

В данном разделе сборника сделана попытка конкретизации многочисленных связей периодического закона с различными областями науки, искусства, современной техники. Такой расширительный подход к периодическому закону способствует решению одной из важнейших проблем современного высшего образования—его фундаментализации.

Предлагаемые в данном разделе вопросы и задачи разбиты на две группы: целью первой из них является попытка выявления связей периодического закона с проблемами некоторых естественных наук; вторая группа вопросов посвящена выявлению менее очевидных, но в то же время объективно существующих связей этого закона с философско-гуманитарной областью.

Сверхзадачей настоящего раздела сборника является стимулирование познавательной активности студентов, попытка через периодический закон приобщить их к общекультурным и философским вопросам. При этом предпочтение отдается не столько количеству поставленных вопросов, сколько попытке выявления идей периодичности там, где они присутствуют в неявном, скрытом виде.

Идеи периодического закона в кристаллохимии, геохимии, физике

4.1. Для того чтобы проследить за изменением свойств веществ с изменением их химического состава, в химии применяется сопоставление свойств в рядах аналогов. Известный немецкий геохимик и кристаллохимик В. Гольдшмидт первым предложил сопоставлять свойства вещества в так называемых изоэлектронных рядах.

В качестве примера приведем ряд полупроводников:



В бинарных соединениях атомы равноудалены от германия в периодической таблице.

Составьте аналогичные ряды, взяв в качестве первого элемента ряда C; GeSi; SiO₂, и докажите, пользуясь справочной литературой, близость электрофизических (полупроводниковых) и структурных свойств приведенных Вами веществ.

4.2. В 1926 г. Г. Гримм и А. Зоммерфельд сформулировали правило, названное впоследствии «правилом Гримма и Зоммерфельда». Они установили, что бинарные соединения кристаллизуются в тетраэдрической структуре с близкими па-

4. ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН, ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И КУЛЬТУРЫ

Периодический закон Д. И. Менделеева является одним из основополагающих законов природы, фундаментом учения о веществе. Вот уже более века он выступает не только как концентрированное отображение химической конкретики, но и как неисчерпаемый источник для размышлений ученых самых различных, порой не связанных непосредственно с химией, областей науки, а также деятелей культуры. Дело в том, что идея периодичности, являясь своеобразным выражением всеобщей гармонии мира, в явном или неявном виде пропитывает все области человеческого знания. Как любое фундаментальное открытие, периодический закон обогащает не только сокровищницу знаний собственно химии и сопредельных наук, но и множеством незримых нитей связан со всем знанием и опытом человечества, являясь неотъемлемой частью культуры.

раметрами решетки, если они образованы атомами, равноотстоящими от четвертой группы периодической системы. Так, α -Sn, InSb, CdTe, AgI имеют одну и ту же структуру алмаза и близкие периоды решетки: 0,6489; 0,6479; 0,6482; 0,6502 соответственно.

Предскажите структуры следующих соединений: BN, BeO, LiF, равноудаленных от углерода, и AlP, MgS, NaCl, равноудаленных от кремния.

Что можно сказать о характере изменения свойств соединений и структуры в этих рядах? Как изменяется характер химической связи в соединениях по мере удаления от исходного элемента?

4.3. Как известно, SiO_2 характеризуется следующей цепочкой полиморфных превращений:

870 °C 1470 °C 1720 °C
кварц \longrightarrow тридимит \longrightarrow кристобалит \longrightarrow плавление.

Оказывается, что кристаллы фосфата алюминия изоструктурны всем модификациям кварца. При этом схема фазовых превращений имеет вид:

815 \pm 4 °C 1025 \pm °C 1600 °C
форма \longrightarrow форма \longrightarrow форма \longrightarrow плавление.
кварца тридимита кристобалита

Попытайтесь объяснить эту удивительную аналогию. Какие еще соединения могут быть изоструктурны кварцу и его модификациям? Укажите возможные составы.

4.4. Периодический закон лежит в основе геохимических классификаций элементов. Все химические элементы подразделяются на четыре основные геохимические группы: литофильные, халькофильные, сидерофильные и атмосферные. В особую группу иногда выделяют элементы биофильные, склонные концентрироваться в живых организмах.

Название «литофильные» происходит от греческих слов «литос» (камень) и «филео» (любовь). Эти элементы имеют специфическое сродство к кислороду и в условиях земной коры образуют кислородсодержащие минералы (оксиды, гидроксиды, соли кислородных кислот). Сюда относятся 53 элемента Li, Be, B, C, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, I, Cs, Ba, Hf, Ta, W, At, Fr, Ra, Ac, Th, Pa, U, PЗЭ.

Халькофильные элементы (их название происходит от греческого слова «халькос» — медь) имеют склонность давать природные соединения с серой и ее аналогами по периодической системе — селеном и теллуром. К числу халькофильных

элементов относятся: S, Cu, Zn, Ga, As, Se, Ag, Cd, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po.

Сидерофильные элементы («сидерос» — камень) растворяются в железных расплавах и дают сплавы с железом. Большинство сидерофильных элементов свойственно самородное состояние. К их числу относятся 11 следующих элементов: Fe, Co, Ni, Mo, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt.

И, наконец, атмосферные элементы («атмос» — пар, испарение) — это элементы, характерные для атмосферы: это все инертные газы, азот, водород (кислород не входит в число атмосферных элементов).

а) Какие основные особенности электронной структуры элементов каждой из групп Вы могли бы отметить?

б) Атомный объем — это величина, которая получается при делении относительной атомной массы на плотность элемента либо как произведение относительной атомной массы на удельный объем.

Пользуясь справочными данными, постройте кривую атомных объемов как функцию заряда ядра. Где на этой кривой располагаются элементы каждой из геохимических групп?

4.5. Геохимическая классификация элементов по Гольдшмидту (см. предыдущую задачу) предопределяет их химическую дифференциацию в жидких расплавленных системах, прообразом которых может служить шихта в доменных печах.

Известно, что при плавлении вещества в домне происходит следующее разделение: горячие газы выделяются вверх и наружу, наверх всплывает шлак, под шлаком скапливаются сульфиды, а металлическое железо стекает вниз, т. е. происходит химическое разделение элементов на атмосферные (газовая фаза), литофильные (шлак — скопление оксидов), халькофильные (сульфидная фаза) и сидерофильные (металлическая фаза).

Конкретизируйте приведенную выше аналогию, рассмотрев процессы, которые происходят при плавлении шихты из кокса и сульфидных руд.

4.6. Явление изоморфизма было открыто Митчерлихом в 1819 г. Д. И. Менделеев внес существенный вклад в учение об изоморфизме. В своей магистерской диссертации «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу», опубликованной в 1856 г., он приводит и рассматривает большой список (42 случая) «классических изоморфов», использованных Митчерлихом для обоснования явления изоморфизма. В изложении Д. И. Менделеева явление

изоморфизма характеризуется следующим образом: «... в некоторых случаях известное число атомов одного вещества может быть заменено тем же числом атомов другого, без перемены формы. Митчерлих назвал это явление изоморфизмом, а вещества, обладающие одинаковой формой и составленные из одинакового числа атомов, изоморфными, т. е. тождественными, ибо «изос» значит подобный, тождественный, а «морфэ»—вид, форма. Изоморфами или телами изоморфическими начали также называть соединения, которые при замене друг другом не изменяют формы соединений. Например, горькая соль есть соединение изоморфное с цинковым купоросом*».

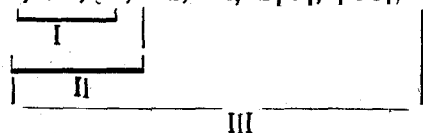
Важным шагом в учении об изоморфизме является переход от представления об изоморфизме кристаллов в духе Митчерлиха к представлению об изоморфизме элементов, входящих в состав природных изоморфных смесей-кристаллов. В 1909 г. В. И. Вернадский в своей речи «Парагенез химических элементов в земной коре» выдвинул и обосновал свои известные «природные изоморфные ряды элементов». По Вернадскому, «изоморфный ряд элементов ... ряд, аналогичные соединения элементов которого дают изоморфные смеси, т. е. способны давать взаимно растворы в твердом состоянии».

Ниже приведены эти 18 изоморфных рядов элементов.

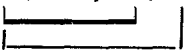
На основании известных функциональных связей между элементами периодической системы проанализируйте эти ряды. Какие основные выводы Вы могли бы сделать о сходстве и различии элементов и их соединений, их способности к изоморфизму?

Природные изоморфные ряды В. И. Вернадского (здесь I — кора выветривания; II—область метаморфизации; III—глубокие слои литосферы):

1. Al, Fe, Cr, Mn, Ti, B|Y|, |Ce|, V

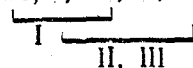


2. Ba, Ca, Sr, Pb

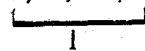


*То есть $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ изоморфно $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$.

3. Br, I, Cl, F, OH.



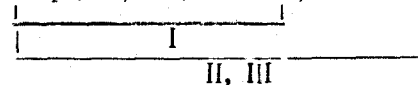
4. V, P, As, Sb?



