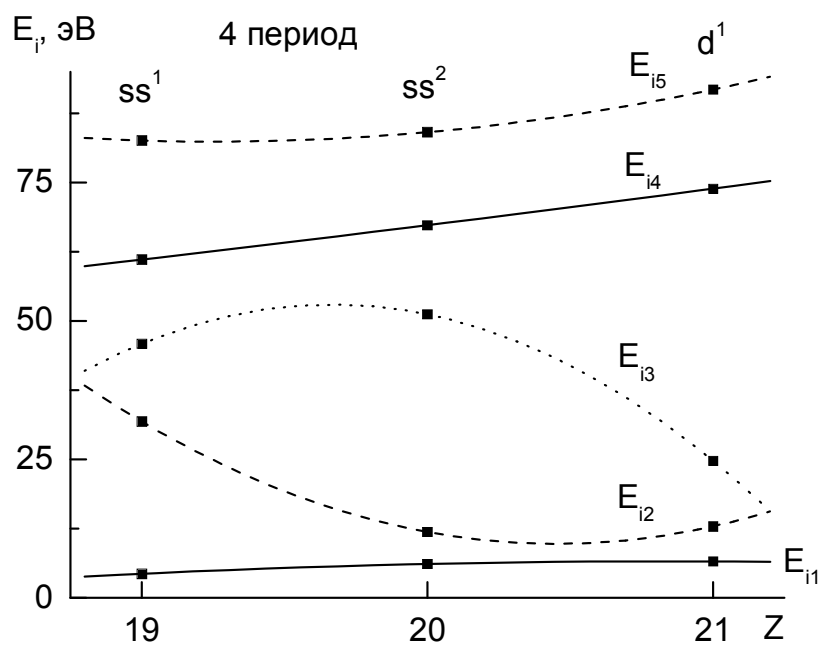
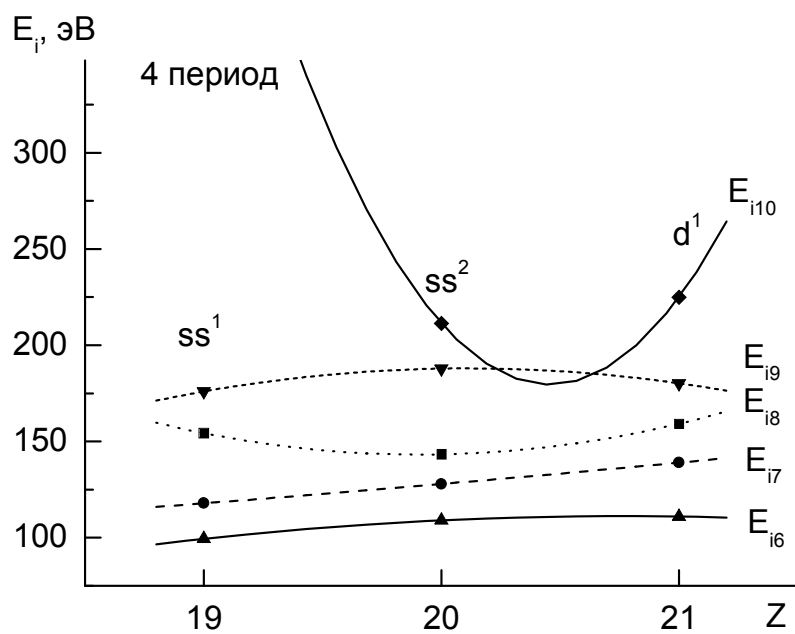


