

Г. Реми

Курс неорганической химии

Том 2

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 54
ББК 24
Г11

Г11 **Г. Реми**
Курс неорганической химии: Том 2 / Г. Реми – М.: Книга по Требованию, 2022. – 836 с.

ISBN 978-5-458-51275-6

Книга предсвояет собой второй том хорошо известного читателю "Курса неорганической химии". Книга является своего рода энциклопедией по неорганической химии, одинаково интересной и полезной как начинающему студенту, так и опытному химику. Каак и для первого тома, характерны физико-химический подход к изложению рассматриваемого материала, а также внимание к новейшим достижениям неорганической химии.

ISBN 978-5-458-51275-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2022
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2022

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ОДИННАДЦАТОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящее издание вновь переработано и дополнено. Многие рисунки заменены для приведения в соответствие с новыми данными или для улучшения в ином отношении. Учитывая, что вскоре произойдет унификация «химических» и «физических» атомных весов на основе углерода $^{12}\text{C} = 12$, в приложении приведена таблица атомных весов, вычисленных относительно $\text{O} = 16$ и относительно $^{12}\text{C} = 12$. Помимо этого приложение дополнено сопоставлением энергий ионизации атомов.

Приношу благодарность проф. д-ру К. Ф. Яру за его усердную и ценную помощь при составлении раздела «Ванадиевые кислоты и ванадаты(V)». Я благодарю также приват-доцента д-ра Линденберга и д-ра Гледис Тидеман за описание новых рисунков, а фрейлейн Тидеман за ее помощь в переработке именного и предметного указателей и за чте-ние корректуры.

Г. Рамм

Гамбург, февраль 1960 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ДЕВЯТОМУ И ДЕСЯТОМУ ИЗДАНИЯМ

Настоящий том, так же как и т. I, был полностью заново переработан. Достигнутые за последнее время успехи в неорганической химии не только значительно расширили представления о химических соединениях, они привели к более глубокому пониманию общих причин, определяющих поведение веществ. Некоторые области неорганической химии предстали благодаря этому в совершенно новом аспекте. Так, было показано, что соединения, которые у некоторых элементов не соответствуют степеням окисления и вследствие этого раньше считались «аномальными», отнюдь не являются таковыми. Они закономерно получаются при определенных условиях, и способность к образованию такого рода соединений является одним из характерных свойств элементов, от которых они производятся. Тот факт, что соединения такого рода встречаются преимущественно у элементов побочных подгрупп периодической системы, т. е. у элементов, рассматриваемых в этом томе, не случаен, а обусловлен закономерной связью между валентностью и строением атома.

В связи с этим было бы недостаточным вставить описание новых соединений с особо отличающимися свойствами в прежний текст; в общих разделах текст должен был быть значительно переработан, а в главах,

посвященных описанию отдельных соединений, текст нужно было расположить по-новому. В систематическое описание отдельных веществ были введены элементы актиний, протактиний, технеций, прометий и их соединения. До сих пор эти элементы только коротко описывали в общих разделах, посвященных систематическому обсуждению отдельных веществ. Причиной этого до недавнего времени являлись недостаточные экспериментальные сведения о химии этих ранее трудно доступных элементов. В настоящее время имеются очень надежные и точные данные, с которыми оказалось возможным ознакомить читателя. Трансурановым элементам посвящена отдельная глава.

Учитывая большое значение, которое приобрели изотопы, а также различные области ядерной химии, материал, описанный ранее в главе «Радиоактивность, изотопы и ядерная химия», был расширен и разделен на три главы. Ввиду важности для ядерной химии методов, впервые разработанных на естественных радиоактивных элементах, они в расширенном объеме подробно описаны в главе о естественной радиоактивности. Расширено и углублено также изложение сведений о естественных радиоактивных элементах и вытекающих отсюда следствий. Они необходимы для понимания ядерной химии и ее практического использования. Ядерную химию, а это значит науку и технику процессов, связанных с превращением ядер, в настоящее время часто рассматривают в Германии — в противоположность ученым других стран — как область физики. Однако реакторная техника, основанная на ядерной химии, требует разрешения многих химических задач и других проблем. Не говоря уже о том, что химикам, все чаще использующим радиоактивные изотопы как средство исследования, необходимо ознакомиться с основными результатами исследования и методами работы в области радиоактивности и ядерной химии.

