



Академик Ю.Д.Третьяков

80

2011

20

ФНМ МГУ

Периодический закон и периодическая система химических элементов

«Неорганическая химия» (под. ред. акад. Ю.Д.Третьякова), т.1

К.Неницеску «Общая химия»

А.Азимов «Краткая история химии»

Д.Н.Трифонов «Периодическая система элементов.

История в таблицах»

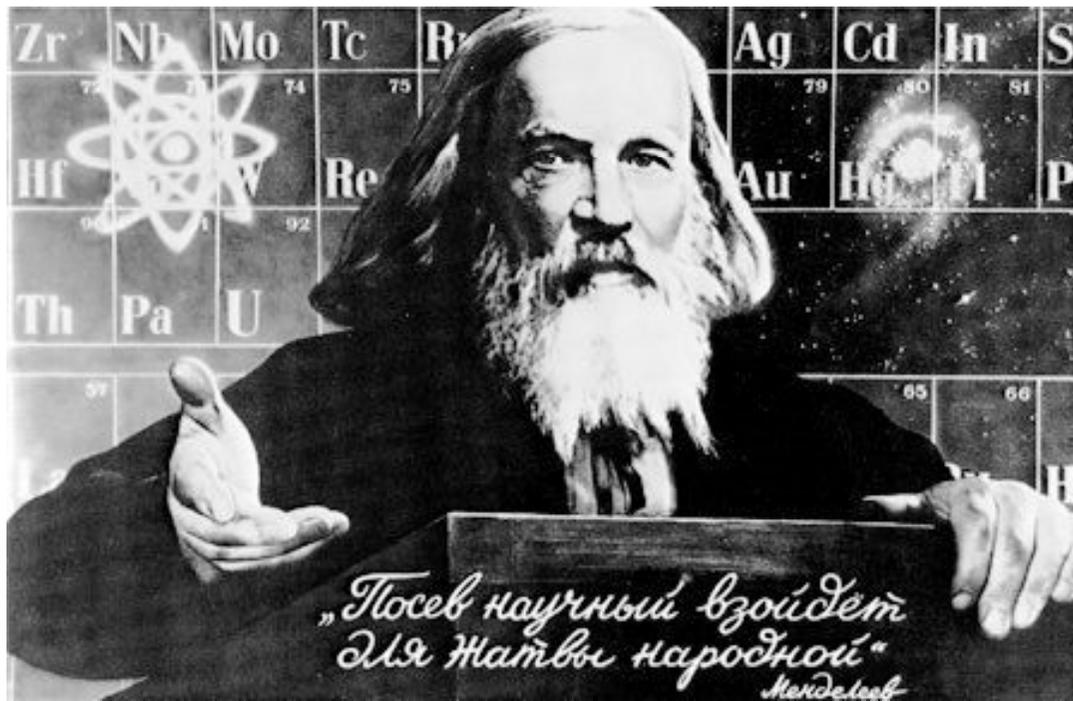
Ю.Д.Третьяков, А.В.Шевельков – материалы лекций

Формулировки

«Свойства простых тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости *от атомных весов (?) элементов*»

«Свойства простых тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости **от заряда ядра (!) атомов элементов**»

Естественный ряд химических элементов ${}_1\text{H}$, ${}_2\text{He}$, ${}_3\text{Li}$ ${}_{108}\text{Hs}$, ${}_{109}\text{Mt}$ образует систему с периодическим изменением электронной конфигурации и свойств химических элементов, а также образуемых ими простых и сложных веществ.



Дмитрий Иванович Менделеев (1834 - 1907)



Лотар Юлиус Мейер



**Александр Эмиль Бегуйе де
Шанкуртуа**



**Джон Александр Рейна
Ньюлендс**

Систематизация

... не только классификация, но и поиск фундаментального закона!

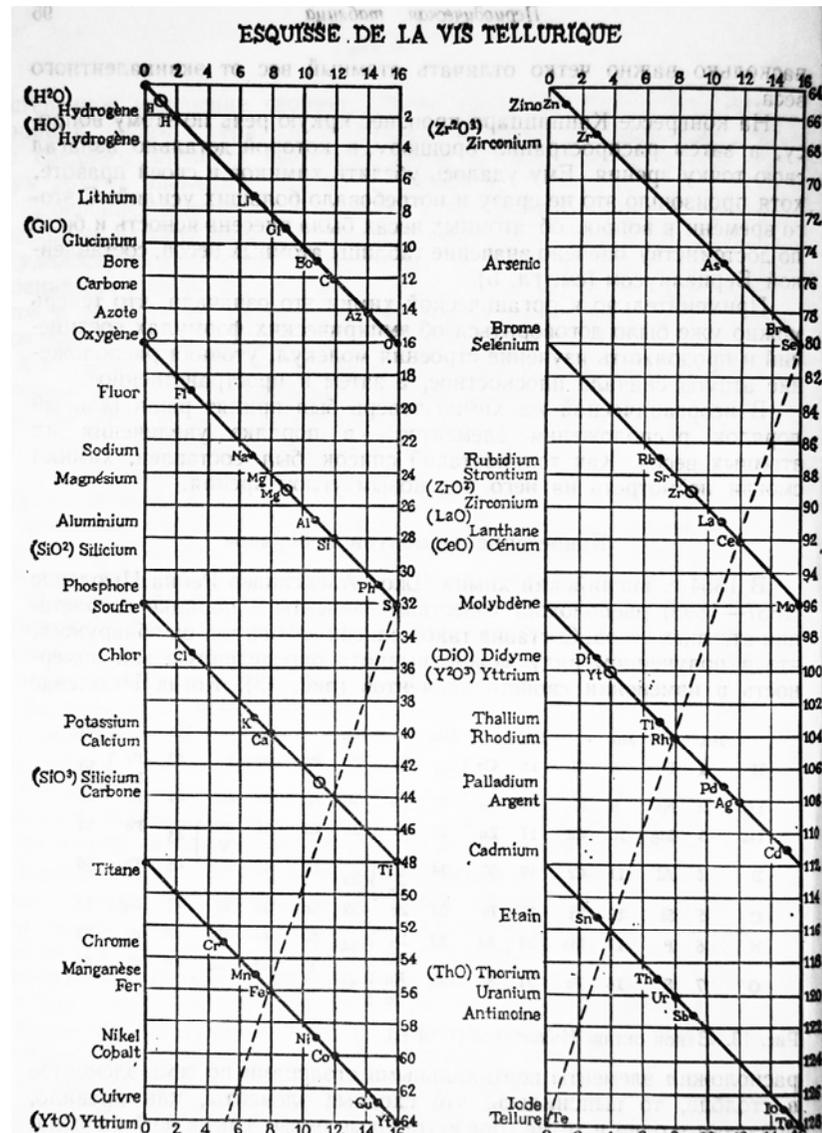
- триады Дёберейнера (1829): Br-Cl / I, Ca-Sr-Ba, S – Se – Te
- Первый химический конгресс (1860 г., Карлсруэ)
- спираль де Шанкуртуа (1862)
- октавы Ньюлендса (1864 - 1865)
- таблица Одлинга и Л. Мейера (1970)
- Таблица Менделеева (1869)
- Коротко- и длиннопериодные варианты (всего ~ 700)

IUPAC version (18 columns)

USA: I A – VII A, I B – VII B, VIII – 3 и 0

Россия: I – VIII группы

Спираль де Шанкуртуа



Nota.—On a entouré d'un cercle les pois correspondant aux caractères numériques dits secondaires.

Рис. 14. «Винтовой график» Бегуйе де Шанкуртуа (1862 г.) Расположив элементы в порядке возрастания их атомных весов, ученый соединил линиями элементы с похожими свойствами.

Расположение в порядке возрастания атомных весов (масс): похожие элементы попадают в вертикальные столбцы

Закон октав Ньюлендса

№	№	№	№	№	№	№	№
H 1	F 8	Cl 15	Co и Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt и Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Tl 53
G 3	Mg 10	Cd 17	Zn 25	Sr 31	Cd 38	Ba и V 45	Pb 54
Г o 4	Al 11	Cr 19	Y 24	Ce и La 33	U 40	Ta 46	Th 56
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Hg 52
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di* и Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Sc 28	Ro* и Ru 35	Te 43	Au 49	Os 51

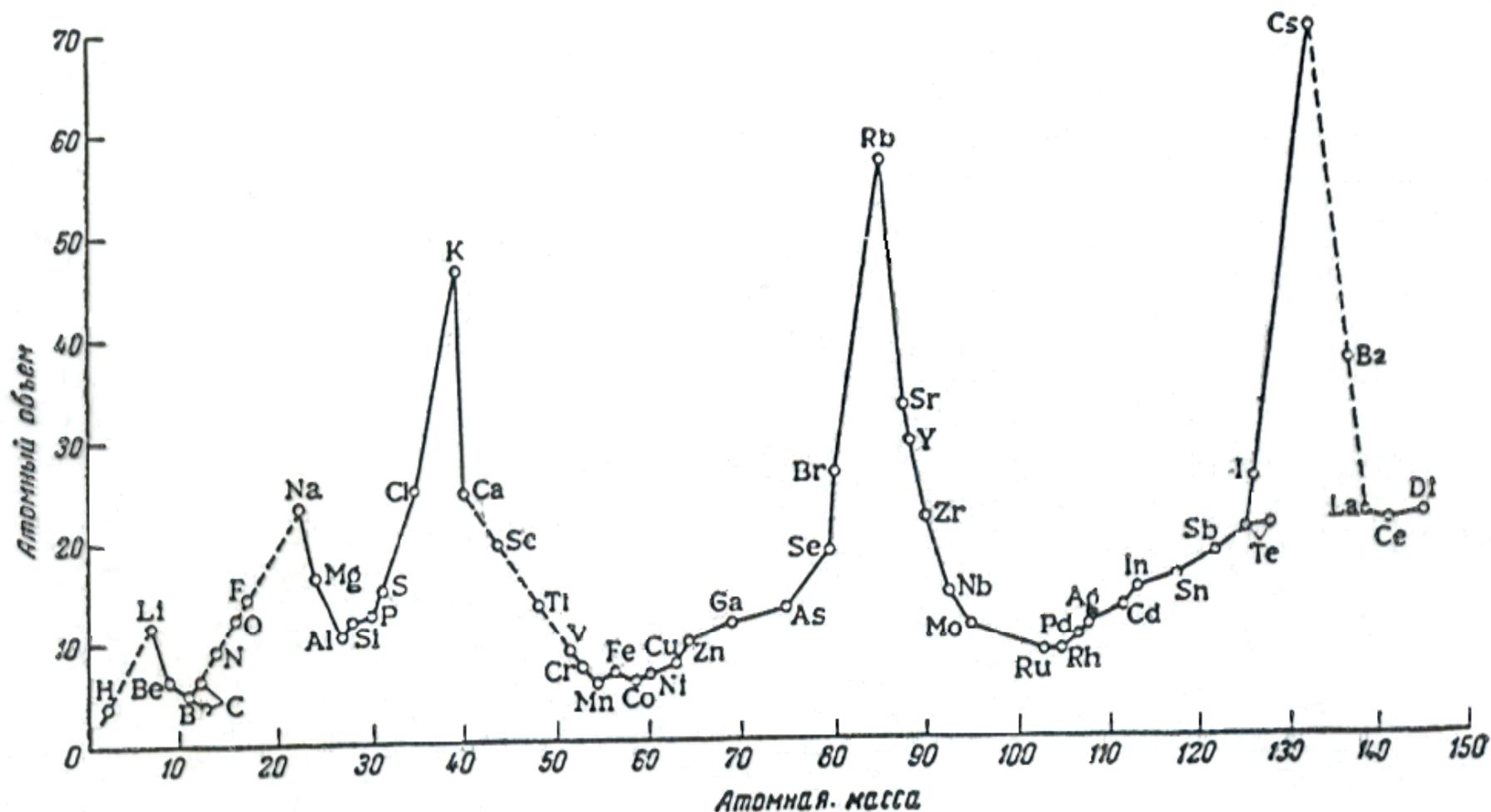
Расположение в порядке возрастания атомных весов (масс): каждый восьмой элемент обладает похожими свойствами (настаивал на том, что длиннее «период» не должен быть)

Классификация элементов по Одлиngu

			Mo 96 — Pd 106,5	W 184 Au 196,5 Pt 197
Li 7 G 9 B 11 C 12 N 14 O 16 F 19	Na 23 Mg 24 Al 27,5 Si 28 P 31 S 32 Cl 35,5	— Zn 65 — — As 75 Se 79,5 Br 80	Ag 108 Cd 112 — Sn 118 Sb 122 Te 129 I 127	— Hg 200 Tl 203 Pb 207 Bi 210 — —
	K 39 Ca 40 Ti 48 Cr 52,5 Mn 55	Rb 85 Sr 87,5 Zr 89,5 — —	Cs 133 Ba 137 — V 138 —	Th 231

Расположение в порядке возрастания атомных весов (масс) + валентность (1864 г.)