Продолжение *Приложения 4.*

П.4.2.2. ss-Элементы

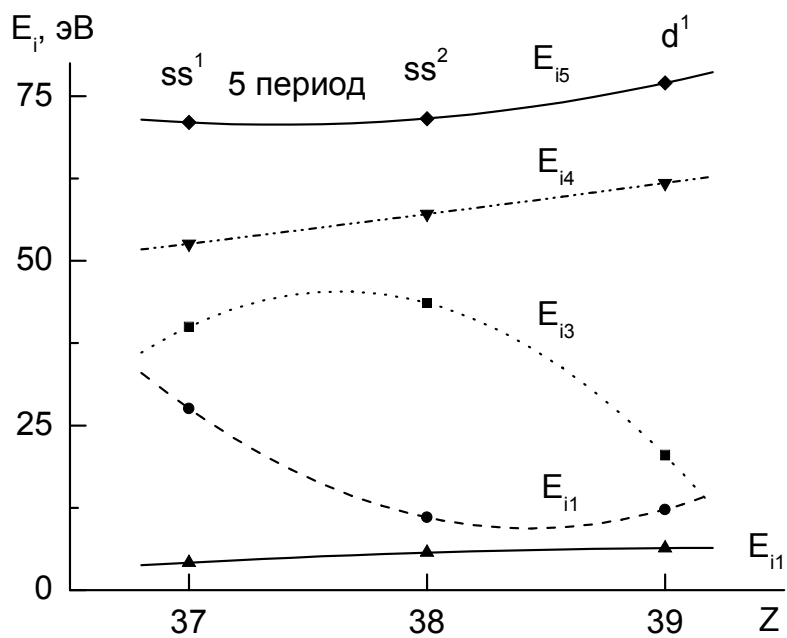
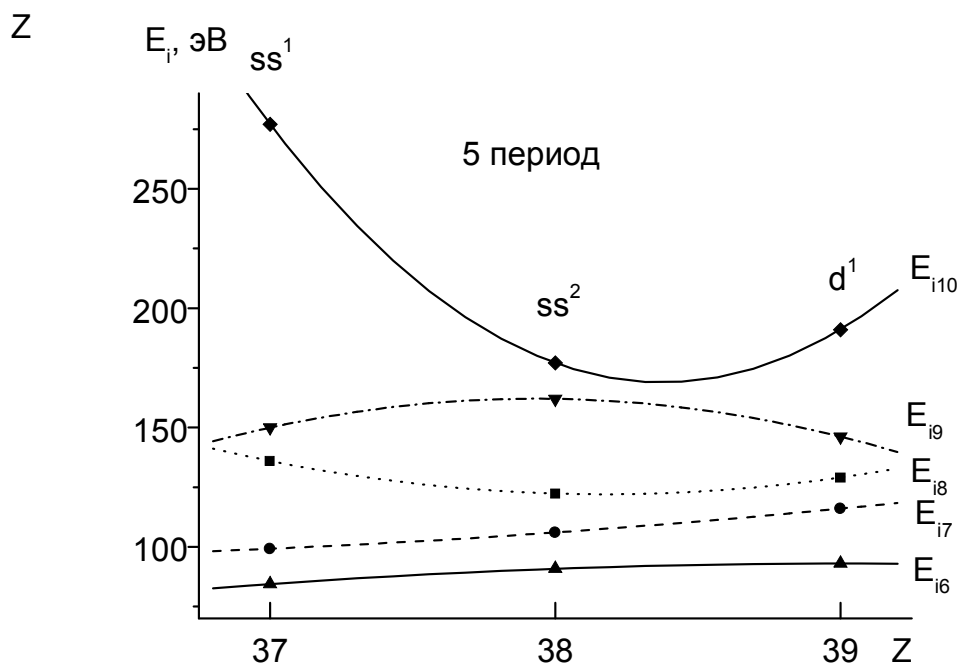