После выхода т. I этого издания Международным союзом по теоретической и прикладной химии (IUPAC) были разработаны новые правила номенклатуры неорганических соединений. В настоящем томе они приняты во внимание. Для этого пришлось переработать уже полностью подготовленную рукопись. К сожалению, не удалось избежать задержки в издании этого тома. Краткое описание новых правил дано в приложении*.

Вновь я должен поблагодарить многочисленных коллег за хорошие советы и великодушную помощь при переработке этой книги. Благодарю моих ассистентов д-ра Линденберга и д-ра Тидеман за ценное сотрудничество; д-ра Линденберга особенно за изготовление новых рисунков, а фрейлейн Тидеман за ценные предложения, переработку всей рукописи в свете новых правил номенклатуры и за тщательное чтение корректуры.

Гамбург, август 1959 г.

Г. Реми

* Приложение, касающееся номенклатуры, опущено.—Прим. ред.

ВАЖНЕЙШИЕ ОБЩИЕ КОНСТАНТЫ

Абсолютная температура точки плавления льда: $T_0^{\circ}\text{C} = 273,16^{\circ}\text{K}$,
 Атмосфера (нормальное давление): $1\text{ атм} \equiv 760\text{ мм рт ст} \equiv 1,013250 \times 10^6\text{ дин}\cdot\text{см}^{-2}$.

Число Авогадро: $N_A = 6,0247 \cdot 10^{23}$ (физическая шкала) $\equiv 6,0231 \cdot 10^{23}$ (химическая шкала).

Константа Больцмана: $k = \frac{R}{N_A} = 1,38042 \cdot 10^{-16}\text{ эрг}\cdot\text{град}^{-1}$.

Элементарная частица электричества: $e = 4,8028 \cdot 10^{-10}\text{ эл.ст.ед.} = 1,60207 \cdot 10^{-20}\text{ эл.магн.ед.} = 1,60207 \cdot 10^{-19}\text{ кулон}$.

Удельный заряд электрона: $\frac{e}{m} = 1,75888 \cdot 10^7\text{ эл. магн. ед/г}$.

Масса электрона (масса покоя): $m = 9,1085 \cdot 10^{-28}\text{ г}$; массовое число электрона $\equiv 0,00054876$.

Мера энергии:

$1\text{ эрг} \equiv 10^{-7}\text{ дж (ватт-секунд)} = 2,777778 \cdot 10^{-14}\text{ кВт}\cdot\text{ч (киловатт-часов)} = 0,239006 \cdot 10^{-7}\text{ кал}$.

$1\text{ л}\cdot\text{атм (литр-атмосфера)} \equiv 1,013278 \cdot 10^9\text{ эрг} = 101,3278\text{ дж} = 2,81466 \cdot 10^{-5}\text{ кВт}\cdot\text{ч} = 24,2180\text{ кал}$.

$1\text{ см}^3\cdot\text{атм (куб. сантиметр-атмосфера)} = \frac{1\text{ л}\cdot\text{атм}}{1000,28} \equiv 0,1013250\text{ дж} = 2,81458 \cdot 10^{-5}\text{ кВт}\cdot\text{ч} = 2,42177 \cdot 10^{-2}\text{ кал}$.

$1\text{ кал (термохимическая грамм-калория)} \equiv 4,18400\text{ дж} = 1,16222\text{ кВт}\cdot\text{ч} = 0,041292\text{ л}\cdot\text{атм} = 41,293\text{ см}^3\cdot\text{атм}$.

$1\text{ кал}_{15^{\circ}} (15^{\circ}\text{-калория}) = 4,1855\text{ дж} = 1,00036\text{ кал}$.

$1\text{ эв (электрон-вольт)} \equiv 1,60207 \cdot 10^{-12}\text{ эрг} = 3,82904 \cdot 10^{-20}\text{ кал}$; 1 эв на молекулу соответствует $23,0689\text{ ккал/моль}$ (физическая шкала) $\equiv 23,0626\text{ ккал/моль}$ (химическая шкала).

$1\text{ ТЕМ (тысячная единицы массы)} \text{ соответствует } 0,93116 \cdot 10^6\text{ эв на атом, или } 8,9858 \cdot 10^{10}\text{ дж/г-атом} = 21,476 \cdot 10^6\text{ ккал/г-атом}$.