Кривая атомных объемов Лотара Мейера



Периодическая таблица по Лотару Мейеру

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	B 11 C 12	Al 27,3 Si 28	—	—	—	?In 113,4 Sn 117,8	—	Tl 202,7 Pb 206,4
	N 14	P 30,9	Ti 48	As 74,9	Zr 89,7	Sb 122,1	—	Bi 207,5
	O 16	S 32	V 51,2	Se 78	Nb 93,7	Te 128	Ta 182,2	
	F 19,1	Cl 35,4	Cr 52,4	Br 79,75	Mo 95,6	I 126,5	W 183,5	
			Mn 54,8 Fe 55,9 Ni 58,6		Ru 103,5 Rh 104,1 Rb 106,2		Os 198,6? Ir 196,7 Pt 196,7	
Li 7,0	Na 22,9	Co = K 39	Cu 63,3	Rb 85,2	Ag 107,7	Cs 132,7	Au 192,2	
?Be 9,3	Mg 23,9	Ca 39,9	Zn 64,9	Sr 87	Cd 111,6	Ba 136,8	Hg 199,3	

Расположение в порядке возрастания атомных **ОБЪЕМОВ** (удельное физическое свойство!): период **МОЖЕТ** изменяться («триады» Дёберейнера и «октавы» Ньюлендса присутствуют)

Первоначальная периодическая таблица Д. И. Менделеева

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Ti=50	Zr= 90	?=180.
		V=51	Nb= 94	Ta=182.
		Cr= 52	Mo= 96	W=186.
		Mn= 55	Rh= 104,4	Pt= 197,4
		Fe= 56	Ru= 104,4	Ir= 198.
		Ni=Co= 59	Pl= 106,6	Os= 199.
		Cu= 63,4	Ag= 108	Hg= 200.
H=1			Cd= 112	
	Be= 9,4	Mg= 24	Zn= 65,2	Au= 197?
	B= 11	Al= 27,4	?= 68	Ur= 116
	C= 12	Si= 28	?= 70	Sn= 118
	N= 14	P= 31	As= 75	Sb= 122
	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
		Ca= 40	Sr= 87,6	Ba= 137
		?= 45	Ce= 92	Pb= 207.
		?Er= 56	La= 94	
		?Yt= 60	Di= 95	
		?In= 75,6	Th= 118?	

1 марта 1869 г.

Расположение в порядке возрастания атомных весов (масс), но:

-изменил атомные веса ряда элементов (U – 240, «последний» элемент)

-сформулировал понятия о группах, малых и больших периодах (оценил их «емкость»),

-назвал систему «естественной»,

-предсказал существование новых элементов (экабор – Sc, экаалюминий – Ga, экасилиций - Ge)

**СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРЕДСКАЗАННЫХ СВОЙСТВ ЭКАКРЕМНИЯ
СО СВОЙСТВАМИ ГЕРМАНИЯ**

Свойства экакремния ES, предсказанные Менделеевым (1870 г.)	Свойства германия, найденные Винклером (1886 г.)
<p>1. Атомный вес равен среднему арифметическому атомных весов четырех соседних элементов^а периодической системы — Si, Sn, Zn, Se $1/4 (28,1 + 118,7 + 65,38 + 79,0) = 72,8$</p> <p>2. Плотность, определенная таким же образом, равна 5,5</p> <p>3. По атомному объему элемент должен располагаться между кремнием (13) и оловом (16), но ближе к кремнию</p> <p>4. Элемент образует окись ESO_2 с более слабыми основными свойствами, чем у SnO_2</p> <p>5. Плотность окиси ESO_2 равна 4,7</p> <p>6. ESO_2, так же как и окиси олова и цинка, легко восстанавливается</p> <p>7. Элемент образует жидкий хлорид $EsCl_4$, кипящий ниже 100°, с плотностью 1,9</p> <p>8. Соединение с водородом ESH_4 — газообразное и более устойчивое, чем SnH_4^б</p>	<p>1. Атомный вес = 72,60</p> <p>2. Плотность при $20^\circ = 5,469$</p> <p>3. Атомный объем = 13,4</p> <p>4. GeO_2 обладает не основными свойствами, а слабокислыми</p> <p>5. GeO_2 имеет $d^{18} = 4,703$</p> <p>6. GeO_2 легко восстанавливается углеродом или водородом до металлического германия</p> <p>7. $GeCl_4$ — жидкость, кипящая при 86°, с плотностью 1,879</p> <p>8. GeH_4 кипит при -90°</p>

^а Менделеев взял для расчета цинк, поскольку соседний элемент с меньшим атомным весом (галлий) в это время еще не был известен, и селен — элемент с большим атомным весом, также соседний с экакремнием

^б Это очень неустойчивое соединение получил А. Панет только в 1924 г.

Периодическая таблица Д. И. Менделеева (1871 г.)

Ряд	Группа I R ₂ O	Группа II RO	Группа III R ₂ O ₃	Группа IV RH ₄ , RO ₂	Группа V RH ₃ , R ₂ O ₃	Группа VI RH ₂ , RO ₂	Группа VII RH R ₂ O ₃	Группа VIII RO ₄	
1	H = 1								
2	Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19		
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5		
4	K = 39	Ca = 40	— = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56	Co = 59
5	(Cu = 63)	Zn = 65	— = 68	— = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	Ni = 59	Cu = 63
6	Rb = 85	Sr = 87	?Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	— = 100	Ru = 104	Rh = 104
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	I = 127	Pd = 106	Ag = 108
8	Cs = 133	Ba = 137	?Di = 138	?Ce = 140	—	—	—		
9	(—)	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	?Er = 178	?La = 180	Ta = 182	W = 184	—	Os = 195	Ir = 197
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	—	—	Pt = 198	Au = 199
12	—	—	—	Th = 231	—	U = 240	—	—	—

Первая классическая короткая форма ПСЭ.
«Белые пятна»? РЗЭ? Трансурановые?

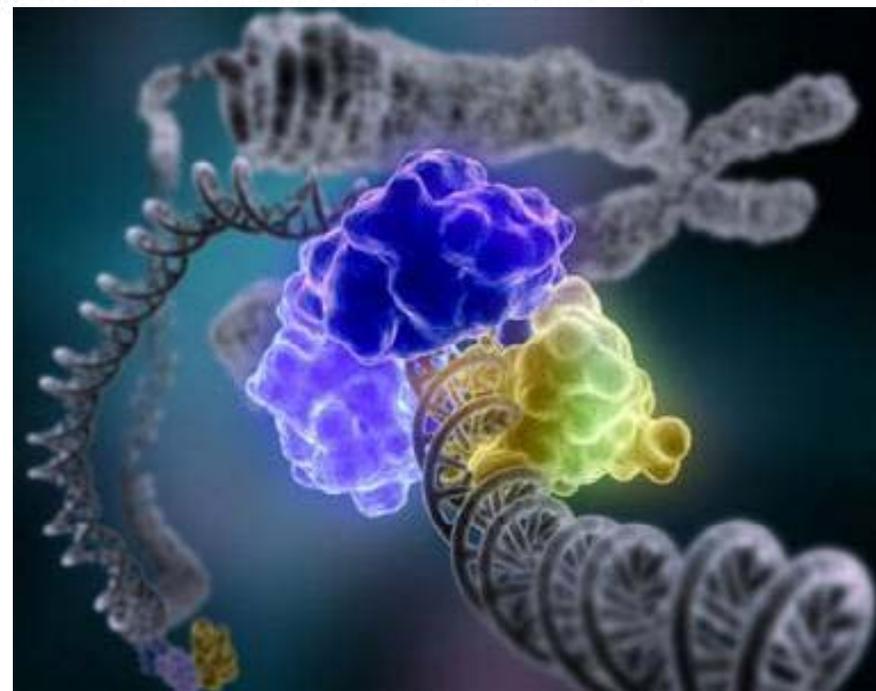
ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ

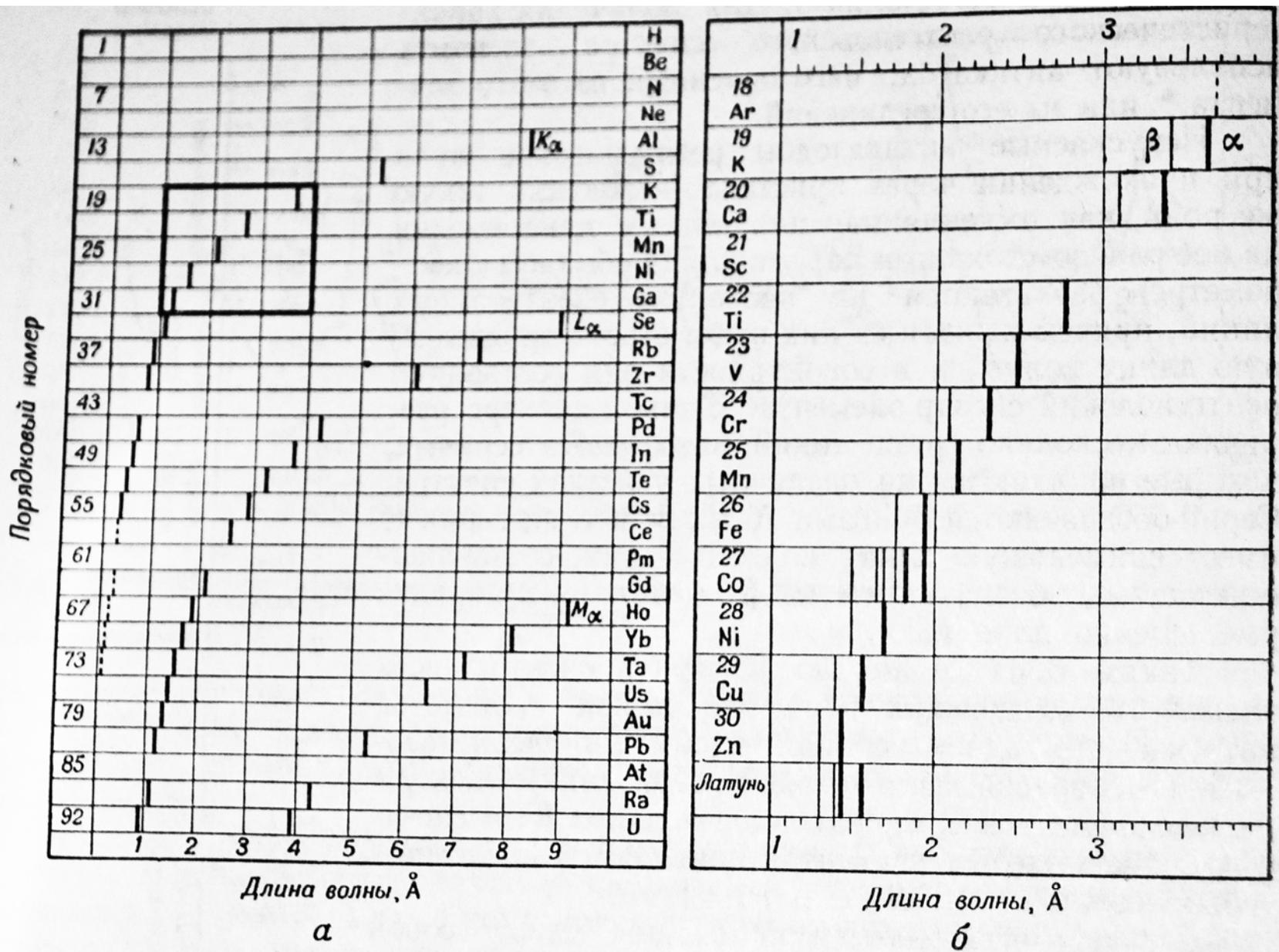
PERIOD	I б		II б		III б		IV б		V б		VI б		VII б		VIII б					
1	[Blank]														H 1	He 2	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Атомная масса Атомный номер</p> <p style="text-align: center;">U 92</p> <p>238,02891</p> <p>92</p> <p>Рассеянные электроны по застреленным и флуоресценции</p> <p>Рассеянные электроны по облучению</p> </div>			
2	Li 3	Be 4	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10												
3	Na 11	Mg 12	Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18												
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28										
	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36												
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46										
	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54												
6	Cs 55	Ba 56	La* 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78										
	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86												
7	Fr 87	Ra 88	Ac** 89	Ku 104	Ns 105	106	107													
★ ЛАНТАНОИДЫ																				
Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71							
★ АКТИНОИДЫ																				
Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	(No) 102	(Lr) 103							