П.4.2.3. (ss + d<sup>1</sup>)- Элементы

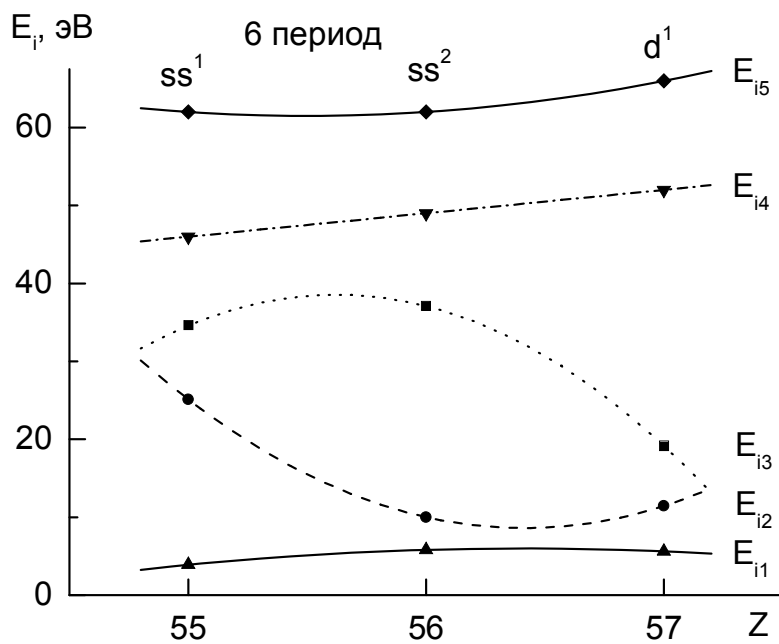
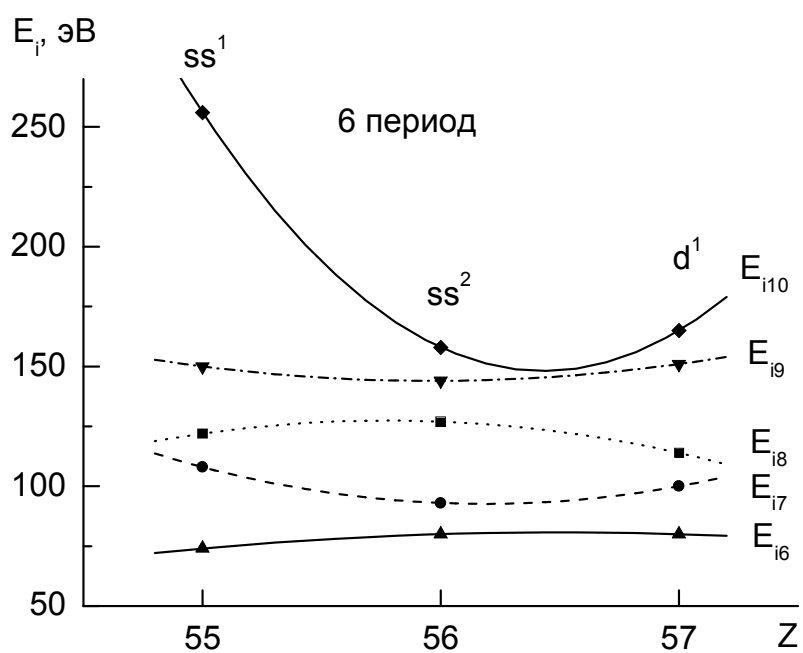




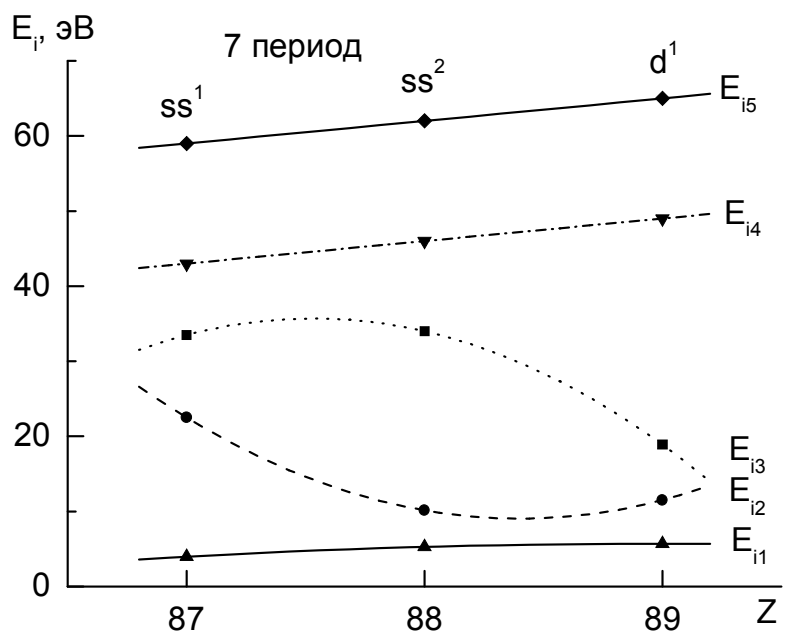
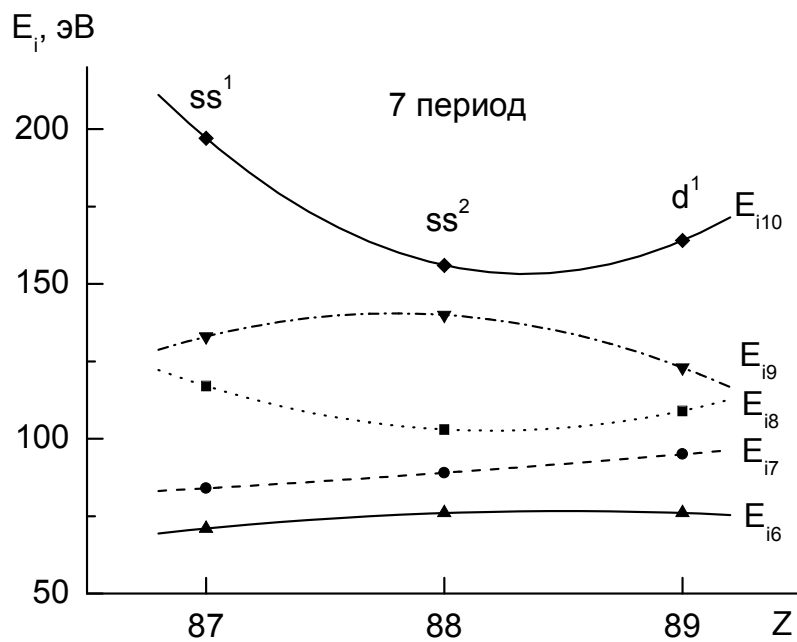
Продолжение *Приложения 4.*