Энергия светового кванта (фотона) с длиной волны $\lambda\text{ см}$:

$$\begin{aligned} \frac{hc}{\lambda} &\equiv \frac{1}{\lambda} \cdot 1,9862 \cdot 10^{-18}\text{ эрг} = \frac{1}{\lambda} \cdot 1,23977 \cdot 10^{-4}\text{ эв, что соответствует} \\ &\frac{1}{\lambda} \cdot 11,9663\text{ дж/моль, или } \frac{1}{\lambda} \cdot 2,86002\text{ кал/моль (физическая шкала)} = \\ &= \frac{1}{\lambda} \cdot 11,9630\text{ дж/моль, или } \frac{1}{\lambda} \cdot 2,85923\text{ кал/моль (химическая} \\ &\text{шкала)}. \end{aligned}$$

Фарадей (электрический заряд одного грамм-эквивалента) $= 1F = 96493,1\text{ кулон}$, что соответствует $26,8037\text{ а-час}$.

Газовая константа: $R_{\text{физ}} = 82,079 \text{ см}^3 \cdot \text{атм} = 0,082076 \text{ л} \cdot \text{атм} =$
 $= 8,3166 \text{ дж} = 1,98772 \text{ кал}$ на физический моль.

$R_{\text{хим}} = 82,056 \text{ см}^3 \cdot \text{атм} = 0,082054 \text{ л} \cdot \text{атм} = 8,3143 \text{ дж} = 1,98718 \text{ кал}$
 на химический моль.

Скорость света: $c = 2,997929 \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1}$.

Литр (объем 1 кг воды, не содержащей воздуха, при максимальной плотности и нормальном давлении): $1 \text{ л} = 1000,028 \text{ см}^3$

Молярный объем идеального газа (по химической шкале при 0°C и 760 мм рт ст) $= 22,4140 \text{ л} = 22414,6 \text{ см}^3$.

Постоянная Планка (квант действия): $h = 6,6252 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек}$.

Ускорение силы тяжести, нормальная величина (на уровне моря и широте 45°): $g_0 = 980,665 \text{ см} \cdot \text{сек}^{-2}$.

Фактор Смита $= \frac{\text{Массовое число}}{\text{Атомный вес}} = 1,000275$ (условная величина).

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

**ПОБОЧНЫЕ ПОДГРУППЫ
ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ,
СЕМЕЙСТВО ЛАНТАНИДОВ
И ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

ВВЕДЕНИЕ

В т. I были рассмотрены все элементы главных подгрупп периодической системы (включая водород), порядковые номера которых на 1—2 единицы больше или на 5—1 единиц меньше порядкового номера инертного газа. Остальные элементы относятся к *побочным подгруппам* периодической системы, за исключением лантана и следующих за ним 14 элементов, которые образуют особое семейство лантанидов, и *транс-урановых* элементов, следующих за ураном.

Побочные подгруппы периодической системы включают (ср. табл. IV приложения II) элементы с порядковыми номерами 21—30, 39—48, 57, 72—80 и элементы 89—92. Таким образом, они охватывают нижние ряды двух длинных периодов по 10 элементов, а также 10 элементов из третьего длинного периода, в котором содержится 24 элемента (14 элементов этого периода, а именно элементы с порядковыми номерами 58—71, относятся к семейству лантанидов), и, наконец, в побочные подгруппы входят еще первые 4 элемента следующего длинного периода от актиния (порядковый номер 89) до урана (порядковый номер 92). Известные в настоящее время элементы с порядковыми номерами 93—103, следующие за ураном, хотя и составляют продолжение этого периода, однако на основании строения их атомов и по химическим свойствам их нельзя причислить к элементам побочных подгрупп — они образуют особое семейство подобно лантанидам.

Можно предположить, что это подобное лантанидам семейство начинается не с урана, а непосредственно за актинием, так же как в предыдущем длинном периоде семейство лантанидов возбуждается лантаном, аналогом которого является актиний. С точки зрения *строения атома* это означало бы, что начинающееся у актиния заполнение *6d-уровня* у следующих за ним элементов — тория, протактиния и урана — не продолжается, а сначала происходит заполнение *5f-уровня*. Вопрос о том, как следует расположить в периодической системе названные элементы на основании их атомного строения, является спорным, поскольку их строение научно недостаточно полно. Более поздние исследования (подробнее см. гл. 14) показывают, однако, что заполнение *5f-уровня* начинается весьма вероятно не у тория, а только у трансурановых элементов. Если это так, то элементы торий, протактиний и уран с точки зрения *строения атома* должны относиться к *побочным подгруппам*. На основании химического поведения их прежде рассматривали в качестве аналогов элементов, стоящих в побочных подгруппах IV, V и VI, группы периодической системы.