5. B, Sb, As



6. NH_4^+ , K, Na, Cs, Rb, Tl, Li, H



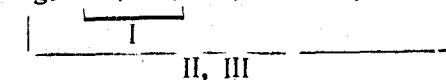
7. W, Mo



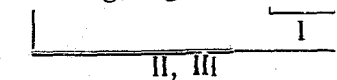
8. Ge, Sn



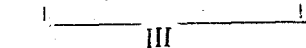
9. Mg, Mn, Fe, Zn, Be? Cd, Cu, Ni, Co



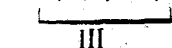
10. Au, Ag, Hg, Cu, Pb, Tl



11. Pt, Fe, Pd, Ir, Rh, Cu



12. Os, Ru, Rh, Ir



4.7. Правило равенства ионных радиусов при всей огромной роли, которую оно играет в объяснении процессов изоморфизма, не является исчерпывающим и универсальным. Известны многие пары элементов, обладающие одинаковыми ионными радиусами, но никогда не образующие изоморфные смеси:

Na(0,098 нм) — Cd(0,099 нм);
 Na(0,098 нм) — Cu(0,098 нм);
 K(0,133 нм) — In(0,130 нм);
 Sc(0,083 нм) — Zn(0,083 нм);

а) Объясните отсутствие изоморфных смесей перечисленных пар элементов.

б) Как согласуется с Вашим суждением следующий поразительный факт: совершенный изоморфизм наблюдается между катионами Si^{4+} (0,039 нм) и Ti^{4+} (0,064 нм), ионные радиусы которых значительно отличаются?

4.8. В одной из монографий по проблеме сверхпроводимости читаем: «В последние годы было открыто большое количество новых сверхпроводящих элементов (табл. 36, 37). Среди них большую часть составляют металлические элементы, которые являются сверхпроводниками при низких температурах. В условиях высоких давлений сверхпроводниками являются некоторые непереходные элементы (Si, P, Ge, As, Se, Sb, Te, Bi) и ряд металлов (Y, Cs, Ba). Несколько новых сверхпроводников (например, Li, Cs, Cr, Si, Ge, Pr, Nd, Eu, Yb) были обнаружены в тонких пленках. По мнению известного физика Маттиаса, в настоящее время сложилась такая ситуация, когда вместо вопроса: «Почему некоторые элементы становятся сверхпроводниками?» следует задаться выяснением другого вопроса: «Почему не все элементы периодической системы являются сверхпроводниками?»

Выясните особенности распределения сверхпроводящих элементов по группам и периодам периодической таблицы. Какие элементы не являются сверхпроводниками? Какие особенности их электронного строения Вы могли бы отметить? Подчиняется ли температура сверхпроводящего перехода (T_c) периодическому закону?

4.9. Известно, что медь и серебро образуют оксиды CuO и AgO , а соединения AuO не существует. В CuO медь находится в степени окисления +2, а AgO содержит Ag^+ и Ag^{3+} . Тенденция к диспропорционированию усиливается при продвижении вниз по группе настолько сильно, что соединения, которые могли бы содержать Au^{2+} , в действительности всегда содержат смесь Au^+ и Au^{3+} . Диспропорционирование Cu^{2+} в оксидных системах никогда не обнаруживалось. Можно предположить, что при увеличении ковалентности связей $Cu^{2+}-O$ возникает ситуация, когда диспропорционирование станет возможным. В ряду соединений A_2CuO_4 , обла-

Таблица 36

Элемент	T_c , К	H_0 , Э
Al	1,175	104,9
Be	0,026	
Cd	0,52	29,6
Ga	1,08	59,3
Ga(β)*	5,9—6,2	560
Ga(γ)	7,62	950
Ga(δ)	7,85	815
Hg(α)	4,15	411
Hg(β)	3,95	339
In	3,40	285,5
Ir	0,11—0,14	19
La(α)	4,88	808
La(β)	6,0	1,09
Lu	0,1	
Mo	0,916	90—98
Nb	9,25	1920
Os	0,655	65
Pa	1,4	
Pb	7,23	803
Re	1,697	188—211
Ru	0,493	66
Sb	2,6—2,7	
Sn	3,721	305
Ta	4,47	831
Te	7,78	1410
Th	1,39	159
Ti	0,39	56—100
Tl	2,39	181
V	5,43	1100—1400
W	0,0154	1,15
Zn	0,875	55
Zr	0,53	47
Zr(ω)	0,65	

Таблица 37

Элемент	T_c , К	P, кбар
As	0,31—0,50	220—140
Ba(II)*	1,3	55
Ba(III)	3,05	88
Ba(III)	5,2	>140
Bi(II)	3,91	25
Bi(III)	6,55	37
Bi(IV)	7,0	43—62
Bi(V)	8,3	81
Bi(VI)	8,55	90—101
Ce	1,7	50
Cs	1,5	>125
Se(II)	6,95	130
Si	6,7—7,1	120
P	4,7—5,8	100—170
Sb	3,40	150
Te(II)	2,05	43
Te(III)	4,28	70
Te(IV)	4,25	84
U	2,3	10
Y	1,2—2,7	120—170

* Обозначения в скобках отвечают различным полиморфным модификациям.

* Обозначения в скобках соответствуют различным структурным модификациям.

T_c — температура сверхпроводящего перехода; H_0 — напряженность критического поля.

дающих высокотемпературной сверхпроводимостью, ковалентность связей $\text{Cu}-\text{O}$ возрастает с увеличением электроположительности катиона А. т. е. с увеличением ионности связей.

С помощью таблицы значений электроотрицательностей (прил., табл. 5) «сконструируйте» составы, обладающие наибольшей ионностью связи $\text{A}-\text{O}$ и, возможно, высокотемпературной сверхпроводимостью.

4.10. Ионы Cu^+ и Ag^+ имеют тенденцию к двукратной линейной координации ионов кислорода и образуют изоструктурные оксиды Cu_2O и Ag_2O . При переходе от Cu_2O к Ag_2O ширина запрещенной зоны сужается; по-видимому, при дальнейшем переходе к гипотетическому соединению Au_2O запрещенная зона сужается настолько сильно, что это соединение не образуется. Это изменение в ряду $\text{Cu}-\text{Ag}-\text{Au}$ можно рассматривать как отражение роста ковалентности связей металл—кислород вниз по группе периодической таблицы.

С какими физическими и физико-химическими свойствами коррелирует изменение ширины запрещенной зоны? Ответ иллюстрируйте графиками.

4.11. Существует несколько гипотез о происхождении нашей Солнечной системы. Одна из них, которую современные астрономы считают наиболее обоснованной, предполагает, что Солнце и планеты образовались из рассеянного в космическом пространстве вещества—космической пыли—в результате процесса ее постепенного сгущения и разогревания. Автор этой гипотезы — советский ученый-математик и знаменитый исследователь Арктики О. Ю. Шмидт. Хотя астрономия много знает о Солнце и звездах, но проблема происхождения атомов различных элементов пока не решена.

Атомы рождаются в звездах. Этот удивительный процесс начинается с превращения водорода в гелий. Предполагается, что именно эта реакция и служит источником энергии Солнца, которое на 75 % состоит из водорода, на 24 % из гелия и лишь 1 % приходится на все остальные атомы.

Схематически представьте уравнения ядерного синтеза гелия. По каким уравнениям протекает ядерный синтез других элементов, например лития и натрия?

4.12. Существует точка зрения, что углерод не является необходимой основой для соединения, функционирующих в живых организмах, что в иных условиях, на других планетах, быть может, вне нашей Галактики, возможно существование жизни на безуглеродной основе. Еще в 1909 г. Рейнольдсом была высказана версия о возможности существования жизни

на основе соединений кремния—ближайшего соседа углерода в таблице Д. И. Менделеева.

а) Почему ученые допускают такую возможность?

б) В чем близость и отличие химии углерода и кремния?

Для ответа на этот вопрос проведите широкое сопоставление типов соединений, образуемых углеродом и кремнием, их строения и свойств. Обратите внимание на поразительные аналогии в способностях атомов углерода и кремния образовывать цепи и циклы, образовывать связи с гетероатомами (сера, азот и др.), формировать полимеры.

в) Объясните причины многообразия химических связей углерода и кремния, сопоставьте энергетический запас химической энергии, активность в воде и способность давать коллоидные системы.

г) Сравните физико-химические условия устойчивого существования соединений углерода и кремния, обратив внимание на способность органических соединений к спонтанному окислительно-восстановительному диспропорционированию.

4.13. В табл. 38 представлены биологически активные элементы. Проанализируйте положение этих элементов в периодической системе по следующему плану:

а) Наблюдается ли какая-нибудь закономерность в расположении биоэлементов в периодической системе?

б) Как приблизительно изменяется содержание биоэлементов в организмах в группах элементов в зависимости от атомного номера ($\text{C}-\text{Si}$, $\text{N}-\text{P}-\text{As}$, $\text{O}-\text{S}-\text{Se}$)?

в) Какой из ионов галогенов содержится в организмах в наибольших количествах?

г) Биохимические свойства ионов натрия и калия отличаются весьма существенно. В большинстве случаев калий относится к внутриклеточным элементам, а натрий — к внеклеточным. Главная причина заключается в резком различии радиусов ионов Na^+ и K^+ (~35%). Чем объяснить, что при полной замене K^+ на Rb^+ животные могут жить некоторое время?

д) Какие биохимические свойства можно ожидать от Sr , Sn , Sb , Te ?

е) Где группируются в периодической системе токсические элементы и какие из них с точки зрения их положения в системе представляют собой исключения?

ж) Какие еще закономерности, связывающие биохимические свойства элементов с их положением в периодической системе, Вы можете отметить, анализируя таблицу?