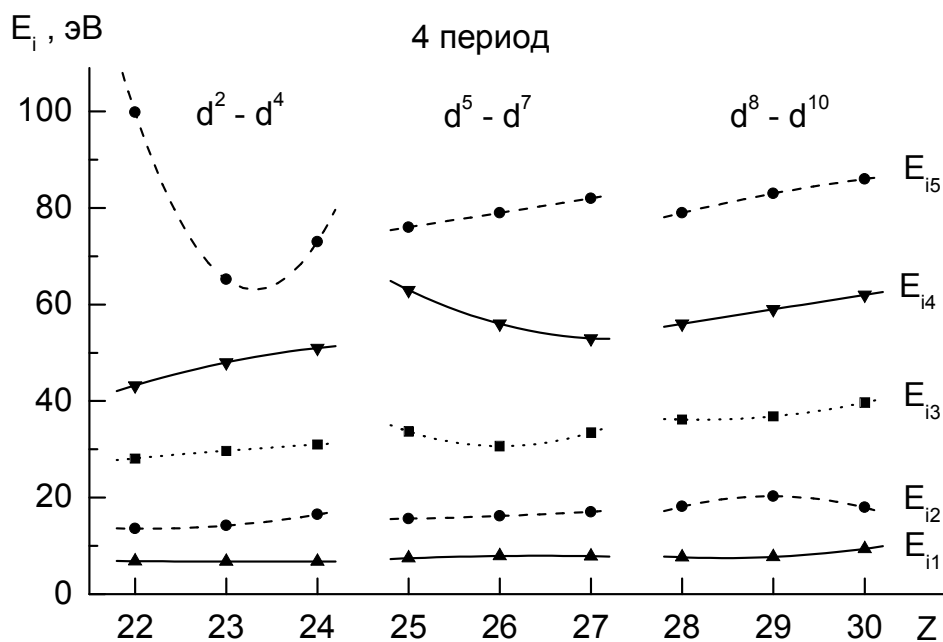
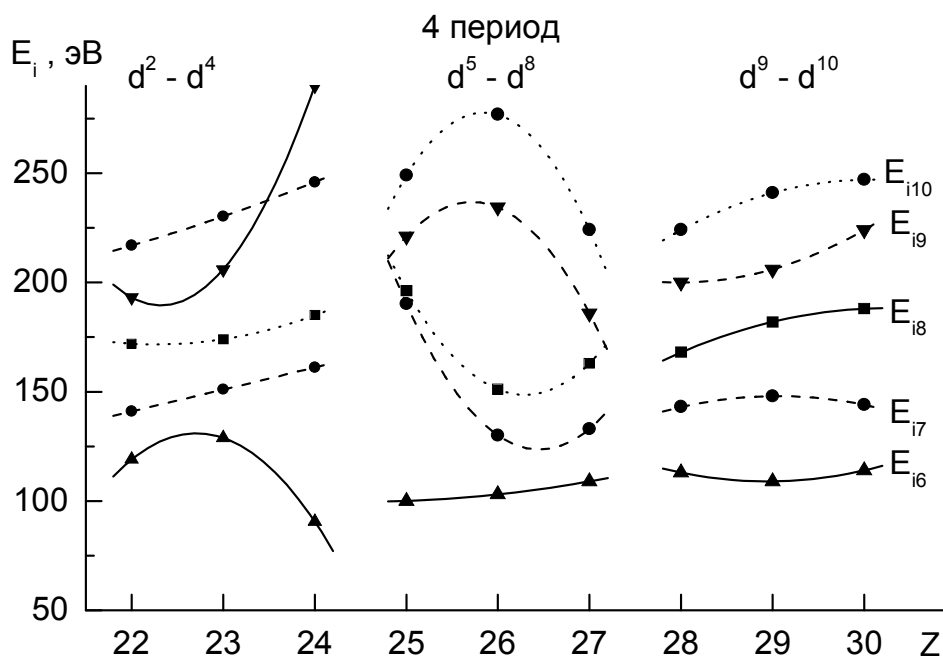
Продолжение *Приложения 4.*