Элементы побочных подгрупп по своим свойствам в той или иной степени близки к элементам соответствующих (т. е. относящихся к этому же периоду) главных подгрупп. Это сходство наиболее велико там, где только начинается ответвление побочных подгрупп, а именно в *третьем периоде*. С возрастанием порядкового номера и номера группы или перио-

да это сходство постепенно уменьшается от третьей группы к седьмой, а в восьмой группе совсем исчезает. При дальнейшем возрастании порядкового номера снова появляется побочная подгруппа первой группы, которая при коротком изображении периодов расположена в его нижнем ряду. Здесь снова появляется определенное сходство в свойствах, усиливающееся при переходе от первой группы ко второй, где побочные подгруппы примыкают к главным. Чтобы разместить элементы побочных подгрупп в тех же группах, которые занимают элементы главных подгрупп, 3 из 10 элементов каждого нижнего ряда периода, особенно близких по свойствам между собой, а именно Fe, Co, Ni — Ru, Rh, Pd — Os, Ir, Pt, помещают в одну группу, как уже было указано в т. I.

В некоторых случаях у элементов побочных подгрупп особенно велико сходство со вторым элементом соответствующей главной подгруппы. Это неоднократно отмечалось уже в т. I при характеристике главных подгрупп. При переходе от третьей группы к седьмой это сходство уменьшается, в восьмой группе исчезает, а в первой появляется вновь и даже усиливается при переходе от первой группы ко второй. Однако наиболее близки между собой элементы, стоящие друг под другом в одной побочной подгруппе. В середине периодической системы (III, IV и V группы) это сходство в общем едва ли меньше, чем у более тяжелых элементов главных подгрупп. В отдельных случаях (цирконий — гафний) оно даже больше, чем между любыми двумя аналогами главных подгрупп. В большинстве случаев, однако, среди элементов одной и той же побочной подгруппы наблюдается меньшее совпадение валентности, чем в главных подгруппах. Многие элементы одной побочной подгруппы обладают способностью легко изменять свою валентность. Переменная валентность особенно характерна для элементов побочной подгруппы восьмой группы.

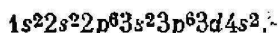
Помимо легкой перемены валентности, элементам побочных подгрупп присущи и некоторые другие особенности. Например, большинство из них образует, как правило, парамагнитные соединения и способно к образованию окрашенных элементарных электролитических ионов, чего не наблюдается у элементов главных подгрупп.

В побочных подгруппах гораздо сильнее, чем в главных, проявляется сходство между рядом стоящими элементами, и иногда оно даже превышает сходство между аналогами (т. е. стоящими в периодической системе друг под другом). Например, железо по свойствам, а также по виду и свойствам образуемых им соединений ближе к рядом стоящим элементам марганцу и кобальту, чем к своим аналогам рутению и осмию. То же характерно для кобальта и никеля. Железо, кобальт и никель расположены в побочной подгруппе восьмой группы. Именно в этой и соседних с ней группах сходство по горизонтали оказывается особенно ярко выраженным.

Прежде появление побочных подгрупп могло показаться отклонением от закономерностей периодической системы. В настоящее время очевидно, что оно следует из общего закона распределения электронов в атоме. Существование побочных подгрупп в периодической системе, как показывает изучение спектров, обусловлено тем, что правило, согласно которому в ряду элементов новые электроны по мере увеличения заряда ядра, образно говоря, «располагаются вне уже полностью сформированной оболочки», не является общим. В определенных местах рядов элементов электроны располагаются «внутри уже сформированной оболочки». Точнее, в определенных участках рядов элементов, несмотря на то что оболочка с главным квантовым числом n завершена, происходит заполнение оболочек с более низкими главными квантовыми числами ($n - 1$ или $n - 2$). По спектрографическим данным можно определить,

с какого элемента это начинается *. Теория строения атома позволяет также объяснять, почему это происходит.