АТОМ

ЯДРО
(протоны и нейтроны)
Определяют
массу атома и
заряд ядра,
радиоактивные
свойства

ЭЛЕКТРОНЫ
Определяют
химические
свойства





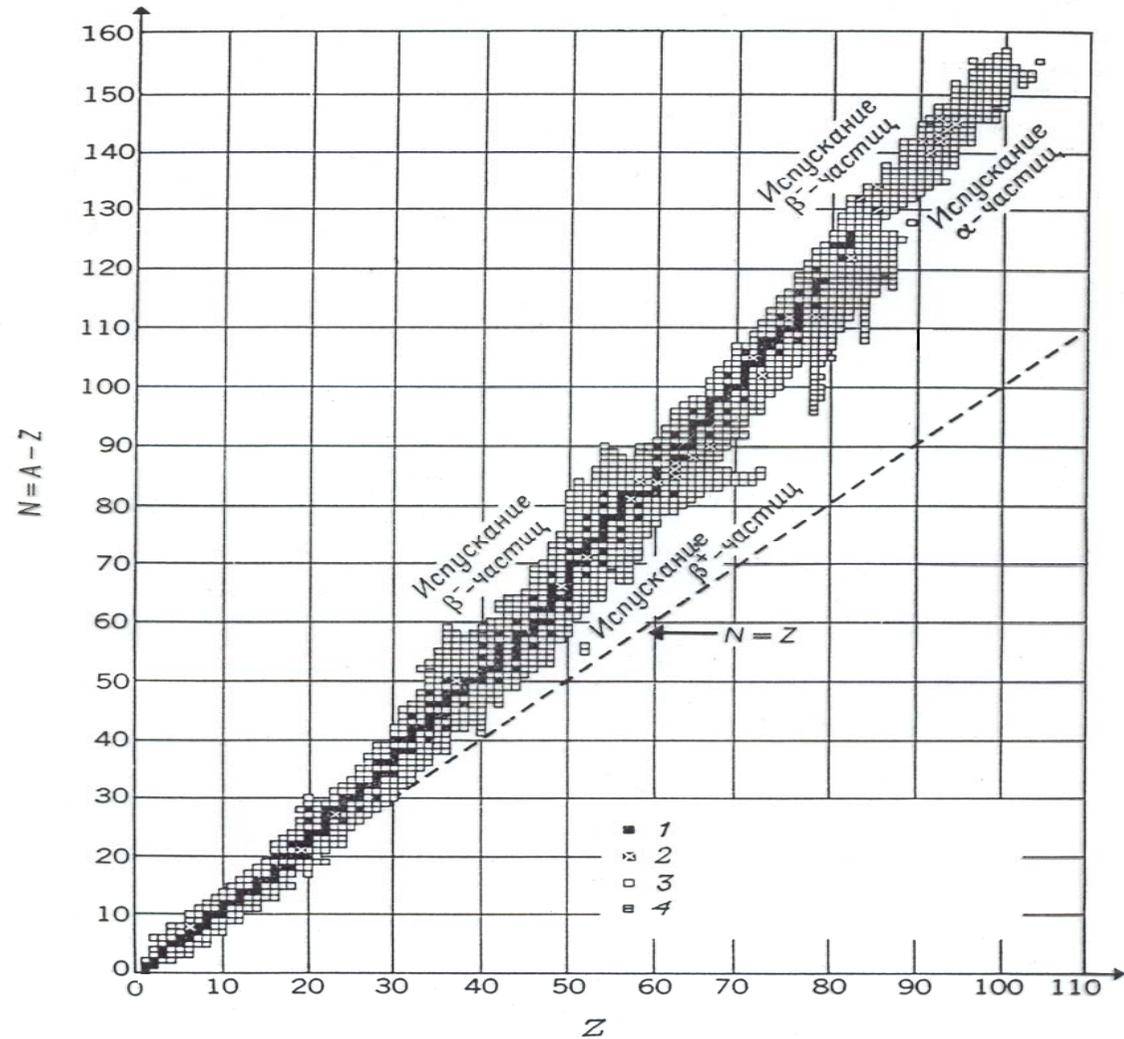
Р и с. 10. Линии α -серий K, L и M элементов (а); линии α - и β -серии K элементов с порядковыми номерами $Z = 19-30$ (б) (см. обведенный участок на рис. 10, а).

Синтез элементов

ХРОНОЛОГИЯ СИНТЕЗА ЭЛЕМЕНТОВ С $Z = 93 - 101$		
Элемент	Ядерная реакция синтеза	Дата и авторы синтеза
Нептуний Np	${}_{92}^{238}\text{U} + n \rightarrow {}_{92}^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} {}_{93}^{239}\text{Np}$	1940 г., Э.Макмиллан, Ф.Эйблсон
Плутоний Pu	${}_{92}^{238}\text{U} + d \rightarrow {}_{93}^{238}\text{Np} \xrightarrow{\beta^-} {}_{94}^{238}\text{Pu}$	1940 г., Г.Сиборг и др.
Кюрий Cm	${}_{94}^{239}\text{Pu} + \alpha \rightarrow {}_{96}^{242}\text{Cm} + n$	1944 г., Г.Сиборг и др.
Америций Am	${}_{94}^{239}\text{Pu} + 2n \rightarrow {}_{94}^{241}\text{Pu} \xrightarrow{\beta^-} {}_{95}^{241}\text{Am}$	1945 г.; Г.Сиборг и др.
Берклий Bk	${}_{95}^{241}\text{Am} + \alpha \rightarrow {}_{97}^{243}\text{Bk} + 2n$	1949 г.; Г.Сиборг и др.
Калифорний Cf	${}_{96}^{242}\text{Cm} + \alpha \rightarrow {}_{98}^{245}\text{Cf} + n$	1950 г.; Г.Сиборг и др.
Эйнштейний Es Фермий Fm	Изотопы ${}_{99}^{253}\text{Es}$ и ${}_{100}^{255}\text{Fm}$ выделены из продуктов облучения U потоком нейтронов при термо- ядерном взрыве	1952— Г.Сиборг, 1953 г. А.Гиорсо и др.
Менделеевий Md	${}_{99}^{253}\text{Es} + \alpha \leftrightarrow {}_{101}^{256}\text{Md} + n$	1955 г.; Г.Сиборг и др.

ХРОНОЛОГИЯ СИНТЕЗА ЭЛЕМЕНТОВ С $Z = 102 - 110$		
Элемент	Ядерная реакция синтеза	Дата и авторы синтеза
Нобелий No	Изотопы с $Z = 102$ достоверно синтезированы в 1963—1966 гг. Г.Н.Флеровым и др.	
Лоуренсий Lr	${}_{95}^{243}\text{Am} + {}_8^1\text{O} \rightarrow {}_{103}^{256}\text{Lr} + 5n$	1963 г., Г.Н.Флеров и др.
Курчатовий Ku	${}_{94}^{242}\text{Pu} + {}_{10}^{22}\text{Ne} \rightarrow {}_{104}^{260}\text{Ku} + 4n$	1964 г., Г.Н.Флеров и др.
Нильсборий Ns	${}_{95}^{243}\text{Am} + {}_{10}^{22}\text{Ne} \rightarrow {}_{105}^{261}\text{Ns} + 4n$	1970 г., Г.Н.Флеров и др.
$Z = 106$	${}_{82}^{208}\text{Pb} + {}_{24}^{54}\text{Cr} \rightarrow {}_{106}^{260} + 2n$	1974 г., Ю.Ц.Оганесян и др.
$Z = 107$	${}_{83}^{209}\text{Bi} + {}_{24}^{54}\text{Cr} \rightarrow {}_{107}^{261} + 2n$	1976., Ю.Ц.Оганесян и др.
$Z = 108$	${}_{82}^{208}\text{Pb} + {}_{26}^{58}\text{Fe} \rightarrow {}_{108}^{265} + n$	1984 г., Г.Мюнценберг и др. (ФРГ)
$Z = 109$	${}_{83}^{209}\text{Bi} + {}_{26}^{58}\text{Fe} \rightarrow {}_{109}^{266} + 2n$	1981 г., Г.Мюнценберг и др. (ФРГ)
$Z = 110$	${}_{92}^{235, 236}\text{U} + {}_{18}^{40}\text{Ar} \rightarrow {}_{110}^{272} + n$	1987 г., Ю.Ц.Оганесян и др.

Диаграмма известных к настоящему времени изотопов ядер. По оси абсцисс отложено содержание в ядре протонов, а по оси ординат – нейтронов. Обычно число нейтронов равно или несколько больше, чем число протонов в ядре, т. е. $N \geq Z$. Указаны области значений N и Z , при которых ядра испускают β^- , β^+ или α -частицы.