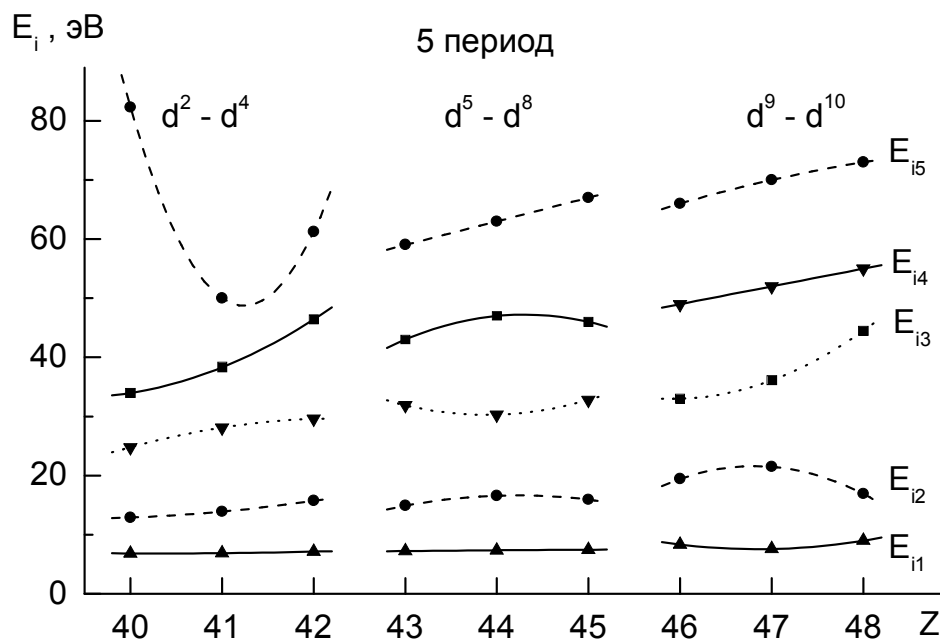
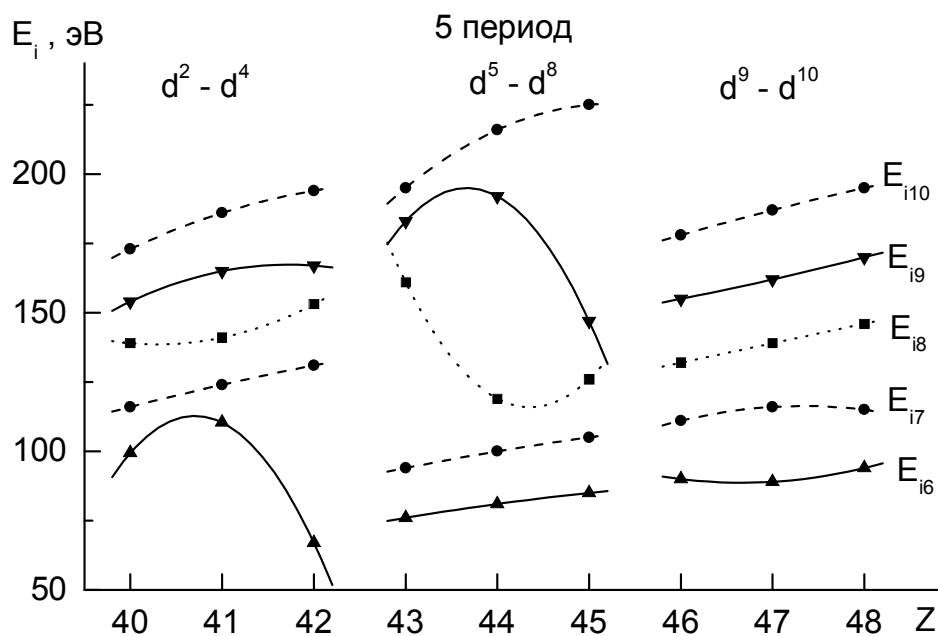
Продолжение *Приложения 4.*