Периоды	Г Р У П П Ы																	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII						
1	(H)																	
2	Li м	Be т							B б	C б	N б	O б	F б	Ne				
3	Na б	Mg б								Al б	Si б	P б	S б	Cl б	Ar б			
4	K б	Ca б	Sc	Ti б	V б	Cr б	Mn б	Fe б	Co б	Ni б	Cu б	Zn б	Ge м	Ga м	As б	Se б	Br б	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo б	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag м	Cd т	In	Sn	Sb	Te	I б	Xe
6	Cs	Ba т	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt м	Au м	Hg т	Tl т	Pb т	Bi м	Po	At	Rn

Условные обозначения: б — биоэлементы; т — токогенные элементы;
м — элементы, соединения которых применяются в медицине.

Периодический закон как составная часть мировой культуры

4.14. В научной литературе (труды С. А. Шукарева) высказывалась мысль о необходимости расширения понятия периодичности до более общего и свободного для вариаций представления о ритмике. Под ритмикой вообще наука понимает единство целого, состоящего из внутренне согласованных между собой, соразмерных по своему объему и стройных по форме частей, имеющих строго продуманное содержание. Специалисты находят ритмику в архитектуре высокохудожественных зданий, в поэтических произведениях, в танцах и, конечно, в музыке — например, в трехчастной по композиции симфонии, состоящей из прелюдии, средней части и заключительной коды; симфонии, содержащей внутреннее согласование (контрапункт) хода отдельных сопровождающих друг друга мелодий, партий отдельных инструментов и человеческих голосов.

Если распределить атомные электроны нейтральных атомов на два типа — поверхностные, т. е. s- и p- (или в научной литературе «дор-электроны» — от греческого «дор», что означает «поверхностная кожа предмета») и глубинные, т. е. d-, f- и g- («бент-электроны», по-гречески «глубокие»), то можно увидеть ритмику как в строении периодов системы, так и в ходе важнейших атомных свойств: орбитальных радиусов (r_{orb} s-, p-, d-, f-, g-электронов) и их ионизационных потенциалов (I_n).

Для того, чтобы убедиться в этом, постройте графики $r_{orb} = f(z)$ и $I_n = f(z)$ для всех элементов периодической системы в целом, воспользовавшись справочными данными приложения.

4.15. В одном из сочинений Д. И. Менделеева встречаем загадочную, полную не раскрытого еще смысла мысль о том, что видимое неисчерпаемое и кажущееся хаотическим богатство изменчивых химических индивидуальностей подчиняется общей гармонии природы. Он писал: «... В атомах одновременно открывается и своеобразность индивидуальности, и беспредельная повторяемость особой, и подчиненность кажущегося произвола индивидуумов общему гармоническому порядку Природы».

Как Вы понимаете эту мысль Д. И. Менделеева? Приведите химические факты «своеобразности индивидуальности и беспредельной повторяемости особой».

4.16. А. Эйнштейна однажды спросили: «Вы верите в Бога?» «Я верю в бога Спинозы, который постигается в гармонии всего сущего» — был ответ ученого.

В чем, по Вашему мнению, состоит гармония и дисгармония периодической системы?

Интересно, что Ньюлэндс, предваря открытие Д. И. Менделеева, в своей таблице расставил 62 элемента в порядке возрастания эквивалентных весов; при этом оказалось, что номера аналогичных элементов отличаются друг от друга на величину, равную 7, или величину, кратную 7. Иными словами, наблюдается такая же картина, как и в музыке — восьмая нота повторяет первую. Поэтому свое расположение элементов он назвал «законом октав». Один из наиболее ярких исследователей периодического закона профессор С. А. Щукарев ввел в теорию закона целый ряд музыкальных терминов: «ритмы периодической системы», «прелюдии», «коды» и т. д.

Какие поэтические, музыкальные, архитектурные образы ассоциируются у Вас с творением Д. И. Менделеева?

Какие общекультурные параллели связаны для Вас с периодическим законом и периодической системой?

4.17. Великий немецкий философ И. Кант писал: «Две вещи наполняют душу всегда новым и все более сильным удивлением и благоговением, чем чаще и продолжительнее мы размышляем о них, — это звездное небо надо мной и моральный закон во мне».

Размышляя над словами философа, Д. И. Менделеев отметил: «Канту казалось, что в мире есть два предмета, постоянно вызывающих людское удивление и благоговение: нравственный закон внутри нас и звездное небо над нами. Вдумываясь в природу элементов и в периодический закон, следует сюда присовокупить третий предмет — природу элементарных индивидуумов, рядом фактов всюду выраженную...»

Попытайтесь пояснить слова Д. И. Менделеева. В чем состоит чудо «природы элементарных индивидуумов»?

4.18. На протяжении более ста лет периодическая система служит пищей для размышления ученых, музыкантов, литераторов; по аналогии создаются периодические системы ядер и элементарных частиц в физике, таблицы простых чисел в математике, химики работают над периодической системой химических соединений, «Менделеевым в биологии» называют академика Н. И. Вавилова, который создал систему гомологических рядов растений. Академик Л. В. Щерба раз-

работал классификацию звуков — своего рода «фонетическую таблицу Менделеева». Так же как и великий русский химик, он оставил в своей системе пустые клетки для тех звуков, которые пока не известны, но обязательно должны существовать в языках мира. Некоторые исследователи-композиторы провели разбивку таблицы элементов на ритмические единицы и пытаются установить соответствие отношений этих единиц числам музыкального звукоряда. Писатели-фантасты делают попытку распространить периодический закон на любые объекты, встречающиеся в обозримой Вселенной.

Приведите известные Вам необычные применения идеи периодического закона в различных областях культуры, науки, техники.

Критически относясь к известным Вам фактам, подумайте, в чем заключается притягательная сила периодического закона и периодической системы, заставляющая вновь и вновь ученых, деятелей культуры и техники обращаться к этому великому достижению человеческой мысли?

4.19. XIX век — необыкновенный век в истории русской и мировой культуры. В сокровищницу знаний и опыта русскими учеными и писателями внесены открытия, поражающие воображение своей глобальностью, глубиной, масштабностью и универсальностью. Стиль мышления, рассматривающий объект изучения как целое в его взаимосвязях со средой, с Космосом, получил название «русский космизм». Одним из ярких представителей русского космизма был библиотекарь Румянцевского музея, мыслитель-утопист Н. Ф. Федоров предложивший в основном своем сочинении «Философия общего дела» идею регуляции природы средствами науки и техники (высшая цель регуляции — воскрешение предков; путь к нему лежит через овладение природой, переустройство человеческого организма, освоение Космоса). Важнейшую роль в развитии идей космизма сыграла русская художественная литература, представленная прежде всего именами Ф. М. Достоевского и Л. Н. Толстого. «Я есмь» перед лицом Вселенной — один из основных лейтмотивов творчества Ф. М. Достоевского. Выдающимися представителями русского космизма в естествознании были И. М. Сеченов, Д. И. Менделеев, К. Э. Циолковский, В. И. Вернадский. Так, И. М. Сеченов — один из основоположников современной психологии и физиологии — изучал человека как единое целое его духовного, психического и физиологического бытия.

Мы называем эпохой ноосферы тот этап развития биосферы, на котором ответственность за дальнейшую судьбу жизни на Земле принимает на себя человек. Учение о ноосфере неразрывно связано с именем В. И. Вернадского.

Имя русского мыслителя, ученого К. Э. Циолковского широко известно, прежде всего, как имя одного из основоположников научной космонавтики. Однако наряду с научно-техническими аспектами освоения Космоса К. Э. Циолковский разрабатывал «космическую философию» о месте разума и его ответственности за Землю и Вселенную.

В ряду этих выдающихся имен достойное место принадлежит Д. И. Менделееву.

Почему периодическая система является одним из наиболее ярких примеров русского космизма? Какие аспекты теории периодического закона и периодической системы связаны с общенаучными проблемами (какими?) Вселенной?

В чем, по Вашему мнению, мировоззренческое значение периодического закона и периодической системы?

УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ

1.12. В таблице Н. А. Морозова есть химически малоактивные предельные углеводороды, а в системе Д. И. Менделеева в то время не было аналогичных им инертных газов. Н. А. Морозов предсказал: в природе должны существовать инертные элементы, что это газы и искать их следует в воздухе.

В 1893 году, продолжая находиться в заключении, Н. А. Морозов узнает из газет, что английский ученый У. Рамзай открыл в воздухе инертный газ аргон. Вскоре последовало открытие и других инертных газов. Последний из них—радон, был открыт в 1901 году.

1.14. В качестве примера рассчитаем среднюю атомную массу никеля с учетом содержания в нем природных изотопов:

$$67,88 \times 0,5793 = 39,3229$$

$$26,23 \times 0,5993 = 15,7196$$

$$1,18 \times 0,6093 = 0,7251$$

$$3,66 \times 0,6193 = 2,2666$$

$$1,08 \times 0,6393 = 0,6904$$

$$\text{Сумма } 58,7246 \approx 58,72 \text{ а. е. м.}$$

Атомная масса кобальта, состоящего только из одного природного изотопа, равна 58,93 а. е. м. Сопоставление показывает, что средняя атомная масса кобальта больше, чем у никеля, что обусловлено своеобразным изотопным составом последнего. Аналогичный расчет средней атомной массы теллура показывает, что она больше, чем атомная масса единственного природного изотопа иода.