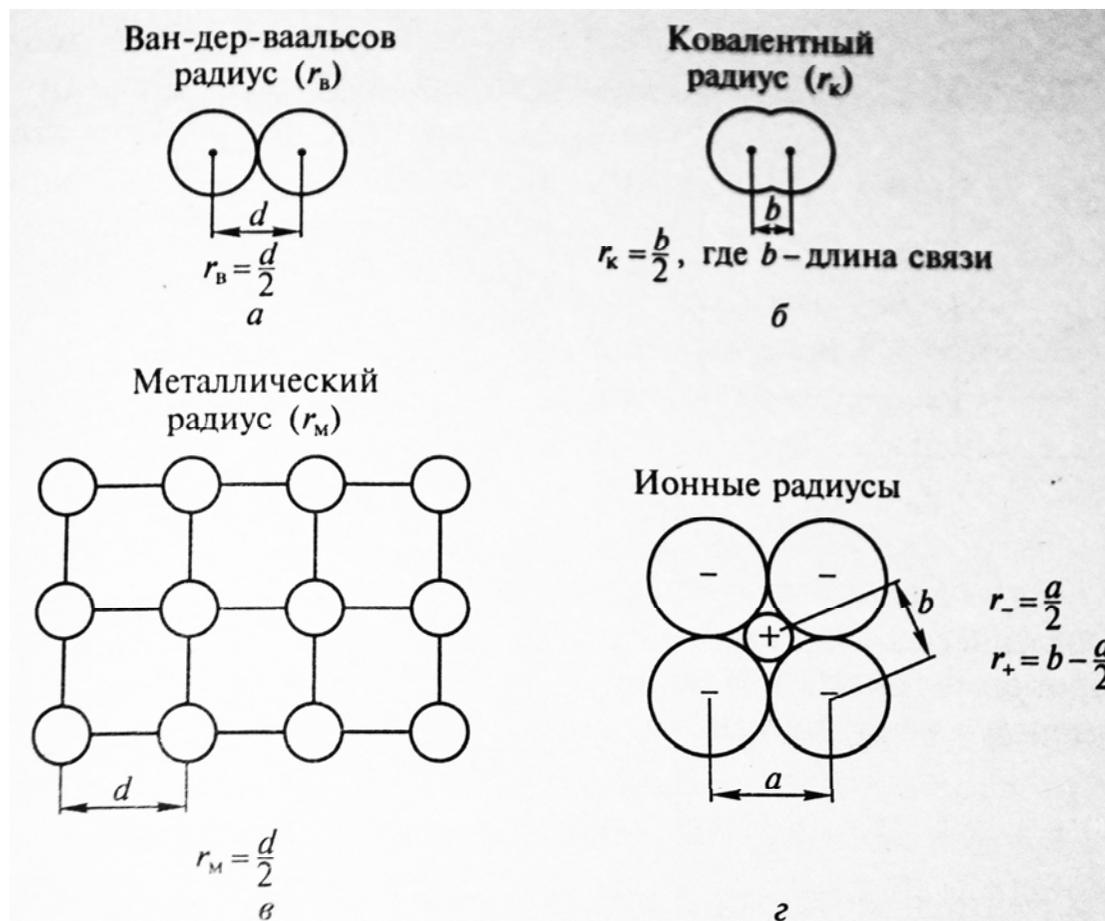
- 1- устойчивые ядра,
- 2 – естественные изотопы,
- 3 – искусственные изотопы,
- 4 – неизвестные изотопы.

Характеристики атомов

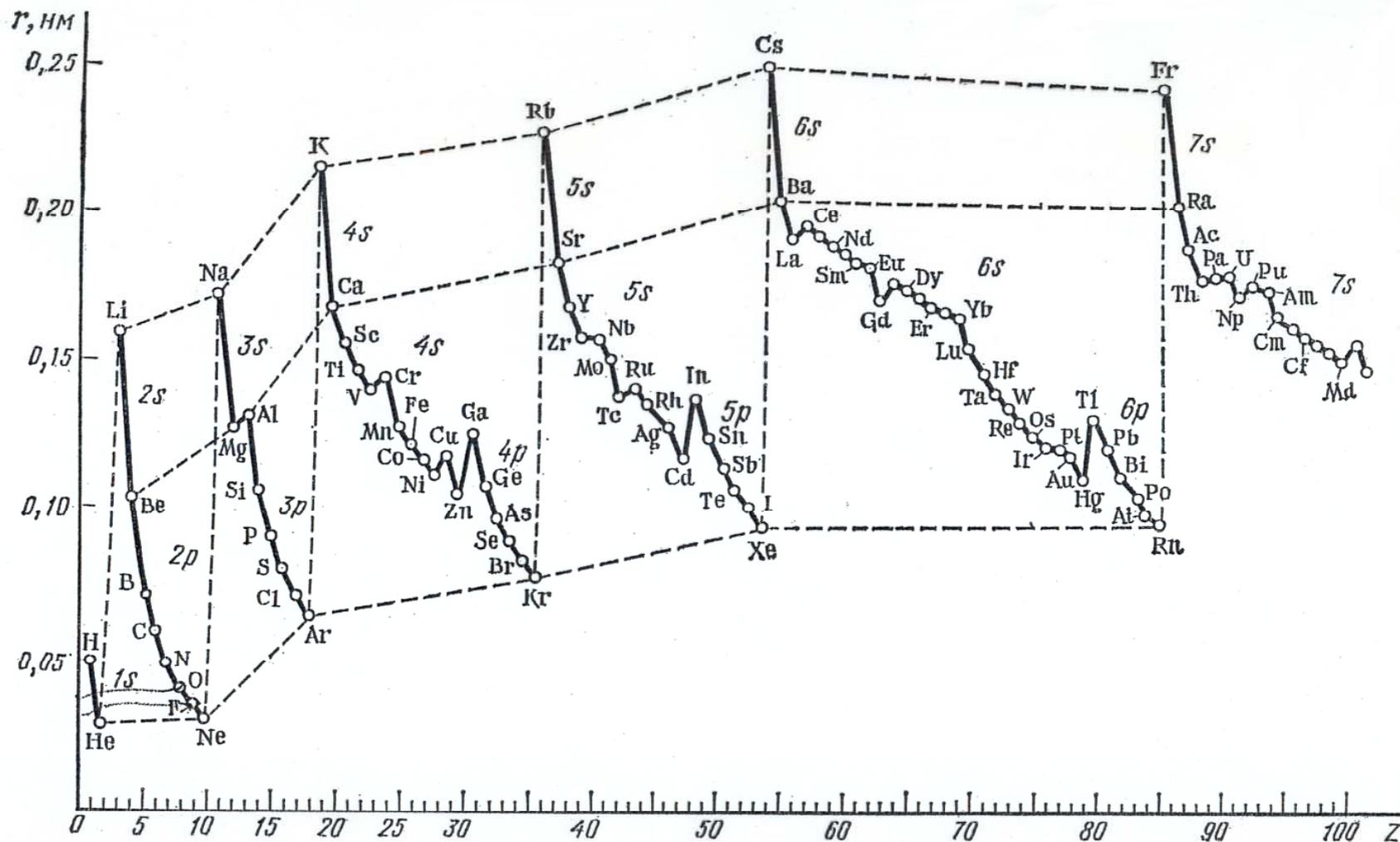
- Орбитальный радиус атома r_a

Размер

электронного облака атома с учетом взаимодействий электронов между собой и с ядром

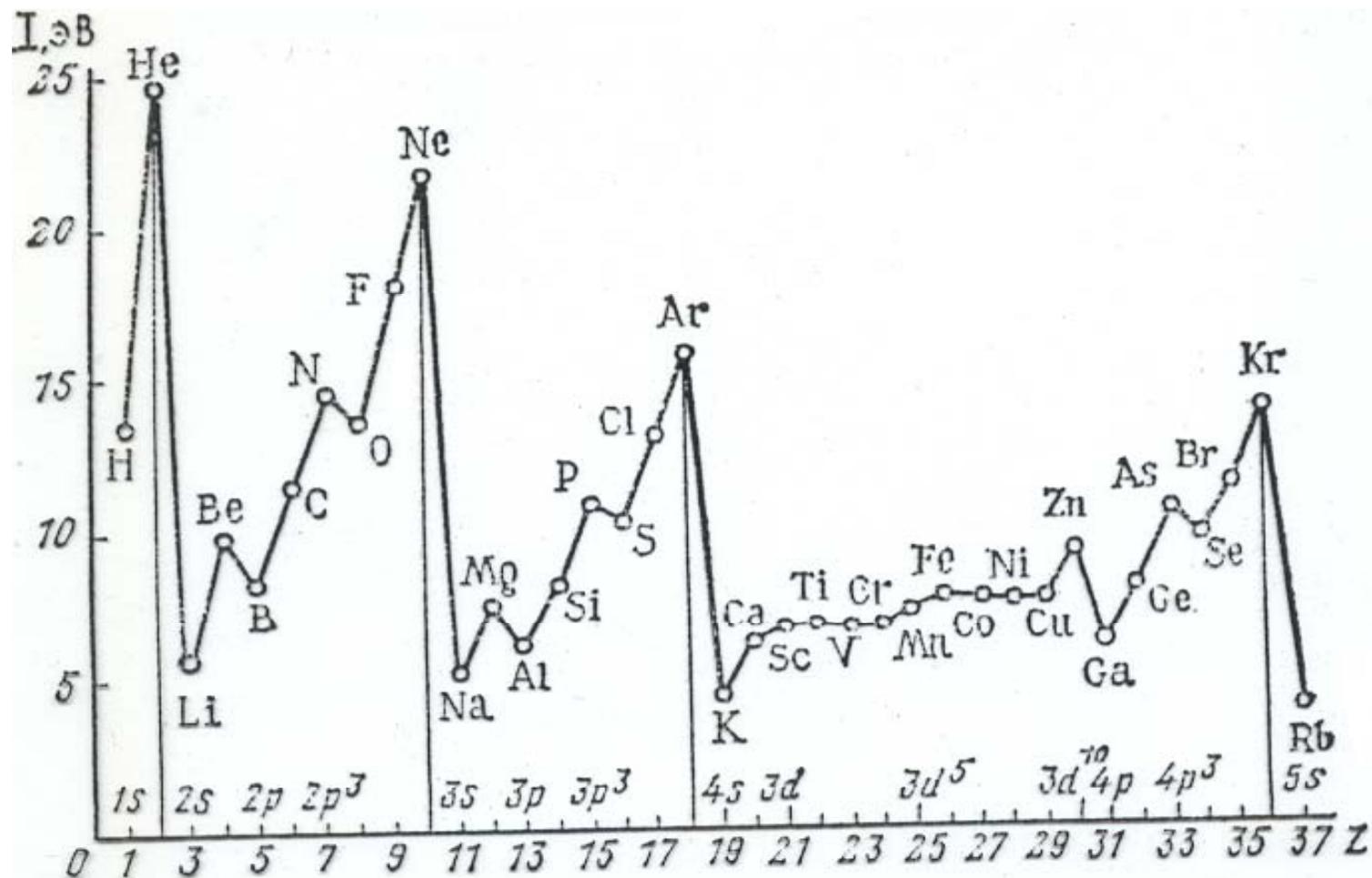
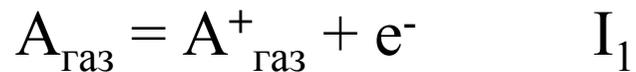