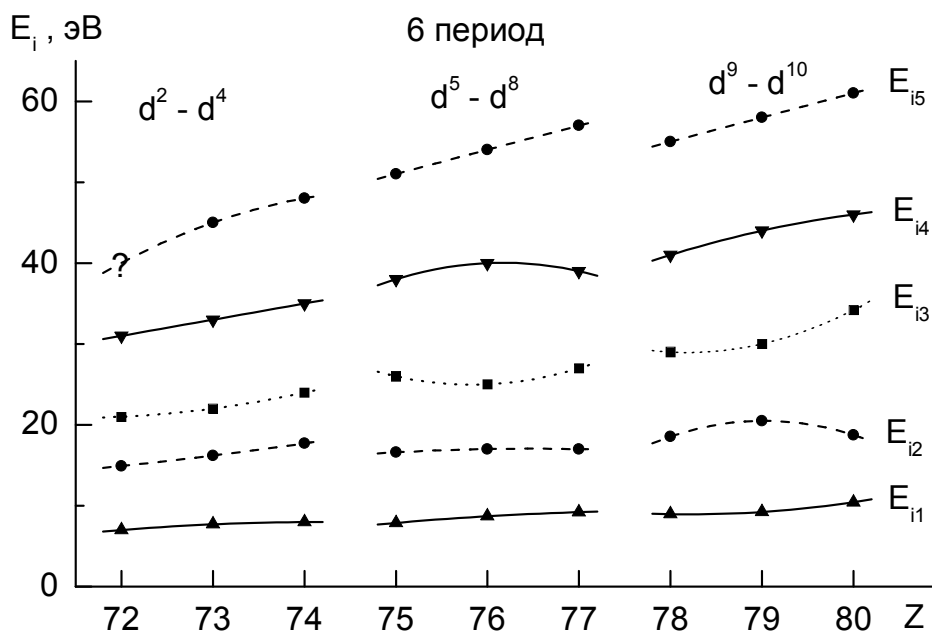
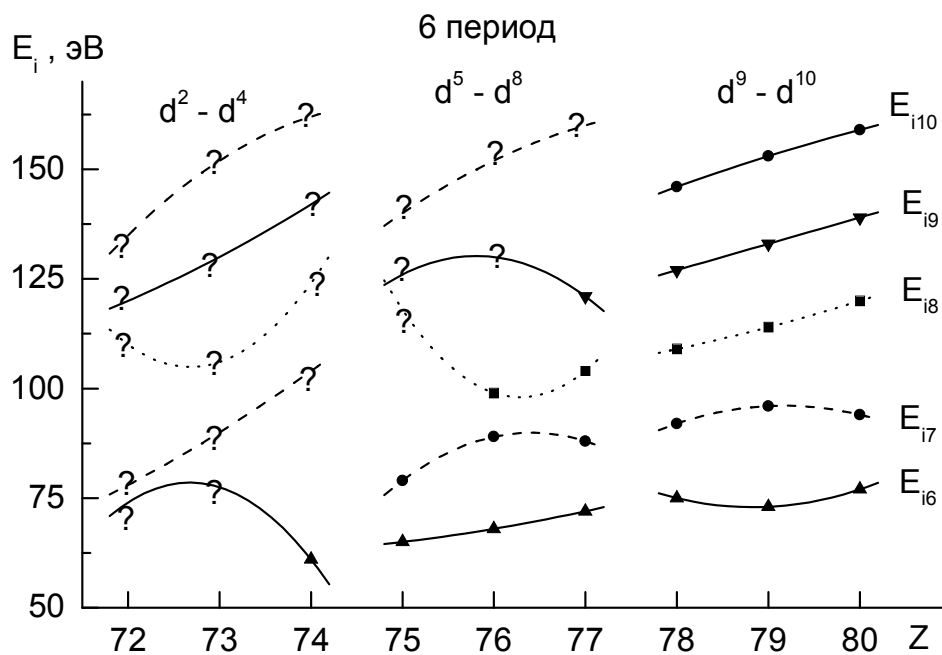
П.4.2.4. d- Элементы