1.47. Хлориды бора и кремния гидролизуются необратимо и полностью до соответствующей кислоты (борной или кремниевой) и хлороводорода. Хлорид алюминия подвергается гидролизу обратимо, давая в качестве продуктов гидролиза смесь основных солей. Напишите уравнения соответствующих реакций.

2.3. Пример расчета для гидрида и фторида бериллия:
 BeH_2 : степень ионности = $16(2,2-1,5) + (2,2-1,5)^2 \approx 13\%$
 BeF_2 : степень ионности = $16(4,0-1,5) + 3,5(4,0-1,5)^2 \approx 62\%$.

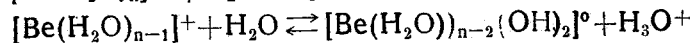
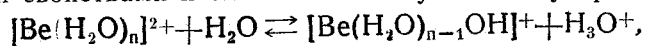
2.16. Вероятно, решающее значение в уменьшении устойчивости кристаллогидратов имеет дисперсионная составляющая, уменьшающаяся по своей величине при переходе к атомам малого радиуса и потому более «жестким», т. е. в мень-

шей степени подверженным смещениям электронных оболочек относительно ядра.

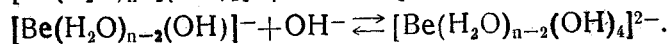
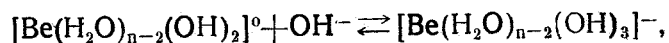
2.17. б) Существование комплексных аммиаков в водных растворах для лития объясняется тем, что ион Li^+ среди щелочных металлов обладает наиболее сильным ионным полем и наибольшим поляризующим действием, что существенно увеличивает силу электростатического притяжения к нему полярных молекул аммиака. Убедитесь в этом, вычислив ионные потенциалы e/r^2 для ионов щелочных металлов и разность ионных потенциалов при переходе от одного катиона к другому в подгруппе.

2.18. Очевидно, для щелочноземельных элементов по сравнению с щелочными металлами в целом можно ожидать повышения способности к комплексообразованию. Это зависит как от увеличения силы ионного поля, приближенно определяемого в данном случае выражением $2e/r^2$, так и от того, что у этих элементов ковалентная составляющая может уже играть заметную роль.

2.19. В водных растворах катионы бериллия существуют в виде аквакомплекса $[\text{Be}(\text{H}_2\text{O})_n]^{2+}$, обладающего кислотными свойствами и способного к ступенчатому протолиту:



В щелочной (аммиачной) среде эти равновесия смещаются в прямом направлении с образованием комплексных гидроксоанионов:

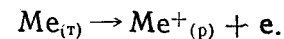


2.20. Ионный потенциал катиона бора B^{3+} так велик и настолько отличается от ионных потенциалов его групповых аналогов, что в водных растворах не образует аквакомплексов, так как силой своего поля вызывает деструкцию молекул воды, давая с ними гидроксо- или даже оксокомплексы.

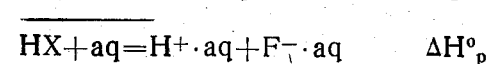
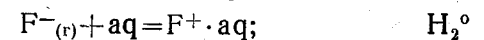
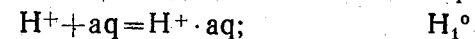
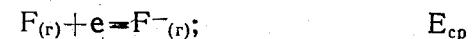
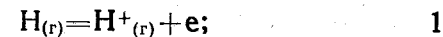
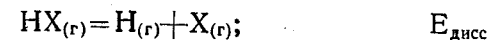
2.21. Ионы щелочных металлов, галогенов и инертные газы имеют одинаковую по своей структуре завершенную восьмиэлектронную оболочку, что и является причиной их низкой способности образовывать комплексные соединения.

3.6. Это главным образом связано с тем, что катионы лития, имея малый радиус по сравнению с другими катионами щелочных металлов, в наибольшей степени подвержены

гидратации. Сильно экзотермический эффект гидратации катиона лития способствует переходу его из металла в раствор. Чтобы лучше разобраться в этом вопросе, составьте термодинамический цикл для процесса



3.14. Процесс диссоциации можно представить в виде последовательности этапов:



Отсюда:

$$\Delta \text{H}^0_p = E_{\text{дисс}} + I + E_{\text{ср}} + \Delta \text{H}_1^0 + \Delta \text{H}_2^0 =$$

$$= E_{\text{дисс}} + E_{\text{ср}} + \Delta \text{H}_2^0 + (I + \Delta \text{H}_1^0) =$$

$$= E_{\text{дисс}} + E_{\text{ср}} + \Delta \text{H}_2^0 + 196, \text{ кДж/моль.}$$

б), в). Результаты расчетов представлены в таблице:

Параметры	HF	HCl	HBr	HI
H^0 , кДж	-38	-76	-96	-113
$\text{T}\Delta \text{S}^0$, кДж	-50	-34	-46	-59
ΔG^0_p , кДж	+12	-42	-50	-54
pK_A (вычисл.)	2	-7	-9	-9,5

Сравнение вычисленных значений pK_A (вычисл.) с экспериментальными (см. табл. 20) показывает их хорошее совпадение. Это свидетельствует о том, что все составляющие процесса учтены правильно и что подобный метод расчета может служить теоретическим обоснованием изменения силы бескислородных кислот элементов одного и того же периода.

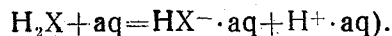
г). Расчет и найденные значения ΔH^0_p показывают, что основное влияние на величину ΔG^0_p и, следовательно, на силу кислот оказывает энергия диссоциации $E_{\text{дисс}}$ молекул HX , абсолютное значение которой велико и изменяется в ряду кислот также значительно. Существенный, но меньший, вклад вносит и энергия гидратации ионов X^- . Что же каса-

ется величин $E_{ср}$ и энтропийного фактора $T\Delta S^\circ$, то они в ряду рассматриваемых кислот изменяются незначительно, а потому их вклад не имеет решающего значения.

Следует ожидать, что и в других группах периодической системы, где возможно образование бинарных бескислородных кислот, их сила должна возрастать с ростом атомного номера кислотообразующего элемента. Так, показатели констант кислотности для кислот H_2X , образуемых р-элементами VI группы, имеют следующие значения:

H_2X	H_2O	H_2S	H_2Se	H_2Te
pK_A (эксп.)	14	7,0	3,6	2,6

(здесь представлены показатели констант кислотности, соответствующих первой ступени диссоциации:



3.15. Изменение упомянутых характеристик в ряду от азота до фтора представлено в таблице:

Характеристика	NH_3	H_2O	HF
Атомный радиус, $r_{ат}$, нм	0,052	0,045	0,040
Ионный радиус, $r_{ион}$, нм	0,015	0,014	0,013
Электроотрицательность	3,07	3,50	4,00
Дипольный момент μ , D	1,46	1,84	1,91

Как следует из данных таблицы, изменение атомных и ионных радиусов трудно увязать с увеличением силы кислот. Напротив, наблюдается хорошая и вполне объяснимая корреляция с изменением величины электроотрицательности и дипольного момента: вдоль периода электроотрицательность существенно возрастает, следствием чего является и увеличение дипольного момента молекул. Это приводит к последовательному ослаблению связи между водородом и кислотообразующим элементом, т. е. к увеличению силы кислот.

3.16., 3.19. Одно из объяснений базируется на положениях теории поляризации ионов, которая подробно освещена в учебнике Б. В. Некрасова (см. список рекомендуемой литературы).

3.24. Расчет (проделайте его) дает следующие значения образования твердых галидов серебра и кальция из ионов в водном растворе, кДж/моль:

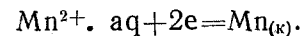
	$F^-_{(p)}$	$Cl^-_{(p)}$	$Br^-_{(p)}$	$I^-_{(p)}$
$Ag^+_{(p)}$	+16	-55	-63	-91
$Ca^{2+}_{(p)}$	-56	+68	+97	+128

Полученные результаты находятся в полном соответствии с тем экспериментальным фактом, что в ряду $AgCl - AgBr - AgI$ растворимость галидов резко уменьшается. Фторид серебра растворим, о чем свидетельствует положительное значение ΔG°_{298} для $AgF_{(т)}$. Для галидов кальция наблюдается обратное явление: нерастворим в воде только фторид ($\Delta G^\circ_{298} < 0$), а в ряду $CaCl_2 - CaBr_2 - CaI_2$ растворимость солей увеличивается (увеличение положительных значений ΔG°_{298}).

3.41. б) Стандартный электродный потенциал E° связан с изменением энергии Гиббса уравнением

$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ.$$

Учитывая, что указанная реакция обратна по отношению к реакции образования гидратированных ионов (знак $\Delta G^\circ_f(Me^{2+}, aq)$ следует изменить на обратный), например, для реакции



имеем:

$$E^\circ_{Mn^{2+}/Mn} = -\Delta G^\circ/nF = -228,0 \cdot 10^3 / 2 \cdot 9,6 \cdot 10^4 = -1,19В.$$

Результаты расчетов сведем в таблицу:

Элемент	E° , В	
	Вычислено	Справочные данные
Mn	-1,19	-1,18
Fe	-0,47	-0,44
Co	-0,28	-0,28
Ni	-0,28	-0,25
Cu	+0,34	+0,34
Zn	-0,80	-0,76

Сопоставление показывает хорошее соответствие вычисленных значений справочным данным.

3.42. а) С увеличением числа d-электронов экранирование возрастающего заряда ядра становится эффективным и ионный радиус уменьшается. Электростатическое притяжение между ионом и диполями воды поэтому возрастает и приводит к увеличению теплоты гидратации.