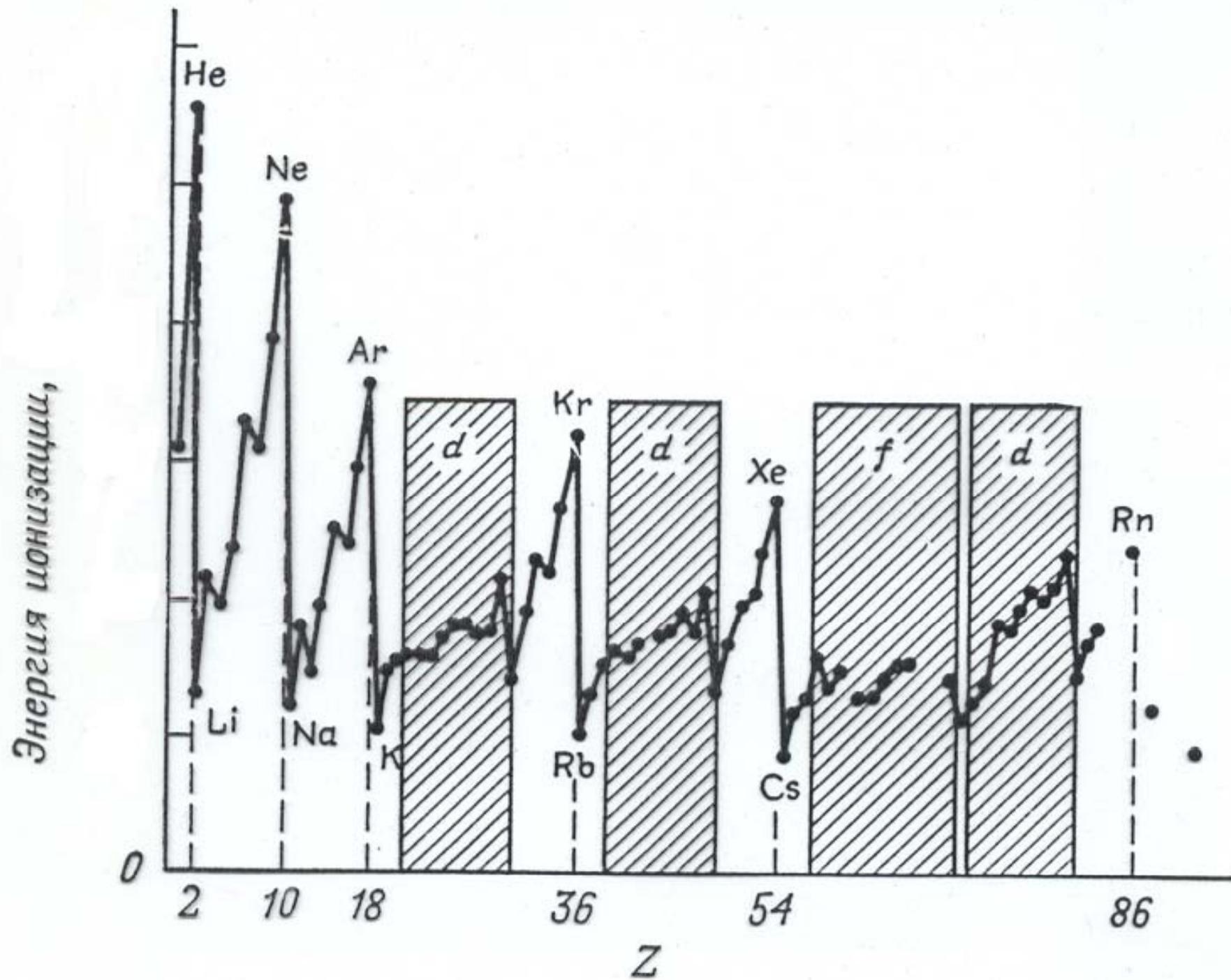
Зависимость орбитальных радиусов атомов от атомного номера элемента



Характеристики атомов

- Потенциал ионизации I_i





Характеристики атомов

- Сродство к электрону A_e

$$A_{\text{газ}} + e^- = A_{\text{газ}}^- \quad A_e$$

- Магнитный момент $\mu_{\text{эфф}}$

$$\mu_{\text{эфф}} = 2\sqrt{S(S+1)} = \sqrt{n(n+2)}$$

- Электроотрицательность χ

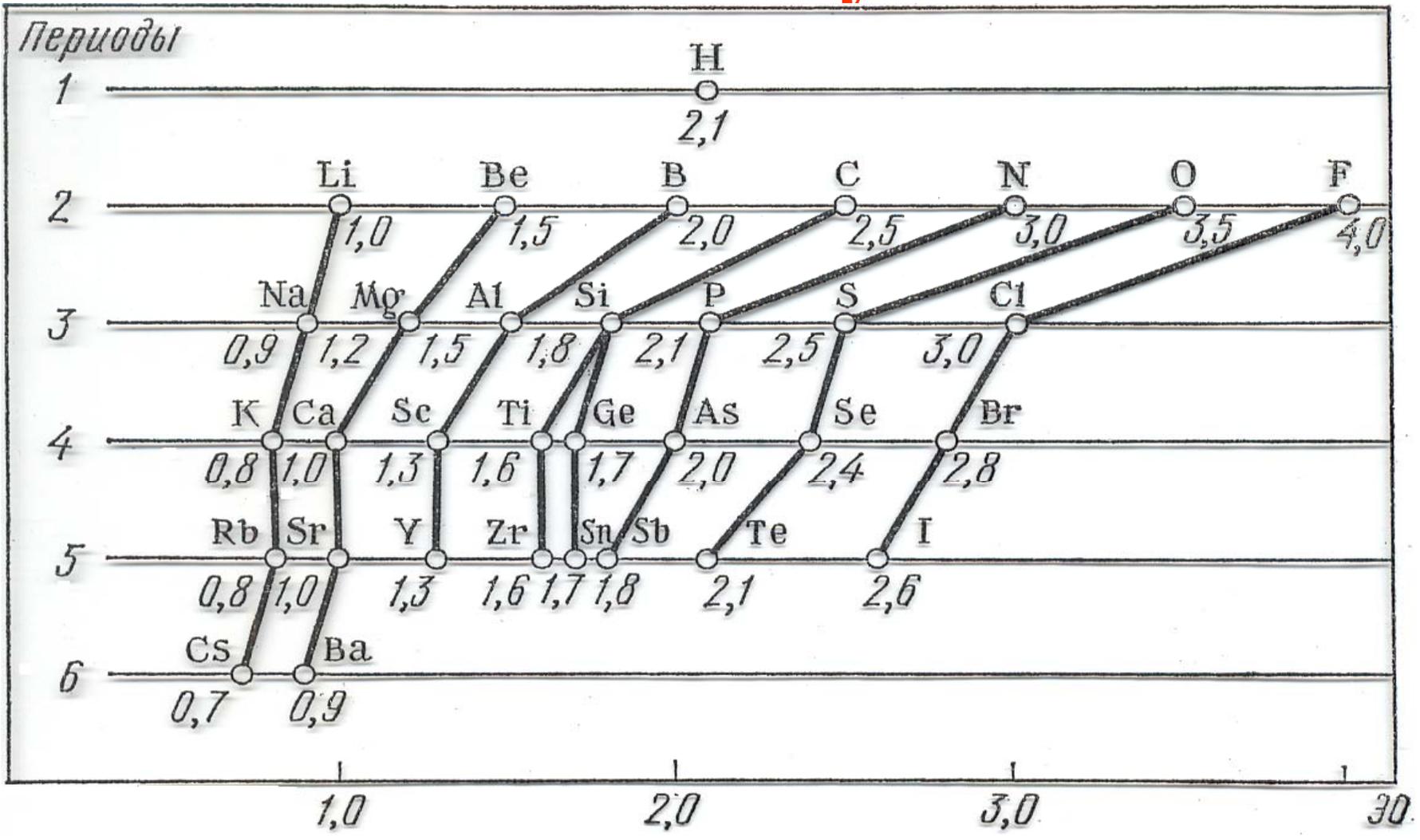
Мера смещения электронной плотности при взаимодействии с другим атомом.

Шкалы: Полинга χ_P , Олреда – Рохова χ_{AR} , Малликена χ_M

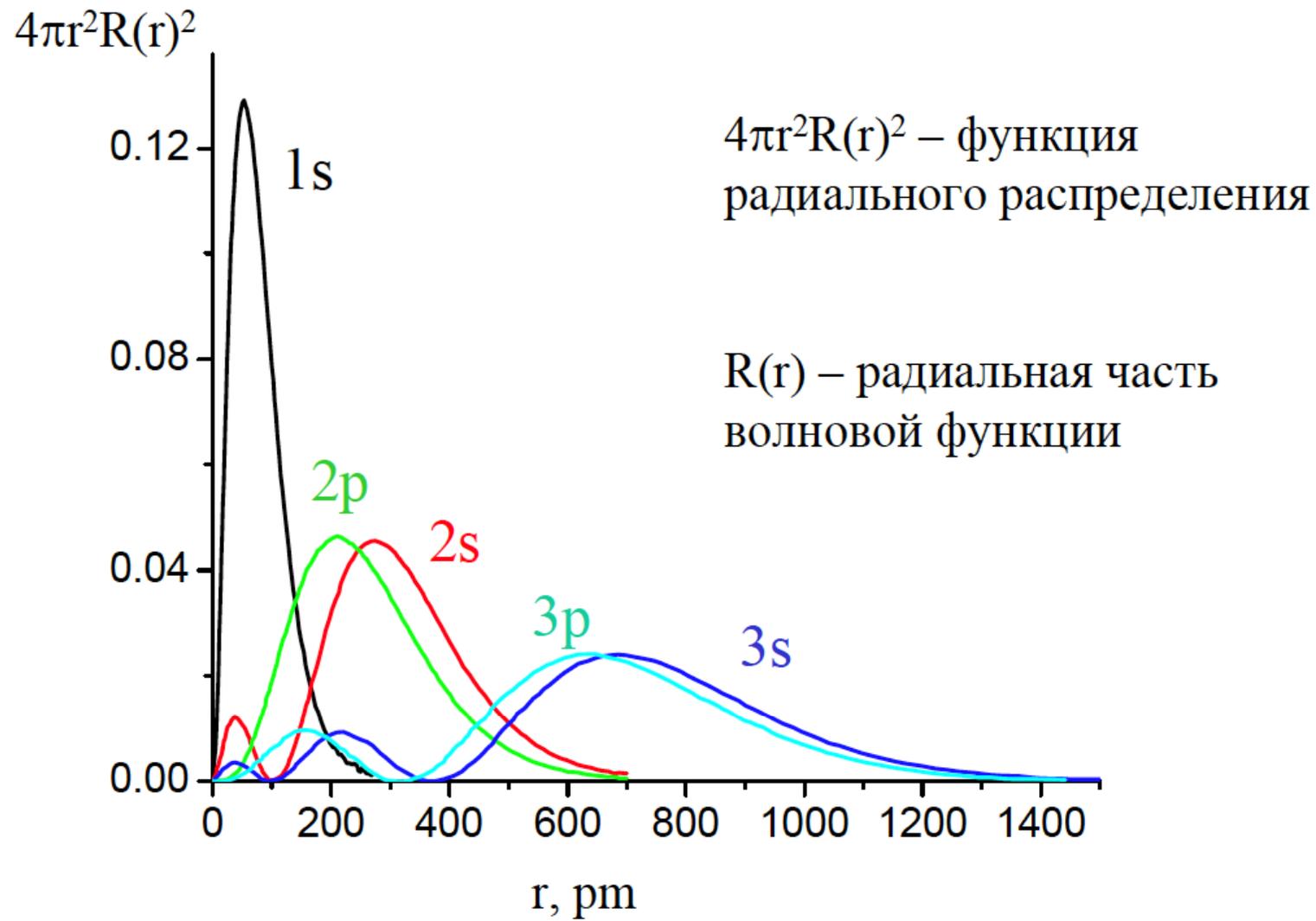
$$\chi_M = \frac{1}{2}(I_1 + A_e)$$

Электрoтрицательности элементов																
H 2.1												B 2.0	C 2.5	N 3.1	O 3.5	F 4.1
Li 1.0	Be 1.5											Al 1.5	Si 2.5	P 2.1	S 2.4	Cl 2.9
Na 1.0	Mg 1.3															
K 0.9	Ca 1.1	Sc 1.2	Ti 1.3	V 1.5	Cr 1.6	Mn 1.6	Fe 1.7	Co 1.7	Ni 1.8	Cu 1.8	Zn 1.7	Ga 1.8	Ge 2.0	As 2.2	Se 2.5	Br 2.8
Rb 0.9	Sr 1.0	Y 1.1	Zr 1.2	Nb 1.3	Mo 1.3	Tc 1.4	Ru 1.4	Rh 1.4	Pd 1.4	Ag 1.4	Cd 1.5	In 1.5	Sn 1.7	Sb 1.8	Te 2.0	I 2.2
Cs 0.9	Ba 0.9	La 1.1	Hf 1.2	Ta 1.4	W 1.5	Re 1.5	Os 1.5	Ir 1.6	Pt 1.5	Au 1.4	Hg 1.5	Tl 1.5	Pb 1.6	Bi 1.7	Po 1.8	At 2.0
Fr 0.9	Ra 0.9	Ac 1.0														