Продолжение *Приложения 4.*

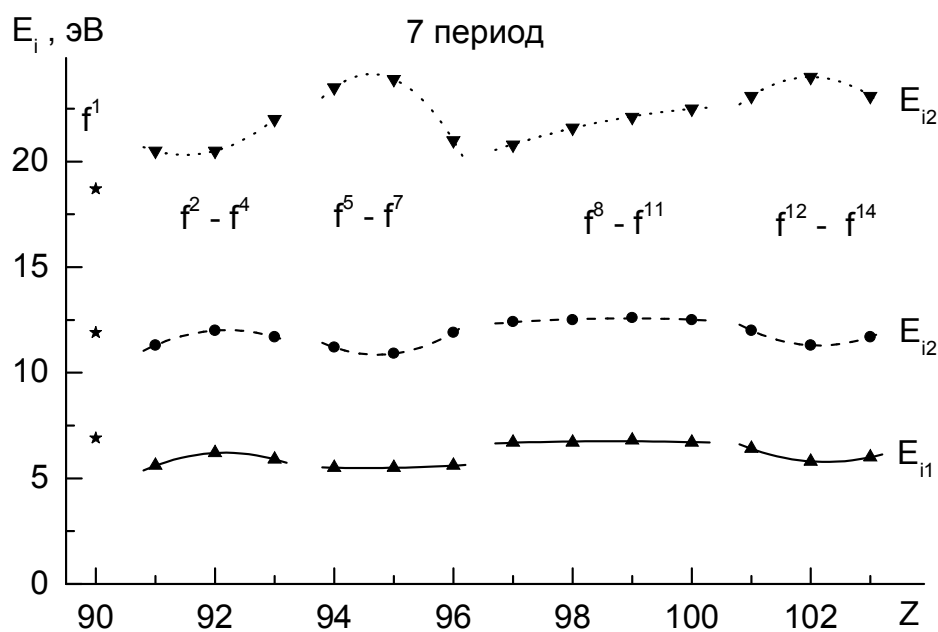
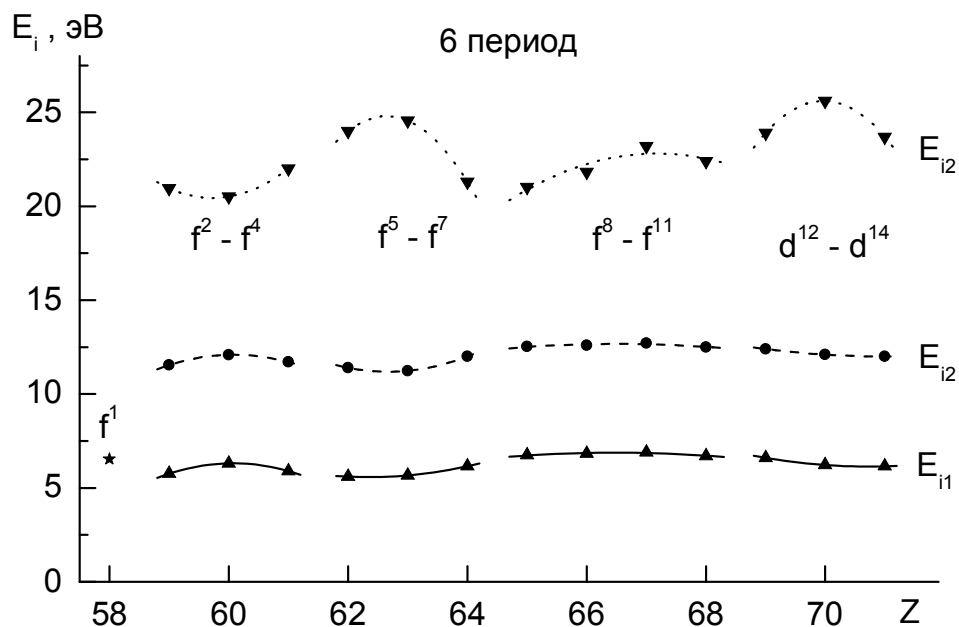