Наличие максимумов на кривой объясняется тем, что все ионы, за исключением Ca^{2+} , Mn^{2+} и Zn^{2+} , дополнительно стабилизируются полем лигандов, но в разной степени, при-

чем для V^{2+} и Ni^{2+} имеет место наибольший выигрыш энергии.

б) в). Применяя указанное соотношение и учитывая электронную конфигурацию октаэдрических аквокомплексов, имеем:

Ион	Электронная конфигурация	Эффект поля лигандов			$\Delta H_{\text{корр}} = H - \Delta H_{\text{попр}}$ кДж/моль
		В единицах Δ	см ⁻¹	$\Delta H_{\text{попр}}$ кДж/моль	
Ca^{2+}	d^0	0	0	0	2466
V^{2+}	d^3, t_{2g}^3	1,2	15120	180	2595
Cr^{2+}	$d^4, t_{2g}^3 e^1_g$	0,6	8340	99	2693
Mn^{2+}	$d^5, t_{2g}^3 e^2_g$	0	0	0	2734
Fe^{2+}	$d^6, t_{2g}^4 e^2_g$	0,4	4160	50	2792
Co^{2+}	$d^7, t_{2g}^5 e^2_g$	0,8	7440	89	2824
Ni^{2+}	$d^8, t_{2g}^6 e^2_g$	1,2	10200	121	2872
Cu^{2+}	$d^9, t_{2g}^6 e^3_g$	0,6	7560	90	2907
Zn	$d^{10}, t_{2g}^6 e^4_g$	0	0	0	2930

График зависимости теплот гидратаций при отсутствии эффекта поля лигандов ($\Delta H_{\text{корр}}$) от числа d-электронов представляет собой практически прямую линию.

Сопоставление кривых $\Delta H_{\text{корр}} = f(n)$ и $r_{\text{об}} = f(n)$ показывает, что они практически представляют собой зеркальное отображение друг друга, что свидетельствует о решающем влиянии ионных радиусов на величину энергии гидратации.

3.46. Ионами, где проявляется эффект ЯТ, могут быть те, которые обладают в кубическом поле орбитально вырожден-

ным состоянием. Покажем это на примере иона с конфигурацией d^4 (например, Mn^{3+}). В промежуточном октаэдрическом поле ион с этой конфигурацией обладает наполовину заполненным t_{2g} подуровнем (t_{2g}^3) и одним электроном на подуровне e_g , состояние которого можно описать одной из двух волновых функций: $d_{x^2-y^2}$ и d_{z^2} . Если бы рассматриваемый ион вместо четырех электронов имел пять (t_{2g}^3, e_g^2), то две орбитали $d_{x^2-y^2}$ и d_{z^2} были бы заполнены и вся электронная оболочка была бы сферически симметричной. Удаление электрона с одной из этих орбиталей нарушает симметрию.

Если, например, состояние $d_{x^2-y^2}$ не заполнено, то распределение электронной плотности в заполненном d_{z^2} -состоянии таково, что ядро катиона сильнее экранируется от обоих анионов (лигандов), расположенных на оси Z, чем от анионов, лежащих в плоскости X, Y. Вследствие этого на анионы, лежащие в плоскости X, Y, действуют более значительные силы притяжения, чем на два остальных аниона, расположенных на оси Z. Это приводит к искажению решетки, возникновению вытянутого, тетрагонально деформированного октаэдра. Наоборот, если заполнено состояние $d_{x^2-y^2}$, то возникает противоположное искажение, октаэдр сокращается по оси Z. Оба искажения изображены на рис. 8.

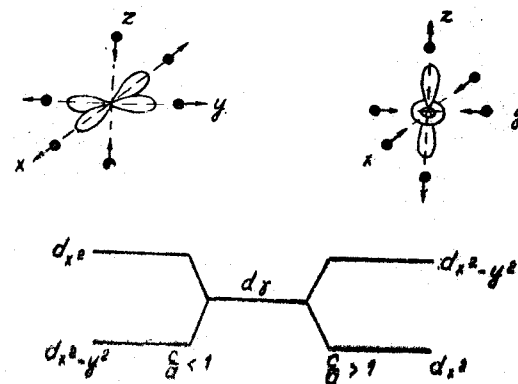


Рис. 8. Проявления эффекта Яна-Теллера

С такой же ситуацией, как у ионов с конфигурацией d^4 , мы сталкиваемся и в случае ионов с конфигурацией d^9 , а также в случае d^7 -ионов (низкоспиновое состояние, сильное

поле лигандов). Приведите примеры ионов с такими электронными конфигурациями и подробно опишите проявление для них эффекта ЯТ со всеми вытекающими из него последствиями.

Во всех указанных случаях эффект ЯТ вызывался электронами, занимающими e_g -подуровень. Однако в принципе он должен возникать и при частичном заполнении t_{2g} -подуровня, но в этом случае ориентация орбиталей t_{2g} -электронов относительно лигандов такова, что искажения, вызываемые эффектом ЯТ, незначительны. Попробуйте в этом убедиться на примерах соответствующих ионов.

Если катион находится в тетраэдрической ориентации, то орбитали t_{2g} и e_g меняются ролями: тогда большие искажения могут быть вызваны лишь t_{2g} -электронами, орбитали которых близки к отрицательно заряженным лигандам. Поэтому в тетраэдрическом поле можно ожидать появления явно выраженных искажений при наличии ионов с электронными конфигурациями d^3 , d^4 , d^8 и d^9 . Опишите эти случаи на конкретных примерах, приведите рисунки, аналогичные рис. 8, поясняющие проявление эффекта ЯТ в каждом конкретном случае.

3.48. Исходя из приведенного термодинамического цикла, имеем:

$$\Delta G^\circ = \Delta G_h^\circ(\text{Me}^{3+}, \text{r}) - \Delta G_h^\circ(\text{Me}^{2+}, \text{r}) + \Delta G_h^\circ.$$

Вычислим величину ΔG° для церия с использованием табл. 31:

$$\Delta G_{\text{Cl}}^\circ = 1949 - 3192 + 1397 - 458 = -304, \text{ кДж/моль.}$$

Рассчитаем для этого же элемента стандартный окислительно-восстановительный потенциал $E^\circ_{\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{2+}}$:

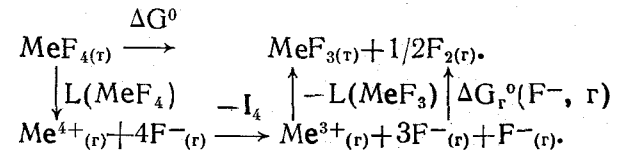
$$E^\circ_{\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{2+}} = \Delta G^\circ / F = -304 / (96487 \cdot 10^{-3}) = -3,1 \text{ В.}$$

Аналогично найдем E° для других лантаноидов. Результаты расчетов сведем в табл. 39.

Несмотря на некоторую завышенность расчетных значений по сравнению с экспериментальными, они в целом удовлетворительно коррелируют с последними.

Элемент	$E^\circ_{\text{Me}^{3+}/\text{Me}^{2+}} \text{ В}$	
	Экспериментальное значение	Рассчитанное значение
Ce	$-2,92 \pm 0,08$	-3,1
Pr	$-2,84 \pm 0,06$	-3,1
Nd	$-2,62 \pm 0,05$	-2,8
Pm	$-2,44 \pm 0,05$	-2,7
Sm	$-1,50 \pm 0,01$	-1,7
Eu	$-0,34 \pm 0,01$	-0,6
Gd	$-2,85 \pm 0,07$	-3,1
Tb	$-2,83 \pm 0,07$	-3,0
Dy	$-2,56 \pm 0,05$	-2,8
Ho	$-2,79 \pm 0,06$	-3,0
Er	$-2,87 \pm 0,08$	-3,1
Tm	$-2,22 \pm 0,05$	-2,4
Yb	$-1,18 \pm 0,01$	-1,4

3.49. Термодинамический цикл имеет следующий вид:



Учитывая, что энтропийный член $T\Delta S^\circ$ и $\Delta G_f^\circ(\text{F}^-, \text{r})$ постоянны, имеем:

$$\Delta G^\circ = \text{L}(\text{MeF}_4) - I_4 - \text{L}(\text{MeF}_3) + \text{const},$$

где $\text{L}(\text{MeF}_4)$ и $\text{L}(\text{MeF}_3)$ — энергии кристаллической решетки MeF_4 и MeF_3 соответственно; I_4 — четвертый потенциал ионизации лантаноидов.