Шкала электроотрицательностей по Полингу



Протяженность орбиталей



Химические и физические варианты

Периодичность свойств \leftrightarrow периодичность заселения электронных уровней

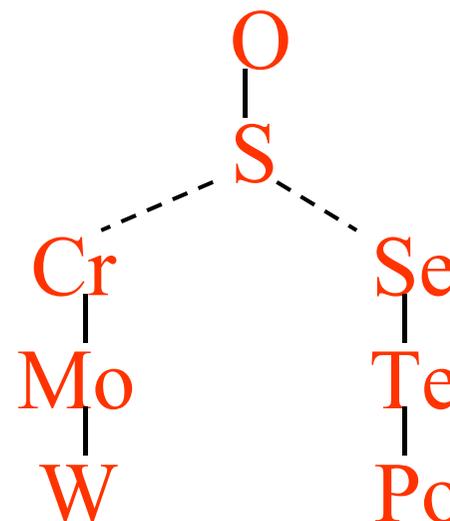
Элементы – полные электронные аналоги – сходство во всех СО

Неполные электронные аналоги – не во всех СО

O..... $2s^2 2p^4$, S..... $3s^2 3p^4$

Se, Te, Po... $(n-1)d^{10} ns^2 np^4$

Cr, Mo, W.... $(n-1)d^5 ns^1$



Периодическая система

The diagram illustrates the periodic table with the following labels and structure:

- Groups (Группы):** Roman numerals I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII are placed above the columns. The first two columns are labeled 1 and 2. The columns from the third to the tenth are labeled 3 through 12. The last six columns are labeled 13 through 18.
- Periods (Периоды):** Numbers 2 through 7 are placed to the right of the rows.
- Blocks:**
 - s-блок:** The first two columns.
 - d-блок:** The ten columns between groups 2 and 10.
 - p-блок:** The last six columns (groups 13-18).
 - f-блок:** The lanthanoid and actinoid series, shown as two rows of 14 elements each, branching from the bottom of the d-block.
- Other Labels:** "Лантаноиды" (Lanthanoids) and "Актиноиды" (Actinoids) are written to the right of the f-block rows.

Первый период $\rightarrow 2$

Второй и третий период периоды $\rightarrow 8$

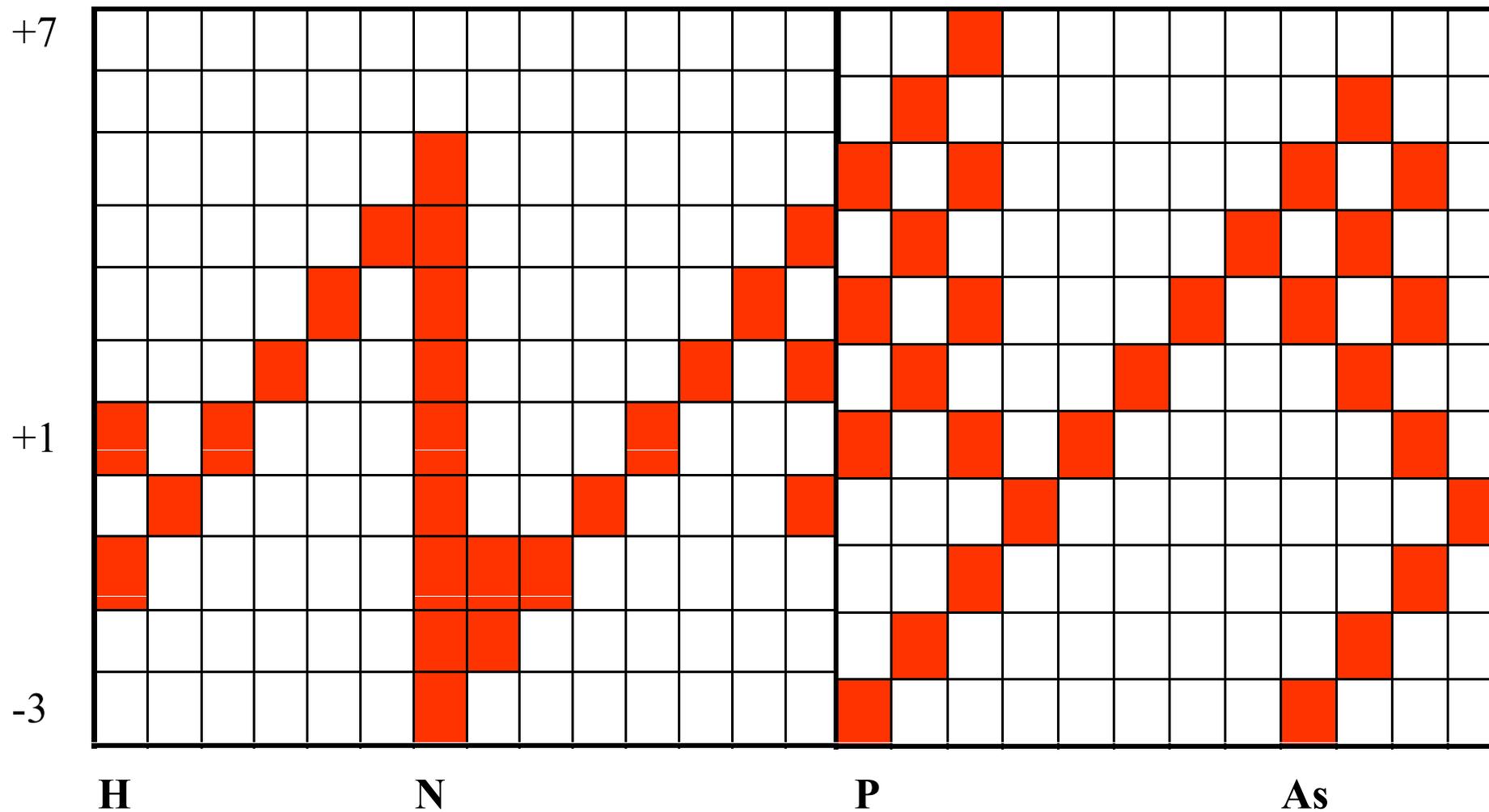
Четвертый и пятый периоды $\rightarrow 18$

Шестой и седьмой периоды $\rightarrow 32$

Простые вещества, как они есть

The Elements																																
1 H Hydrogen																	2 He Helium															
3 Li Lithium	4 Be Beryllium													5 B Boron	6 C Carbon	7 N Nitrogen	8 O Oxygen	9 F Fluorine	10 Ne Neon													
11 Na Sodium	12 Mg Magnesium													13 Al Aluminum	14 Si Silicon	15 P Phosphorus	16 S Sulfur	17 Cl Chlorine	18 Ar Argon													
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titanium	23 V Vanadium	24 Cr Chromium	25 Mn Manganese	26 Fe Iron	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Copper	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Selenium	35 Br Bromine	36 Kr Krypton															
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdenum	43 Tc Technetium	44 Ru Ruthenium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Silver	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Tin	51 Sb Antimony	52 Te Tellurium	53 I Iodine	54 Xe Xenon															
55 Cs Cesium	56 Ba Barium	57 La Lanthanum	58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantalum	74 W Tungsten	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platinum	79 Au Gold	80 Hg Mercury	81 Tl Thallium	82 Pb Lead	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon	
87 Fr Francium	88 Ra Radium	89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Neptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Uub Ununbium	113 Uut Ununtrium	114 Uuq Ununquadium	115 Uup Ununpentium	116 Uuh Ununhexium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium	
Radioactive elements			57 La Lanthanum	58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantalum	74 W Tungsten	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platinum	79 Au Gold	80 Hg Mercury	81 Tl Thallium	82 Pb Lead	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astatine	86 Rn Radon

Степени окисления непереходных элементов



Классификация элементов по химическому состоянию в природе

Класс	Химическая форма	Основные элементы	Основные места локализации элементов
Атмофильные	Газы	Благородные газы, частично O, N, H	Воздух
Сидерофильные	Простые вещества — металлы	Fe, Co, Ni, Au, платиновые металлы, частично Mn, Re	Земное ядро, на поверхности в виде самородков
Халькофильные	Сульфиды	Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Se, Te, In, Tl	Сульфидные минералы
Литофильные	Силикаты и гидратированные ионы	Элементы групп 1, 2, 3, 4, 5, 6 таблицы Менделеева, O, C, Si, P, галогены	Оксиды, силикаты, солеобразные минералы, морские отложения, морская вода, соленые воды

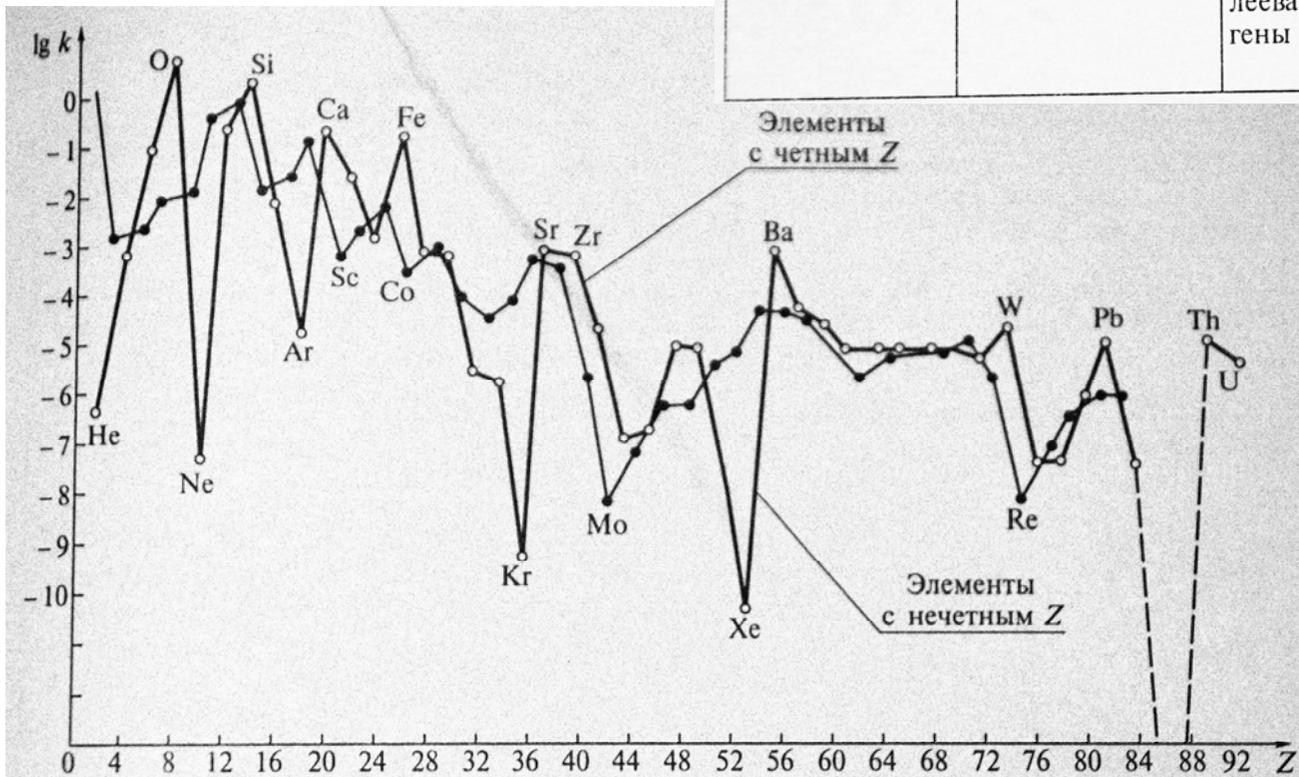


Рис. 3.24. Распространенность элементов в земной коре ($\lg k$ — логарифм атомных кларков по Ферсману)