Продолжение *Приложения 4.*



Продолжение *Приложения 4.*

П.4.2.5. f-Элементы



**Примечание:** ? – прогнозируемое значение энергии ионизации.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Глава 1. Периодическая система Д.И. Менделеева и развитие Естествознания .....	7
1.1 Создание Периодической системы и ее развитие.....	7
1.2 Структура Материи и основные закономерности строения Вещества .....	13
Резюме к Главе 1.....	17
Глава 2. Строение электронной оболочки и Периодическая система атомов известных элементов Вещества .....	18
2.1 Атом водорода по Бору .....	18
2.2 Квантово-механическая модель водородоподобных атомов .....	23
2.3 Структура электронной оболочки многоэлектронных атомов .....	34
2.4 Электронная структура атомов и Периодическая система известных атомов Элементов Вещества .....	39
Резюме к Главе 2.....	43
Глава 3. Некоторые характеристики атомов .....	44
3.1 Размеры атомов.....	44
3.1.1 p-Элементы .....	48
3.1.2 ss-Элементы .....	60
3.1.3 d-Элементы .....	68
3.1.4 f-Элементы .....	72
3.2 Энергия ионизации .....	76
3.2.1 p-Элементы .....	79
3.2.2 ss-Элементы .....	82
3.2.3 d- и f-Элементы .....	86
Резюме к Главе 3 .....	89
Глава 4. Закономерности строения ядер .....	91
4.1 Строение ядер .....	91
4.2 Размеры ядра.....	97
4.3 Энергия связи нуклонов ядра .....	99
4.4 Общий анализ изменения нуклонного состава ядер .....	111
4.5 Изменение нуклонного состава ядер внутри периодов ...	116
4.6 Изменение нуклонного состава для семейств, групп и подгрупп элементов .....	121
Резюме к Главе 4.....	128



Глава 5. Периодическая система атомов элементов Вещества	
с учетом ее конечности .....	130
5.1 Структура Периодической системы атомов .....	131
5.2 Закономерности распределение элементов по периодам ..	137
5.3 О физической природе дефицита атомов элементов	
в периодах системы .....	151
5.4 Анализ распределения изотопов по периодам Системы ...	154
5.5 Оценка основных характеристик	
неизвестных элементов .....	164
5.6 Перспективы открытия новых элементов .....	168
Резюме к Главе 5 .....	170
Глава 6. Периодическая система ядер	
элементов Вещества .....	171
6.1 Предлагаемая структура Периодической системы ядер...	171
6.2 Анализ нуклонного состава ядер .....	176
6.3 Распределение изотопов по периодам и классам .....	193
Резюме к Главе 6 .....	201
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	202
ЛИТЕРАТУРА .....	207
Использованная литература .....	207
Цитируемая литература .....	207
Приложение 1. Хронология открытия элементов Вещества .....	209
Приложение 2. Электронные формулы атомов .....	215
Приложение 3. Нуклонный и изотопный состав	
ядер элементов .....	221
Приложение 4. Некоторые характеристики	
атомов элементов .....	232
П.4.1. Произведение первой энергии ионизации на	
эффективный и орбитальный радиусы .....	232
П.4.1.1. p-Элементы. Орбитальный радиус .....	232
П.4.1.2. p-Элементы. Эффективный радиус .....	234
П.4.1.3. ss-Элементы. Орбитальный радиус.....	236
П.4.1.4. ss-Элементы. Эффективный радиус .....	238
П.4.1.5. d-Элементы. Орбитальный радиус .....	240
П.4.1.6. d-Элементы. Эффективный радиус .....	241
П.4.1.7. f-Элементы. Орбитальный радиус .....	243
П.4.1.8. f-Элементы. Эффективный радиус .....	243
П.4.2. Энергии ионизации .....	244
ОГЛАВЛЕНИЕ.....	258

Научное издание

ГРАДОБОВЕВ Александр Васильевич

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Монография

Отпечатано в редакции автора

Подписано к печати 19.04.2011. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».


Печать XEROX. Усл.печ.л. 15,12. Уч.-изд.л. 13,67.

Заказ 542-11. Тираж 500 экз.



Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.