б), в). Учитывая, что энергии кристаллических решеток в зависимости от атомного номера изменяются плавно, и к тому же в выражение для ΔG° входит их разность, можно предположить, что величина ΔG° будет в основном зависеть от I_4 . Для наглядности постройте график зависимости I_4 от атомного номера лантаноида, из которой видно, что величина I_4 — наибольшая для Ce, Pr, Tb. Из этих трех металлов ионы Ce^{4+} и Tb^{4+} имеют наиболее энергетически выгодную электронную конфигурацию (какую?), что согласуется с экспериментальными данными.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметов Н. С. Общая и неорганическая химия. М.: Высш. шк., 1987.
2. Карапетьянц М. Х., Дракин С. И. Общая и неорганическая химия. М.: Химия, 1981.
3. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Современная неорганическая химия: В 3 т. М.: Мир, 1969.
4. Некрасов Б. В. Основы общей химии: В 2 т. М.: Химия, 1973.
5. Дей К., Селбин Д. Теоретическая неорганическая химия. Пер. с англ. /Под ред. И. В. Тананаева. М.: Мир, 1968.
6. Барнард А. Теоретические основы неорганической химии. Пер. с англ. /Под ред. И. В. Тананаева. М.: Мир, 1968.
7. Грей Г. Электроны и химическая связь: Пер. с англ. /Под ред. М. Е. Дяткиной. М.: Мир, 1967.
8. Басоло Ф., Джонсон Р. Химия координационных соединений. Пер. с англ. /Под ред. К. В. Астахова. М.: Мир, 1966.
9. Химия и периодическая таблица /Под ред. К. Сайто; Пер. с яп. М.: Мир, 1982.
10. Джонсон Д. Термодинамические аспекты неорганической химии. Пер. с англ. М.: Мир, 1985.
11. Рэмсден Э. Н. Начала современной химии: Пер. с англ. Л.: Химия, 1989.
12. Браун Т., Лемей Г. Ю. Химия — в центре наук. Пер. с англ. М.: Мир, 1983. Ч. 1.
13. Дикерсон Р., Грей Г., Хейт Дж. Основные законы химии: в 2 т. Пер. с англ. /Под ред. Е. Л. Розенберга. М.: Мир, 1982.
14. Айлетт Б., Смит Б. Задачи и упражнения по неорганической химии: Пер. с англ. /Под ред. К. Н. Семеновко. М.: Мир, 1867.
15. Кемпбелл Дж. Современная общая химия: в 3 т. Пер. с англ. /Под ред. Е. М. Соколовской. М.: Мир, 1975.
16. Лидин Р. А., Аликберова Л. Ю., Логинова Г. П. Неорганическая химия в вопросах. М.: Химия, 1991.
17. Лидин Р. А., Молочко В. А., Андреева Л. Л. Задачи по неорганической химии. М.: Высш. шк., 1990.
18. Воробьева О. И., Немцова О. Г., Тамм Н. С. Вопросы, упражнения и задачи по неорганической химии. М.: Изд-во МГУ, 1975.
19. Витинг Л. М., Резницкий Л. А. Задачи и упражнения по общей химии. М.: Изд-во, МГУ, 1976.
20. Зайцев О. С. Познавательные задачи по общей химии. М.: Изд-во МГУ, 1982.
21. Корольков Д. В. Электронное строение и свойства соединений переходных элементов. СПб.: Химия, 1992.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1
Орбитальные радиусы атомов
Горб, нм

Поряд- ковый номер	Атом	1s	2s	2p
1	H	0,053		
2	He	0,029		
3	Li	0,019	0,159	
4	Be	0,014	0,104	
5	B	0,011	0,0771	
6	C	0,009	0,062	0,060
7	N	0,078	0,052	0,049
8	O	0,0068	0,045	0,041
9	F	0,0060	0,040	0,036
10	Ne	0,0054	0,035	0,032
		3s	3p	
11	Na	0,171		
12	Mg	0,128		
13	Al	0,104	0,131	
14	Si	0,090	0,107	
15	P	0,080	0,092	
16	S	0,072	0,081	
17	Cl	0,066	0,072	
18	Ar	0,061	0,066	
		3p	3d	4s
19	K	0,059		0,126
20	Ca	0,054		0,169
21	Sc	0,050	0,054	0,157
22	Ti	0,047	0,049	0,148
23	V	0,044	0,045	0,140
24	Cr	0,042	0,043	0,145
25	Mn	0,039	0,039	0,128
26	Fe	0,037	0,036	0,123
27	Co	0,035	0,034	0,118
28	Ni	0,034	0,032	0,114
29	Cu	0,032	0,031	0,119
30	Zn	0,031	0,029	0,106

Продолжение табл. 1

Поряд- ковый номер	Атом	4s	4p	
31	Ga	0,126	0,096	
32	Ge	0,109	0,089	
33	As	0,083	0,160	
34	Se	0,078	0,092	
35	Br	0,073	0,085	
36	Kr	0,069	0,079	
		4d	5s	
37	Rb			0,229
38	Sr			0,184
39	Y	0,086		0,169
40	Zr	0,079		0,159
41	Nb	0,075		0,159
42	Mo	0,070		0,152
43	Tc	0,065		0,139
44	Ru	0,062		0,141
45	Rh	0,059		0,136
46	Pb	0,057		
		4d	5s	5p
47	Ag	0,054	0,128	
48	Cd	0,050	0,118	
49	In	0,048	0,109	0,138
50	Sn	0,046	0,103	0,124
51	Sb	0,044	0,097	0,119
52	Te	0,042	0,092	0,111
53	I	0,040	0,087	0,104
54	Xe	0,039	0,084	0,099
		4f	5d	6s
55	Cs			0,252
56	Ba			0,206
57	La		0,108	0,191

Порядковый номер	Атом	4f	5d	6s	
58	Ce	0,037		0,198	
59	Pr	0,035		0,194	
60	Nd	0,034		0,191	
61	Pm	0,032		0,188	
62	Sm	0,031		0,185	
63	Eu	0,031		0,183	
64	Gd	0,029		0,171	
65	Tb	0,029		0,177	
66	Dy	0,028		0,175	
67	Ho	0,027		0,173	
68	Er	0,026		0,170	
69	Tm	0,026		0,168	
70	Yb	0,025		0,166	
71	Lu	0,024	0,088	1,155	
72	Hf		0,083	0,147	
73	Ta		0,078	0,141	
		4f	5d	6s	6p
74	W		0,075	0,135	
75	Re		0,071	0,131	
76	Os		0,070	0,126	
77	Ir		0,067	0,123	
78	Pt		0,066	0,122	
79	Au		0,063	0,119	
80	Hg		0,060	0,113	
81	Tl		0,058	0,106	0,132
82	Pb		0,056	0,101	0,122
83	Bi		0,054	0,096	0,129
84	Po		0,052	0,092	0,121
85	At		0,050	0,088	0,115
86	Rn		0,049	0,085	0,109
			5f	6d	7s
87	Fr				0,24 ⁵
88	Ra				0,20 ⁴
89	Ac			0,127	0,18 ⁹
90	Th			0,119	0,18 ⁰
91	Pa		0,057	0,120	0,18 ⁰
92	U		0,054	0,117	0,17 ⁸
93	Np		0,052	0,115	0,174
94	Pu		0,050		0,178
95	Am		0,050		0,176
96	Cm		0,048	0,109	0,166
97	Bk		0,046	0,107	0,163
98	Cf		0,045	0,105	0,160
99	Es		0,044	0,104	0,158
100	Fm		0,043	0,103	0,156

Орбитальные радиусы катионов, нм

Катион	$1\frac{1}{2}$		
Li ⁺	0,0189		
Be ²⁺	0,0139		
Катион	$2p_{3/2}$		
Na ⁺	0,0278		
Mg ²⁺	0,0246		
Al ³⁺	0,0221		
Катион	$3p_{3/2}$	$3d_{3/2}$	
K ⁺	0,0592	—	
Ca ²⁺	0,0538	—	
Sc ³⁺	0,0493	—	
Ti ³⁺	0,0462	0,0464	
Ti ⁴⁺	0,0456	—	
V ²⁺	0,0439	0,0447	
Катион	$3p_{3/2}$	$3d_{3/2}$	
V ³⁺	0,0435	0,0430	
V ⁵⁺	0,0424	—	
Cr ²⁺	0,0414	0,0414	
Cr ³⁺	0,0411	0,0401	
Катион	$3p_{3/2}$	$3d_{3/2}$	$3d_{5/2}$
Mn ²⁺	0,0392	0,0387	0,0388
Mn ³⁺	0,0390	0,0376	—
Mn ⁴⁺	0,0386	0,0365	—
Fe ²⁺	0,0373	0,0363	0,0364
Fe ³⁺	0,0370	0,0354	0,0355
Co ²⁺	0,0355	0,0342	0,0343
Co ³⁺	0,0353	0,0335	0,0336
Ni ²⁺	0,0339	0,0323	0,0325
Ni ³⁺	0,0337	0,0317	0,0319
Cu ⁺	0,0325	0,0310	0,0312
Cu ²⁺	0,0324	0,0307	0,0308
Zn ²⁺	0,0311	0,0292	0,0293
Ga ³⁺	0,0298	0,0274	0,0276

Продолжение табл. 2

Катион	4p _{3/2}	4d _{3/2}	4d _{5/2}
Rb ⁺	0,0734	—	—
Sr ²⁺	0,0683	—	—
Y ³⁺	0,0640	—	—
Zr ⁴⁺	0,0603	—	—
Nb ³⁺	0,0580	0,0703	—
Nb ⁵⁺	0,0550	—	—

Катион	4p _{3/2}	4d _{3/2}	4d _{5/2}
Mo ³⁺	0,0555	0,0661	—
Mo ⁵⁺	0,0547	0,0630	—
Mo ⁶⁺	0,0542	—	—
Ru ³⁺	0,0512	0,0504	0,0598
Ru ⁴⁺	0,0509	0,0582	—

Катион	4p _{3/2}	4d _{3/2}	4d _{5/2}
Rh ³⁺	0,0493	0,0565	0,0570
Rh ⁴⁺	0,0490	0,0556	0,0560
Pd ²⁺	0,0447	0,0548	0,0553
Pd ⁴⁺	0,0473	0,0531	0,0556
Ag ⁺	0,0462	0,0529	0,0536
Ag ²⁺	0,0461	0,0523	0,0529
Cd ²⁺	0,0445	0,0501	0,0507
In ³⁺	0,0430	0,0476	0,0481