- I A: Li, Na, K, Rb, Cs, Fr

① [] ns^1 щелочные металлы

- II A: Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra

② [] ns^2 щелочноземельные металлы

- III A: B, Al, Ga, In, Tl

⑬ [] ns^2np^1

- IV A: C, Si, Ge, Sn, Pb

⑭ [] ns^2np^2

- V A: N, P, As, Sb, Bi

⑮ [] ns^2np^3 пниктогены

- VI A: O, S, Se, Te, Po

⑯ [] ns^2np^4 халькогены

- VII A: F, Cl, Br, I, At

①⑦ [] ns²np⁵ галогены

- O: He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn

①⑧ 1s² [] ns²np⁶ инертные газы



3d – элементы (Sc → Zn)

4d – элементы (Y → Cd)

5d – элементы (La → Hg)

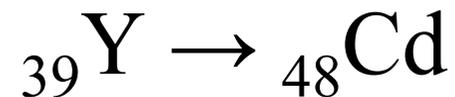
6d – элементы (Ac, Th, Lr → Mt)

4f – элементы (Ce → Lu)

5f – элементы (Pa → No)

Число главных подгрупп = максимальное
число $s + p$ электронов = 8

Число переходных элементов =
максимальное число d элементов = 10



Число лантаноидов = максимальное число f
элементов = 14

Водород – особый элемент

Простейшее
электронное
строение: $1s^1$



Особое
положение
водорода в ПС

	1	2		13	14	15	16	17	18
	H							(H)	He
	Li	Be		B	C	N	O	F	Ne
	Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	Ar
	K	Ca	d-block	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	Rb	Sr		In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	Cs	Ba		Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	Fr	Ra							

1 группа: ион H^+ аналогичен катионам щелочных металлов – нет электронов на валентном уровне

17 группа: ион H^- аналогичен анионам галогенов – оболочка инертного газа

Элементы-неметаллы

1	2		13	14	15	16	17	18
H							(H)	He
Li	Be		B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	<i>d</i> -block	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr		In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra							

Всего **25** элементов-
неметаллов, из них **3**
радиоактивны

1. Число валентных e^- :
 $n=N-10$

2. Электроотрицательность
увеличивается слева
направо и снизу вверх

3. Основные
положительные степени
окисления $n, n-2$

4. Основная отрицательная
степень окисления $-(8-n)$

- Молекулярные, слоистые или цепочечные структуры с малыми к.ч.
- Плохо проводят электрический ток
- Обладают малой эластичностью и большой хрупкостью
- Имеют высокие значения электроотрицательности, больше потенциалы ионизации
- Легко образуют анионы, реагируя с металлами
- Не выделяют водород из кислот
- Образуют ковалентные оксиды, обычно с кислотными свойствами
- Образуют молекулярные фториды
- Образуют молекулярные гидриды, обладающие восстановительными свойствами

Благородные газы

He гелий (солнечный)

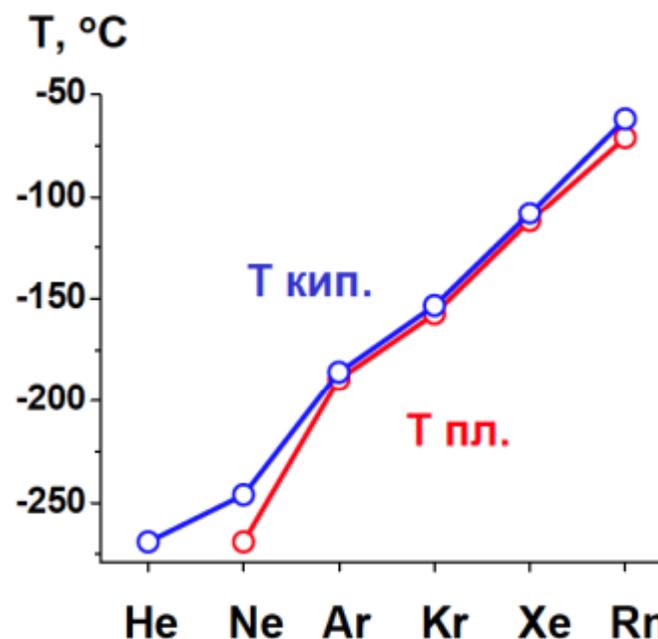
Ne неон (новый)

Ar аргон (недеятельный)

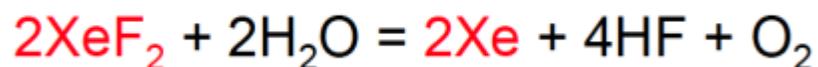
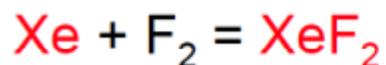
Kr криптон (скрытый)

Xe ксенон (чужой)

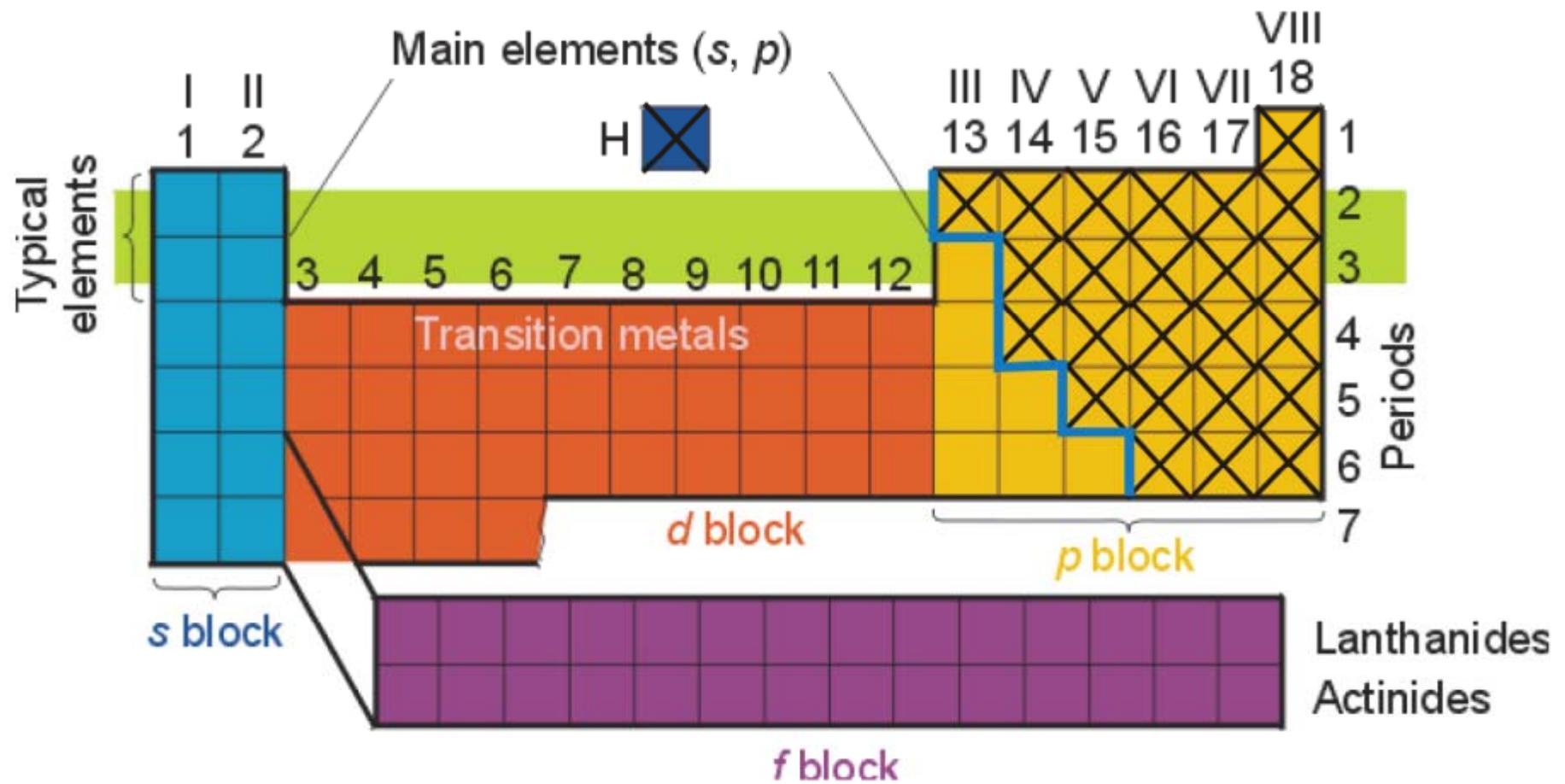
Rn радон (радиоактивный)



1. Имеют завершённые электронные оболочки
2. Очень не реакционноспособны
3. He, Ne, Ar не образуют химических соединений
4. Известны производные ксенона в с.о. +2, +4, +6, +8



Элементы-металлы в ПС



Щелочные и щелочноземельные металлы

	1	2		13	14	15	16	17	18
	H							(H)	He
s-металлы	Li	Be		B	C	N	O	F	Ne
	Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	Ar
	K	Ca	d-block	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
	Rb	Sr		In	Sn	Sb	Te	I	Xe
	Cs	Ba		Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
	Fr	Ra							

Щелочные металлы

Щелочноземельные металлы

p-Металлы

1	2		13	14	15	16	17	18
H							(H)	He
Li	Be		B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	d-block	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr		In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra							

Al
Sn
Bi

p-металлы

1. Электронные конфигурации, как у неметаллов – незавершенный *p*-подуровень

2. Легкоплавкие металлы

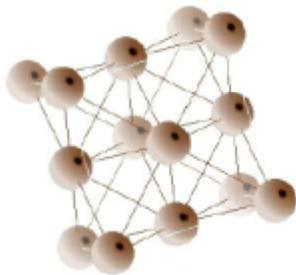
3. Малые значения I_1

4. Устойчивы положительные степени окисления $+n$ и $+(n - 2)$

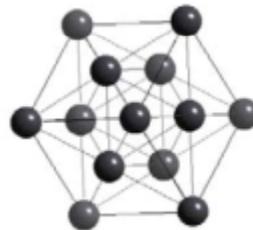
5. Вниз по подгруппе увеличивается стабильность с.о. $+(n - 2)$

6. Химическая активность меньше, чем у *s*-металлов

Al



Pb



d-Металлы

3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

1 ряд	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
2 ряд	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
3 ряд	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg



+ лантаниды



триада железа



платиновые металлы



монетные металлы

Изменение электронной конфигурации:

от $[\text{Ng}]ns^2(n-1)d^1$
до $[\text{Ng}]ns^2(n-1)d^{10}$

f-металлы

4*f*-металлы – лантаниды

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf

Chapter 22 Opener

Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition

© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong

5*f*-металлы – актиниды



1. Заполняется *f*-подуровень $n-2$ периода
2. Лантаниды: степени окисления +3 для всех элементов, а также Ce^{+4} , Eu^{2+}
3. Лантаниды: радиус уменьшается от La до Lu (*лантанидное сжатие*)
4. Актиниды: химически очень разнообразны, с.о. от +2 до +7
5. Все актиниды, а также Pm радиоактивны
6. Для всех *f*-элементов характерны высокие координационные числа