При описании главной подгруппы II группы уже указывалось на одно характерное различие в спектрах однократно ионизированного кальция и нейтрального калия, во всем остальном совершенно аналогичных между собой. Из спектральных термов видно, что у Ca^+ 3d-уровень соответствует не более высокому, как у K, а более низкому содержанию энергии атома по сравнению с 4p-уровнем. Из сопоставления уровней энергии атома калия (рис. 59, т. I, стр. 282) и однократно ионизированного атома кальция следует, что если бы 3d-уровень Ca^+ находился относительно немного ниже или 4s-уровень располагался бы относительно немного выше, то 3d-уровню соответствовало бы более низкое энергетическое состояние, чем 4s-уровню. При сравнении дугового спектра калия и искрового спектра кальция можно наблюдать сильное возращание содержания энергии (для Ca^+ уменьшенное в четыре раза) на 4s-уровне и падение на 3d-уровне. Поэтому можно ожидать, что у следующего в ряду элемента — скандия значение энергии на 4s-уровне для двукратно ионизированного атома будет превышать содержание энергии на 3d-уровне. Это полностью подтверждается анализом термов спектра скандия. Основным уровнем для 19-го электрона у скандия служат не 4s-уровень, как у калия и кальция, а 3d-уровень. Только 20-й электрон в невозбужденном состоянии занимает 4s-уровень, как в спектре однократно ионизированного скандия. 21-й электрон у скандия также находится на 4s-уровне. Таким образом, создается следующий порядок распределения электронов в невозбужденном атоме скандия:



По мере дальнейшего увеличения заряда ядра, не только 19-й, но и следующие электроны располагаются на 3d-уровне, пока число их не достигнет максимально возможного для данного уровня (10). Например, у скандия, как уже упоминалось, 20- и 21-й электроны находятся на 4s-уровне, а у следующего за ним титана, как видно из его спектра, не только 19-й, но и 20-й электроны размещаются на 3d-уровне. И только 21- и 22-й занимают 4s-уровень. У ванадия 19-, 20- и 21-й электроны занимают 3d-уровень и только 22- и 23-й — 4s-уровень **. Сказанное справедливо и для следующих за ванадием элементов, включая никель; все они содержат максимум два электрона на уровне с главным квантовым числом 4; остальные валентные электроны занимают 3d-уровень (ср. табл. III и IV приложения).

Тот факт, что у скандия последний электрон находится на d-, а не на p-уровне, как у элементов главной подгруппы III группы, на химические свойства самого скандия влияет очень незначительно. Химические свойства зависят главным образом от того, насколько легко отщепляются электроны. Особенно это влияет на валентность в гетерополярных соединениях. У кальция максимальная электроположительная валентность два, т. е. способность отщеплять только те два электрона, которые находятся в невозбужденном атоме на 4s-уровне, но не на 3p-уровне, обусловлена тем, что последние связаны гораздо прочнее. У скандия же то, что один электрон в невозбужденном состоянии занимает 3d-уровень и связан лишь немного прочнее, чем электроны на 4s-уровне, мало влияет на его химические свойства. То же справедливо и для последующих элементов периодической системы. Большая лабильность валентности у элементов побочных подгрупп по сравнению с главными подгруппами связана с особым распределением электронов в атомах элементов побочных подгрупп.

Важным следствием распределения электронов на уровне с более низким главным квантовым числом (во «внутренних оболочках») является то, что у железа (порядковый номер 26), стоящего на восьмом месте после аргона, «внешняя оболочка» инертного газа еще не завершается. Последняя характеризуется наличием в невозбужденном атоме двух электронов на s-уровне и шести электронов на p-уровне. Ввиду того что у скандия и следующих за ним элементов всегда часть электронов располагается на 3d-уровне, их вначале не хватает для образования слоя нового инертного газа (в данном случае это был бы уровень с двумя электронами на 4s- и шестью на 4p-уровнях). И только когда 3d-уровень полностью завершен, начинается заполнение уровня с главным квантовым числом 4, т. е. образование оболочки следующего инертного газа. Тот факт, что криптон занимает 18-е место после аргона, свидетельствует о том, что на 3d-уровне может находиться всего $18 - (2 + 6) = 10$ электронов. Аналогичная

* Еще до того как на основании спектрографических данных было доказано образование промежуточных оболочек, в 1920 г. Ладенбург (Ladenburg) пришел к такому же выводу на основании парамагнитных свойств и окраски ионов элементов побочных подгрупп периодической системы.

** Сказанное справедливо для нейтрального атома ванадия. В однократно ионизированном атоме ванадия на 3d-уровне находится и 22-й электрон.

закономерность наблюдается и в следующем ряду: у иттрия, как показывают ~~с~~ ральные термы, вновь начинается образование внутренней оболочки. Следовательно, начиная с иттрия, электроны распределяются на $4d$ -уровне вместо $5s$ - или $5p$ -уровня, пока общее число их не достигнет 10. Таким образом оболочка следующего инертного газа ксенона также завершается через 18 ($= 10 + 2 + 6$) элементов. В следующем (восьмом) ряду, начиная с лантана, снова заполняются внутренние электронные оболочки. В этом случае электронам предоставляются два возможных энергетических уровня с главными квантовыми числами ниже 6, а именно $4f$ и $5d$ -уровни. Следовательно, оболочка следующего инертного газа (радо́на) формируется только после завершения обеих названных «внутренних оболочек» и заполнения $6p$ -уровня. От элементов, у которых происходит образование внутренних оболочек, отличаются так называемые «переходные элементы», упомянутые в гл. I, у которых происходит заполнение d -уровней.