Катион	4p _{3/2}	4d _{3/2}	5s _{1/2}
Sn ²⁺	0,0416	0,0455	0,0460
Sn ⁴⁺	0,0416	0,0454	0,0458
Sb ³⁺	0,0402	0,0435	0,0440
Sb ⁵⁺	0,0042	0,0433	0,0438

Катион	5p _{3/2}	4f _{5/2}	4f _{7/2}
Cs ⁺	0,0921	—	—
Ba ²⁺	0,0866	—	—
La ³⁺	0,0819	—	—
Ce ³⁺	0,0800	0,0356	—
Ce ⁴⁺	0,0778	—	—

Катион	5p _{3/2}	4f _{5/2}	4f _{7/2}
Pr ³⁺	0,0783	0,0343	—
Pr ⁴⁺	0,0763	0,0335	—
Nd ³⁺	0,0767	0,0331	—
Pm ³⁺	0,0751	0,0320	—
Sm ³⁺	0,0737	0,0310	—

Окончание табл. 2

Катион	5p _{3/2}	4f _{5/2}	4f _{7/2}
Eu ²⁺	0,0741	0,0304	0,0307
Eu ³⁺	0,0723	0,0300	—

Катион	5p _{3/2}	4f _{5/2}	4f _{7/2}
Gd ³⁺	0,0710	0,0291	0,0294
Tb ³⁺	0,0698	0,0283	0,0285
Dy ³⁺	0,0686	0,0275	0,0278
Ho ³⁺	0,0674	0,0268	0,0270
Er ³⁺	0,0664	0,0261	0,0263
Tm ³⁺	0,0652	0,0254	0,0257
Yb ²⁺	0,0656	0,0250	0,0253
Yb ³⁺	0,0642	0,0248	0,0251
Lu ³⁺	0,0632	0,0242	0,0245

Катион	5p _{3/2}	5d _{3/2}	5d _{5/2}	6s _{1/2}
Hf ⁴⁺	0,0610	—	—	—
Ta ⁵⁺	0,0589	—	—	—
W ⁶⁺	0,0570	—	—	—
Os ⁴⁺	0,0547	0,0655	—	—
Ir ⁴⁺	0,0532	0,0633	0,0649	—
Pt ⁴⁺	0,0510	0,0613	0,0633	—
Au ⁺	0,0508	0,0600	—	—
Au ³⁺	0,0497	0,0583	0,0607	0,1099
Hg ⁺	0,0497	0,0587	0,0605	—
Hg ²⁺	0,0485	0,0566	0,0583	0,1049
Tl ⁺	0,0485	0,0564	0,0580	—
Tl ³⁺	0,0473	0,0545	0,0501	0,0986
Pb ²⁺	0,0472	0,0542	0,0558	—

Катион	5p _{3/2}	5d _{3/2}	5d _{5/2}	6s _{1/2}
Pb ⁴⁺	0,0472	0,0542	0,0558	—
Bi ³⁺	0,0461	0,0525	0,0540	0,0933

Катион	6p _{3/2}	5f _{5/2}
Th ⁴⁺	0,0880	—
U ³⁺	0,0858	0,0534
U ⁴⁺	0,0843	0,0525
U ⁵⁺	0,0827	0,0516
U ⁶⁺	0,0811	—
Np ³⁺	0,0842	0,0515
Np ⁴⁺	0,0826	0,0507
Np ⁶⁺	0,0896	0,0493
Pu ³⁺	0,0825	0,0498
Pu ⁴⁺	0,0810	0,0490

Таблица 3

Энергия (потенциалы) ионизации атомов I

Порядковый номер	Элемент	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅	
		кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ
1	H	1312	13,599	—	—	—	—	—	—	—	—
2	He	2372	24,59	5250	54,52	—	—	—	—	—	—
3	Li	520	5,39	7298	76,62	11815	122,42	—	—	—	—
4	Be	899	9,32	1757	18,21	14848	153,85	21006	—	—	—
5	B	801	8,30	2427	25,15	3660	37,92	25025	259,30	32826	340,13
6	C	1086	11,26	2353	24,38	4620	47,86	6222	64,48	37829	391,99
7	N	1402	14,54	2856	29,60	4578	47,43	7475	77,45	9445	97,86
8	O	1314	13,61	3388	35,15	5300	54,93	7469	77,39	10989	113,87
9	F	1681	17,42	3374	34,98	6041	62,65	8407	87,23	11022	114,21
10	Ne	2081	21,56	3952	41,07	6122	63,5	9370	97,16	12177	126,4
11	Na	496	5,14	4562	47,29	6912	71,8	9543	98,88	13352	138,6
12	Mg	738	7,64	1451	15,03	7733	78,2	10540	109,3	13629	141,23
13	Al	578	5,98	1817	18,82	2745	28,44	11577	119,96	14831	153,8
14	Si	786	8,15	1577	16,34	3231	33,46	4355	45,13	16091	166,73
15	P	1012	10,55	1903	19,65	2912	30,16	4956	51,35	6274	65,01
16	S	1000	10,36	2251	23,4	3361	34,8	4564	47,29	7012	72,5
17	Cl	1251	13,01	2297	23,80	3822	39,9	5158	53,3	6542	67,8
18	Ar	1521	15,75	2666	27,6	3931	40,90	5771	59,79	7238	75,0
19	K	419	4,34	3051	31,81	4411	45,9	5877	61,1	7975	82,6
20	Ca	590	6,11	1145	11,87	4912	51,21	6474	67,3	8144	84
21	Sc	631	6,56	1235	12,89	2389	24,75	7089	73,9	8844	91,8
22	Ti	658	6,83	1310	13,57	2652	28,14	4175	43,24	9573	99,8
23	V	650	6,74	1413	14,2	2828	29,7	4507	48,0	6294	65,2
24	Cr	653	6,76	1592	16,49	2987	31	4737	(51)	6686	73
25	Mn	717	7,43	1509	15,64	3248	33,69	4940	(53)	6985	(76)
26	Fe	759	7,90	1561	16,18	2957	30,64	5287	(50)	7326	(79)
27	Co	758	7,86	1646	17,05	3232	33,49	4950	(53)	7671	(82)
28	Ni	737	7,63	1753	18,15	3393	36,16	5297	(56)	7285	(79)
29	Cu	745	7,72	1958	20,29	3554	36,83	5326	(59)	7709	(83)
30	Zn	906	9,39	1733	17,96	3833	39,70	5731	(62)	7970	(86)
31	Ga	579	6,00	1979	20,51	2963	30,70	6175	64,2	—	—
32	Ge	762	7,88	1537	15,98	3302	34,21	4410	45,7	9021	93,4
33	As	947	9,81	1798	18,6	2735	28,3	4837	50,1	6043	62,9
34	Se	941	9,75	2045	21,5	2974	32,0	4143	42,9	6590	68,3
35	Br	1140	11,84	2103	21,6	3473	35,9	4564	47,3	5760	59,7
36	Kr	1351	14,00	2350	24,56	3565	36,9	5065	52,5	6243	64,7
37	Rb	403	4,18	2632	27,56	3859	40	5075	52,6	6850	71,0
38	Sr	549	5,69	1064	11,03	4207	43,6	5500	57,1	6908	71,6
39	Y	616	6,38	1181	12,23	1980	20,5	5963	61,8	7429	77,0
40	Zr	660	6,83	1267	12,92	2218	24,8	3313	33,97	7863	82,3
41	Nb	664	6,88	1382	13,90	2416	28,1	3695	38,3	4877	50
42	Mo	685	7,13	1558	15,72	2621	29,6	4477	46,4	5905	61,2
43	Tc	702	7,23	1472	14,87	—	—	—	—	—	—
44	Ru	711	7,36	1617	16,60	2747	30,3	—	—	—	—
45	Rh	720	7,46	1744	18,02	2997	32,8	—	—	—	—