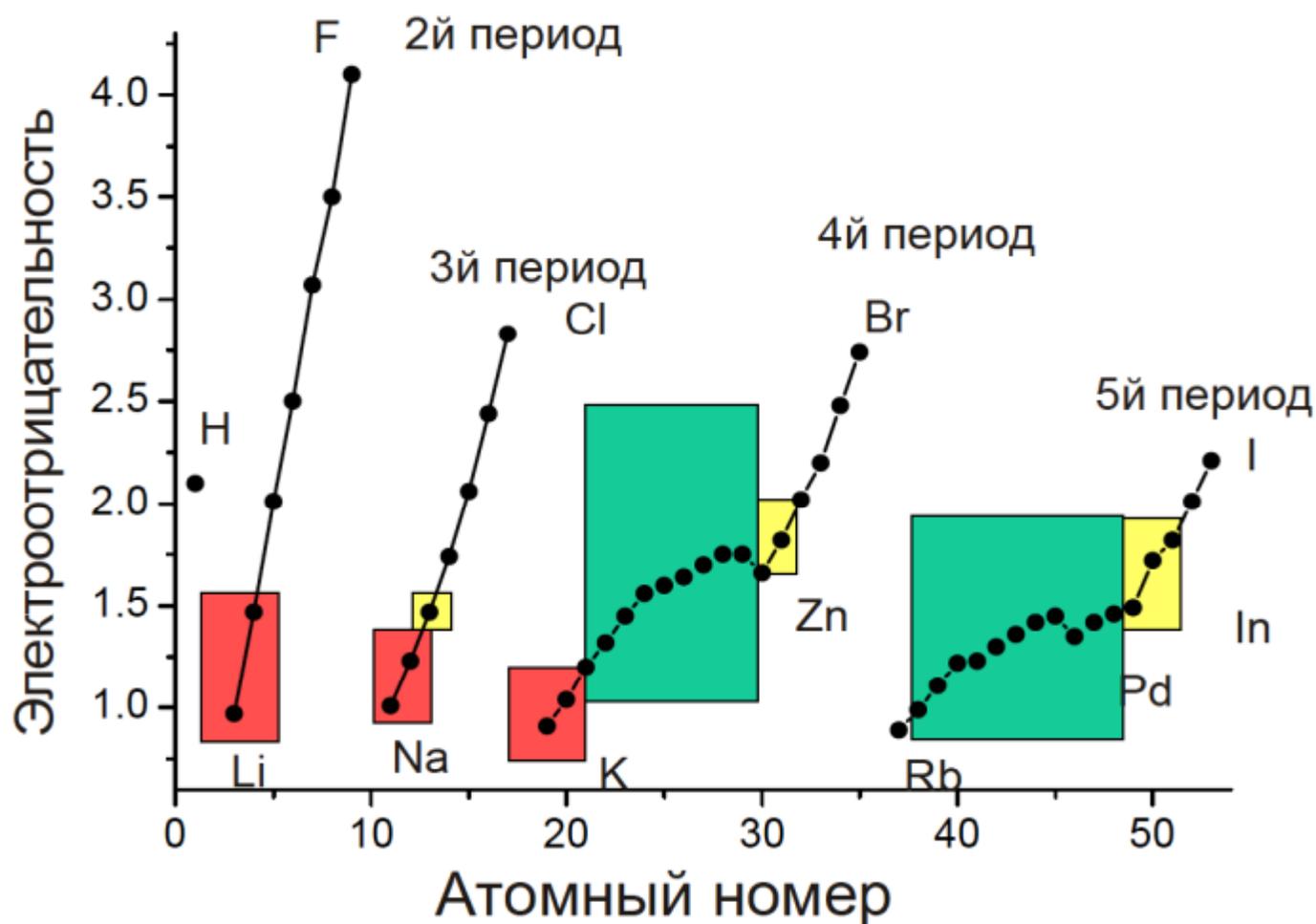
Особенности элементов-металлов

1. Широкий диапазон твердости и пластичности
2. Широкий диапазон температур плавления



3. Различная реакционная способность
4. Различная электроотрицательность, но $\chi \leq 2$.
5. Различная удельная проводимость, но $d\sigma/dT < 0$

Электроотрицательность металлов




s-металлы


p-металлы


d-металлы

H 1
1,00794
1s¹
Водород

H 1
1,00794
1s¹
Водород

🇯🇵 水素
🇺🇸 Hydrogen
🇩🇪 Wasserstoff
🇫🇷 Hydrogène
🇪🇸 Hidrógeno

He 2
4,002602
1s²
Гелий

Li 3
6,941
2s² 2s¹
Литий

Be 4
9,012182
2s²
Бериллий

Na 11
22,98977
3s² 3s¹
Натрий

Mg 12
24,305
3s²
Магний

B 5
10,811
2s² 2p¹
Бор

C 6
12,0107
2s² 2p²
Углерод

N 7
14,00674
2s² 2p³
Азот

O 8
15,9994
2s² 2p⁴
Кислород

F 9
18,9984
2s² 2p⁵
Фтор

Ne 10
20,1797
2s² 2p⁶
Неон

Al 13
26,981538
3s² 3p¹
Алюминий

Si 14
28,0855
3s² 3p²
Кремний

P 15
30,973761
3s² 3p³
Фосфор

S 16
32,066
3s² 3p⁴
Сера

Cl 17
35,453
3s² 3p⁵
Хлор

Ar 18
39,948
3s² 3p⁶
Аргон

K 19
39,0983
4s² 4s¹
Калий

Ca 20
40,078
4s²
Кальций

Sc 21
44,95591
3d¹ 4s²
Скандий

Ti 22
47,887
3d² 4s²
Титан

V 23
50,9415
3d³ 4s²
Ванадий

Cr 24
51,9961
3d⁵ 4s¹
Хром

Mn 25
54,938044
3d⁵ 4s²
Марганец

Fe 26
55,845
3d⁶ 4s²
Железо

Co 27
58,9332
3d⁷ 4s²
Кобальт

Ni 28
58,6934
3d⁸ 4s²
Никель

Cu 29
63,546
3d¹⁰ 4s¹
Медь

Zn 30
65,39
3d¹⁰ 4s²
Цинк

Ga 31
69,723
4s² 4p¹
Галлий

Ge 32
72,61
4s² 4p²
Германий

As 33
74,9216
4s² 4p³
Мышьяк

Se 34
78,96
4s² 4p⁴
Селен

Br 35
79,904
4s² 4p⁵
Бром

Kr 36
83,80
4s² 4p⁶
Криптон

Rb 37
85,4678
5s² 5s¹
Рубидий

Sr 38
87,62
5s²
Стронций

Y 39
88,90585
4d¹ 5s²
Иттрий

Zr 40
91,224
4d² 5s²
Цирконий

Nb 41
92,90638
4d⁴ 5s¹
Ниобий

Mo 42
95,94
4d⁵ 5s¹
Молибден

Tc 43
(99)
4d⁵ 5s²
Технеций

Ru 44
101,07
4d⁷ 5s¹
Рутений

Rh 45
102,9055
4d⁸ 5s¹
Родий

Pd 46
106,42
4d¹⁰ 5s⁰
Палладий

Ag 47
107,8682
4d¹⁰ 5s¹
Серебро

Cd 48
112,411
4d¹⁰ 5s²
Кадмий

In 49
114,818
5s² 5p¹
Индий

Sn 50
118,710
5s² 5p²
Олово

Sb 51
121,76
5s² 5p³
Сурьма

Te 52
127,60
5s² 5p⁴
Теллур

I 53
126,90447
5s² 5p⁵
Иод

Xe 54
131,29
5s² 5p⁶
Ксенон

Cs 55
132,90545
6s² 6s¹
Цезий

Ba 56
137,327
6s²
Барий

La 57
138,9055
4f¹ 5d⁰ 6s²
Лантан

Hf 72
178,48
4f¹⁴ 5d² 6s²
Гафний

Ta 73
180,9479
4f¹⁴ 5d³ 6s²
Тантал

W 74
183,84
4f¹⁴ 5d⁴ 6s²
Вольфрам

Re 75
186,207
4f¹⁴ 5d⁵ 6s²
Рений

Os 76
190,23
4f¹⁴ 5d⁶ 6s²
Осмий

Ir 77
192,222
4f¹⁴ 5d⁷ 6s²
Ирмидий

Pt 78
195,078
5d⁹ 6s¹
Платина

Au 79
196,96655
5d¹⁰ 6s¹
Золото

Hg 80
200,59
5d¹⁰ 6s²
Ртуть

Tl 81
204,3833
6s² 6p¹
Таллий

Pb 82
207,2
6s² 6p²
Свинец

Bi 83
208,98038
6s² 6p³
Висмут

Po 84
[209]
6s² 6p⁴
Полоний

At 85
[210]
6s² 6p⁵
Астат

Rn 86
[222]
6s² 6p⁶
Радон

Fr 87
[223]
7s² 7s¹
Франций

Ra 88
[226]
7s²
Радий

Ac 89
[227]
6d¹ 7s²
Актиний

Rf 104
[261]
5f¹⁴ 6d² 7s²
Резерфордий

Db 105
[262]
5f¹⁴ 6d³ 7s²
Дубний

Sg 106
[263]
5f¹⁴ 6d⁴ 7s²
Сибирговий

Bh 107
[264]
5f¹⁴ 6d⁵ 7s²
Борий

Hs 108
[265]
5f¹⁴ 6d⁶ 7s²
Хассий

Mt 109
[266]
5f¹⁴ 6d⁷ 7s²
Мейтнерий

Ds 110
[268]
5f¹⁴ 6d⁸ 7s²
Дармштадтий

Rg 111
[269]
5f¹⁴ 6d⁹ 7s²
Рентгений

Uub 112
[285]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7s²
Унунбий

Uut 113
[284]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7p¹
Унунтрий

Uuq 114
[289]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7p²
Унунквдий

Uup 115
[288]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7p³
Унунпентий

Uuh 116
[292]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7p⁴
Унунгексий

Uus 117
[310]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7p⁵
Унунсептий

Uuo 118
[314]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7p⁶
Унуноктий

Uue 119
[316]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7p⁶
Унунений

Ubn 120
[318]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7p⁶
Унунбиний

Ubu 121
[322]
5f¹⁴ 6d¹⁰ 7p⁶
Унунбуний

Upq 154
[410]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектквадрий

Upp 155
[412]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектпентий

Uph 156
[414]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектгексий

Ups 157
[418]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектсептий

Upo 158
[420]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектоктый

Upe 159
[422]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектенний

Uhn 160
[426]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упекттиний

Uhu 161
[428]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектуний

Uhb 162
[430]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектвений

Uht 163
[434]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упекттрий

Uhq 164
[436]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектквадрий

Uhp 165
[438]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектпентий

Uhh 166
[442]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектгексий

Uhs 167
[460]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектсептий

Uho 168
[462]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектоктый

Uhe 169
[466]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектенний

Usn 170
[469]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упекттиний

Usü 171
[471]
5g¹⁸ 6f¹⁴ 7p⁶
Упектуний

Bng 204
[564]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бингквадрий

Bnp 205
[566]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бингпентий

Bnh 206
[572]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бинггексий

Bns 207
[574]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бингсептий

Bno 208
[577]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бингоктый

Bne 209
[577]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Биненний

Bun 210
[580]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бинуний

Buu 211
[582]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бинунбий

Bub 212
[585]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бинувений

But 213
[589]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бинутрий

Buq 214
[590]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бинуквадрий

Bup 215
[592]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бинупентий

Buh 216
[597]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бинугексий

Bus 217
[620]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Бинусептий

Buo 218
[622]
6g¹² 7f¹⁴ 8d⁴ 9s¹
Биноктый

Ce 58
140,116
4f¹ 5d¹ 6s²
Церий

Pr 59
140,90765
4f² 5d⁰ 6s²
Прометий

Nd 60
144,24
4f³ 5d⁰ 6s²
Неодим

Pm 61
[145]
4f⁴ 5d⁰ 6s²
Прометий

Sm 62
150,36
4f⁵ 5d⁰ 6s²
Самарий

Eu 63
151,964
4f⁶ 5d⁰ 6s²
Европий

Gd 64
157,25
4f⁷ 5d⁰ 6s²
Гадолий

Tb 65
158,92534
4f⁷ 5d¹ 6s²
Тербий