Наличие в восьмом ряду между лантаном и гафнием, за которым следует ряд элементов побочных подгрупп, особого промежуточного периода элементов с характерными свойствами, очень похожих на лантан (семейство лантанидов), указывает на то, что образование обеих оболочек следует друг за другом. Вначале формируется более глубокая из них, т. е. заполняется $4f$ -уровень. Это следует из того, что расположенные за лантаном элементы проявляют одинаковую с ним валентность; лишь некоторые из них паряду с валентностью три бывают двух- и четырехвалентными. То же подтверждается и анализом термов спектров. Электроны на $4f$ -уровне связаны настолько прочнее, чем на $5d$ - и $6s$ -уровнях, что только в виде исключения входят в число валентных электронов атома. Вследствие этого, пока $4f$ -уровень не завершится полностью, валентность в общем не изменяется (подробнее см. гл. 10). Можно определить, сколько элементов содержится в группе лантанидов. Следующий инертный газ, радон, у которого по аналогии с остальными инертными газами должно быть два электрона на $6s$ - и шесть электронов на $6p$ -уровне, удален от предшествующего инертного газа — ксенона на 32 места. Подобно $3d$ и $4d$ -уровням $5d$ -уровень, отвечающий образованию нижнего ряда элементов, составляющих «побочные подгруппы», должен содержать 10 электронов. Следовательно, число элементов в группе лантанидов на основании теории строения атома должно равняться $14 (= 32 - [10 + 2 + 6])$. Действительно, лантанидный характер проявляют точно 14 элементов, следующих за лантаном; порядковый номер последнего 71. Следующий элемент — гафний (порядковый номер 72), является уже не лантанидом, а подобно самому лантану обладает свойствами элемента побочной подгруппы. Гафний входит в ряд из 10 элементов побочных подгрупп третьего большого периода. К этому ряду принадлежат: лантан (порядковый номер 57), гафний (72) и следующие за ним элементы, включая ртуть (80).

Наконец, в ряду, возглавляемом радием, следует ожидать аналогичного заполнения «внутренних оболочек». В то время как у радия (порядковый номер 88) наиболее подвижные электроны в невозбужденном атоме находятся на $7s$ -уровне, начиная с актиния (порядковый номер 89), наблюдается заполнение d -уровня, а именно $6d$ -уровня. Вследствие этого актиний также носит характер переходного элемента, а за ним начинается новый ряд элементов, входящих в побочные подгруппы.

В этом ряду у элементов происходит заполнение $5f$ -уровня. По данным Сиборга (1949), оно начинается непосредственно за актинием, т. е. у тория (порядковый номер 90). Более поздние исследования*, однако, свидетельствуют о том, что заполнение $5f$ -уровня начинается, по-видимому, только у нептуния (порядковый номер 93) или у плутония (94). В обоих случаях оно ведет к появлению еще одной обособленной группы элементов, подобно тому как заполнение $4f$ -уровня привело к появлению семейства лантанидов. Эту группу элементов, характеризующихся заполнением $5f$ -уровня, называют семейством *актини́дов***.

* Ср., например: J. K. Dawson, *Nucleonics*, 10, № 9, 39 (1952); *Angew. Chem.*, 65, 485 (1953).

** Предложенное Сиборгом наименование *актини́ды*, т. е. «элементы, подобные актинию», выражает как сходство элементов этой особой группы с актинием, так и аналогию с элементами семейства лантанидов. Вначале этот термин распространяли на весь ряд следующих за актинием элементов. После того как Даусоном было показано, что заполнение $5f$ -уровня начинается только у нептуния или плутония, возникло сомнение, можно ли в этом смысле элементы тория, протактиния и урана также называть «актинидами». Для всего ряда элементов от актиния до элемента 103 целесообразно употреблять выражение *элементы актиниевого ряда*. Элемент 103 еще не открыт***, однако на основании теории строения атома можно предположить, что на нем закончатся заполнение $5f$ -уровня.

*** В 1961 г. был синтезирован изотоп элемента 103, названного *лоуренсием*. — Прил. ред.