Порядковый номер	Элемент	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅	
		кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ
46	Pd	805	8,33	1875	19,42	3177	(33)	—	—	—	—
47	Ag	731	7,57	2073	21,48	3361	35,10	—	—	—	—
48	Cd	863	8,99	1631	16,90	3616	44,5	—	—	—	—
49	In	558	5,78	1821	18,86	2704	28,0	5210	68	—	—
50	Sn	709	7,33	1412	14,6	2943	30,7	3930	46,4	6974	91
51	Sb	834	8,64	1595	16,7	2441	24,8	4265	44,1	5403	63,8
52	Te	869	9,01	1795	18,8	2658	31,0	3609	38	5668	66
53	I	1008	10,44	1846	19,0	3184	33	—	—	—	—
54	Xe	1170	12,13	2046	21,2	3097	32,1	—	—	—	—
55	Cs	376	3,89	2422	25,1	—	—	—	—	—	—
56	Ba	503	5,81	965	10,00	—	—	—	—	—	—
57	La	538	5,61	1067	11,43	1850	19,17	4819	(52)	—	—
58	Ce	527	6,54	1047	12,31	1949	19,87	3547	36,7	—	—
59	Pr	523	5,42	1018	10,55	2086	21,6	3761	39	5543	57
60	Nd	530	5,49	1035	10,73	2132	22	3899	40	—	—
61	Pm	536	5,56	1052	10,91	2152	22,3	3966	41	—	—
62	Sm	543	5,63	1068	11,07	2258	23,4	3994	41	—	—
63	Eu	547	5,67	1085	11,25	2404	24,9	4110	43	—	—
64	Gd	593	6,15	1160	12,09	1990	20,6	4245	44	—	—
65	Tb	565	5,86	1112	11,53	2114	21,9	3839	40	—	—
66	Dy	572	5,93	1116	11,67	2213	22,9	4001	41	—	—
67	Ho	581	6,02	1139	11,81	2204	22,8	4101	42	—	—
68	Er	589	6,11	1151	11,93	2194	22,7	4115	43	—	—
69	Tm	597	6,19	1163	12,06	2285	23,7	4119	43	—	—
70	Yb	603	6,25	1176	12,19	2415	25,0	4220	44	—	—
71	Lu	524	5,43	1341	13,90	2022	21,0	4360	45	—	—
72	Hf	642	6,66	1438	14,91	2248	23,3	3216	33,3	—	—
73	Ta	761	7,89	1560	16,2	—	—	—	—	—	—
74	W	770	7,98	1710	17,7	—	—	—	—	—	—
75	Re	760	7,88	1600	16,6	—	—	—	—	—	—
76	Os	839	8,70	1600	16,5	—	—	—	—	—	—
77	Ir	878	9,10	1640	17,0	—	—	—	—	—	—
78	Pt	868	9,00	1791	18,6	—	—	—	—	—	—
79	Au	890	9,23	1978	20,5	—	—	—	—	—	—
80	Hg	1007	10,44	1810	18,8	3300	34,2	—	—	—	—
81	Tl	589	6,11	1971	20,4	2878	29,8	—	—	—	—
82	Pb	716	7,42	1450	15,0	3081	31,9	4083	42,3	6638	69
83	Bi	703	7,29	1610	16,7	2466	25,6	4371	45,3	5403	56
84	Po	813	8,43	1870	19,4	—	—	—	—	—	—
85	At	890	9,2	1940	20,1	—	—	—	—	—	—
86	Rn	1037	10,75	—	—	—	—	—	—	—	—
87	Fr	384	3,98	—	—	—	—	—	—	—	—
88	Ra	509	5,28	1134	11,7	—	—	—	—	—	—
89	Ac	499	5,17	1164	12,1	—	—	—	—	—	—
90	Th	590	6,1	1110	11,5	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 3

Порядковый номер	Элемент	I ₁		I ₂		I ₃		I ₄		I ₅	
		кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ
91	Pa	570	5,9	—	—	—	—	—	—	—	—
92	U	597	6,2	1120	11,6	—	—	—	—	—	—
93	Np	600	6,2	—	—	—	—	—	—	—	—
94	Pu	585	6,06	—	—	—	—	—	—	—	—
95	Am	578	5,99	—	—	—	—	—	—	—	—
96	Cm	588	6,00	—	—	—	—	—	—	—	—
97	Bk	608	6,30	—	—	—	—	—	—	—	—
98	Cf	620	6,4	—	—	—	—	—	—	—	—
99	Es	630	6,5	—	—	—	—	—	—	—	—
100	Fm	640	6,6	—	—	—	—	—	—	—	—
101	Md	650	6,7	—	—	—	—	—	—	—	—
102	No	660	6,8	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 4

Сродство атомов к электрону F

Порядковый номер	Элемент	F, эВ		Порядковый номер	Элемент	F, кДж/моль	
		F, эВ	F, кДж/моль			F, эВ	F, кДж/моль
1	H	0,75	72,3	37	Rb	0,27	26,0
2	He	-0,22	-21,2	38	Sr	-1,51	-145,6
3	Li	0,59	56,9	39	Y	-0,4	-38,6
4	Be	-0,19	-18,3	40	Zr	0,45	43,4
5	B	0,30	28,9	41	Nb	1,13	109,0
6	C	1,27	122,5	42	Mo	1,18	113,8
7	N	-0,21	-20,2	43	Tc	1,00	96,4
8	O	1,47	141,8	44	Ru	1,51	145,6
9	F	3,45	332,7	45	Rh	1,68	162,0
10	Ne	-0,22	-21,2	46	Pd	1,02	98,4
11	Na	0,34	32,8	47	Ag	1,30	125,4
12	Mg	-0,22	-21,2	48	Cd	-0,27	-26,0
13	Al	0,5	48,2	49	In	0,2	19,3
14	Si	1,36	131,1	50	Sn	1,03	99,3
15	P	0,8	77,1	51	Sb	0,94	90,6
16	S	2,08	200,6	52	Te	2	192,9
17	Cl	3,61	348,1	53	I	3,08	297,1
18	Ar	-0,37	-35,7	54	Xe	-0,45	-43,4
19	K	0,30	28,9	55	Cs	0,23	22,2
20	Ca	-1,93	-186,1	56	Ba	-0,48	-46,3
21	Sc	-0,73	-70,4	57	La	(0,55)	(53,1)
22	Ti	0,39	37,6	72	Hf	-0,63	-60,8
23	V	0,65	62,7	73	Ta	0,15	14,5
24	Cr	0,98	94,5	74	W	0,5	48,2
25	Mn	-0,97	-93,5	75	Re	0,15	14,5
26	Fe	0,58	55,9	76	Os	1,44	138,9
27	Co	0,94	90,6	77	Ir	1,97	190,1
28	Ni	1,28	123,4	78	Pt	2,13	205,5
29	Cu	1,23	118,6	79	Au	2,31	222,9
30	Zn	0,09	8,7	80	Hg	-0,19	-18,3
31	Ga	0,39	37,6	81	Tl	0,5	48,2
32	Ge	1,74	167,8	82	Pb	1,03	99,4
33	As	1,07	103,2	83	Bi	0,95	91,6
34	Se	2,02	194,8	84	Po	1,32	127,3
35	Br	3,37	325,0	85	At	2,79	269,2
36	Kr	-0,42	-40,5				

Таблица 5

Относительные электроотрицательности атомов (по Полингу)

Атомный номер	Элемент	Электроотрицательность	Атомный номер	Элемент	Электроотрицательность
1	H	2,2	46	Pd	2,2
3	Li	1,0	47	Ag	1,9
4	Be	1,5	48	Cd	1,7
5	B	2,0	49	In	1,7
6	C	2,5	50	Sn	1,8
7	N	3,0	51	Sb	1,9
8	O	3,5	52	Te	2,1
9	F	4,0	53	I	2,5
11	Na	0,9	55	Cs	0,7
12	Mg	1,2	56	Ba	0,9
13	Al	1,5	57—71	La—Lu	1,1—1,2
14	Si	1,8	72	Hf	1,3
15	P	2,1	73	Ta	1,5
16	S	2,5	74	W	1,7
17	Cl	3,0	75	Re	1,9
19	K	0,8	76	Os	2,2
20	Ca	1,0	77	Ir	2,2
21	Sc	1,3	78	Pt	2,4
22	Ti	1,5	79	Au	2,2
23	V	1,6	80	Hg	1,9
24	Cr	1,6	81	Tl	1,8
25	Mn	1,5	82	Pb	1,8
26	Fe	1,8	83	Bi	1,9
27	Co	1,7	84	Po	2,0
28	Ni	1,8	85	At	2,2
29	Cu	1,9	87	Fr	0,7
30	Zn	1,6	88	Ra	0,9
31	Ga	1,6	89	Ac	1,1
32	Ge	2,0	90	Th	1,3
33	As	2,0	91	Pa	1,5
34	Se	2,4	92	U	1,7
35	Br	2,9	93	Np	1,3
37	Rb	0,8	94	Pu	1,3
38	Sr	1,0	95	Am	1,3
39	Y	1,2	96	Cm	1,3
40	Zr	1,4	97	Bk	1,3
41	Nb	1,6	98	Cf	1,3
42	Mo	1,8	99	Es	1,3
43	Tc	1,9	100	Fm	1,3
44	Ru	2,2	101	Md	1,3
45	Rh	2,2	102	No	1,3

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕРИОДИЧЕСКОМ ЗАКОНЕ И ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ	9
Варианты периодической системы и проблема размещения элементов	11
Основные типы функциональных связей «свойство—заряд ядра» в различных сечениях системы	20
2. ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН И НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ	38
Химическая связь	38
Комплексообразование	41
3. ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН И ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ	51
s-элементы	53
p-элементы	59
d-элементы	70
f-элементы	75
4. ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН, ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ И КУЛЬТУРЫ	82
Идеи периодического закона в кристаллохимии, геохимии, физике	83
Периодический закон как составная часть мировой культуры	93
УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ	97
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	106
ПРИЛОЖЕНИЕ	107

Валерий Михайлович ТАЛАНОВ,

Глеб Михайлович ЖИТНЫЙ

СБОРНИК ВОПРОСОВ И ЗАДАЧ ПО ПЕРИОДИЧЕСКОМУ ЗАКОНУ

Редактор Л. М. Захарова
Техн. редактор Ж. В. Паршина
Корректор Л. В. Баршадская

Темплан 1995 г.

ЛР № 020417 12.02.1992 г. Сдано в набор 27.XI.94 г.

Подписано в печать 01.02.95 г. Формат 60x84 1/16. Бумага газетная.

Гарнитура литературная. Высокая печать. Усл. п. л. 6,97. Уч.-изд. л. 7,3.

Усл. кр.-отт. 7,09. Тираж 2000 экз. Заказ 1293. С. 26.

Новочеркасский государственный технический университет

Типография НГТУ

Адрес ун-та и типографии: 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.