

1. Распространенные элементы. строение атомов. Электронные оболочки. Орбитали

Химический элемент – определенный вид атомов, обозначаемый названием и символом и характеризующийся порядковым номером и относительной атомной массой.

В табл. 1 перечислены распространенные химические элементы, приведены символы, которыми они обозначаются (в скобках – произношение), порядковые номера, относительные атомные массы, характерные степени окисления.

Нулевая степень окисления элемента в его простом веществе (веществах) в таблице не указана.

Т а б л и ц а 1

Название	Символ	Z	A _r	Степень окисления
Азот	N (эн)	7	14,007	–III, +II, III, IV, V
Алюминий	Al (алюминий)	13	26,982	+III
Аргон	Ar (аргон)	18	39,948	—
Барий	Ba (барий)	56	137,327	+II
Бериллий	Be (бериллий)	4	9,012	+II
Бор	B (бор)	5	10,811	+III
Бром	Br (бром)	35	79,904	–I, +I, V, VII
Ванадий	V (ванадий)	23	50,942	+III, IV, V
Висмут	Bi (висмут)	83	208,980	+III, V
Водород	H (аш)	1	1,008	–I, +I
Вольфрам	W (вольфрам)	74	183,84	+IV, VI
Галлий	Ga (галлий)	31	69,723	+III
Гафний	Hf (гафний)	72	178,49	+IV
Гелий	He (гелий)	2	4,003	—
Германий	Ge (германий)	32	72,61	+IV
Железо	Fe (феррум)	26	55,847	+II, III, VI, VIII
Золото	Au (аурум)	79	196,967	+I, III
Индий	In (индий)	49	114,818	+III
Иод	I (иод)	53	126,904	–I, +I, V, VII
Иридий	Ir (иридий)	77	192,217	+III, IV

Название	Символ	Z	A _r	Степень окисления
Иттрий	Y (иттрий)	39	88,906	+III
Кадмий	Cd (кадмий)	48	112,411	+II
Калий	K (калий)	19	39,098	+I
Кальций	Ca (кальций)	20	40,078	+II
Кислород	O (o)	8	15,999	-II, -I, +II
Кобальт	Co (кобальт)	27	58,933	+II, III
Кремний	Si (силициум)	14	28,086	-IV, +IV
Криптон	Kr (криптон)	36	83,80	+II
Ксенон	Xe (ксенон)	54	131,29	+II, IV, VI, VIII
Лантан	La (лантан)	57	138,906	+III
Литий	Li (литий)	3	6,941	+I
Магний	Mg (магний)	12	24,305	+II
Марганец	Mn (марганец)	25	54,938	+II, IV, VI, VII
Медь	Cu (купрум)	29	63,546	+I, II
Молибден	Mo (молибден)	42	95,94	+IV, VI
Мышьяк	As (арсеникум)	33	74,922	+III, V
Натрий	Na (натрий)	11	22,990	+I
Неон	Ne (неон)	10	20,180	—
Никель	Ni (никель)	28	58,693	+II
Ниобий	Nb (ниобий)	41	92,906	+IV, V
Олово	Sn (станнум)	50	118,710	+II, IV
Осмий	Os (осмий)	76	190,23	+IV, VI, VIII
Палладий	Pd (палладий)	46	106,42	+II, IV
Платина	Pt (платина)	78	195,08	+II, IV
Рений	Re (рений)	75	186,207	+IV, VII
Родий	Rh (родий)	45	102,906	+III, IV
Ртуть	Hg (гидраргирум)	80	200,59	+I, II
Рубидий	Rb (рубидий)	37	85,468	+I
Рутений	Ru (рутений)	44	101,07	+II, IV, VI, VIII
Свинец	Pb (плюмбум)	82	207,2	+II, IV
Селен	Se (селен)	34	78,96	-II, +IV, VI
Сера	S (эс)	16	32,066	-II, +IV, VI
Серебро	Ag (аргентум)	47	107,868	+I
Скандий	Sc (скандий)	21	44,956	+III
Стронций	Sr (стронций)	38	87,62	+II
Сурьма	Sb (стибиум)	51	121,760	+III, V
Таллий	Tl (таллий)	81	204,383	+I, III
Тантал	Ta (тантал)	73	180,948	+IV, V
Теллур	Te (теллур)	52	127,60	-II, +IV, VI
Титан	Ti (титан)	22	47,867	+III, IV
Торий	Th (торий)	90	232,038	+IV
Углерод	C (цэ)	6	12,011	-IV, +II, IV

Название	Символ	Z	A_r	Степень окисления
Уран	U (уран)	92	238,029	+III, IV, VI
Фосфор	P (пэ)	15	30,974	-III, +I, III, V
Фтор	F (фтор)	9	18,998	-I
Хлор	Cl (хлор)	17	35,453	-I, +I, V, VII
Хром	Cr (хром)	24	51,996	+II, III, VI
Цезий	Cs (цезий)	55	132,905	+I
Цинк	Zn (цинк)	30	65,39	+II
Цирконий	Zr (цирконий)	40	91,224	+IV

Все атомы одного элемента имеют одно и то же число протонов в ядре и число электронов в оболочке. Так, в атоме элемента *водород* H находится $1p^+$ в ядре и на периферии $1e^-$; в атоме элемента *кислород* O находится $8p^+$ в ядре и $8e^-$ в оболочке; атом элемента *алюминий* Al содержит $13p^+$ в ядре и $13e^-$ в оболочке.

Атомы одного элемента могут различаться числом нейтронов в ядре, такие атомы называются изотопами. Так, у элемента *водород* H три изотопа: водород-1 (специальное название и символ *протий* ^1H) с $1p^+$ в ядре и $1e^-$ в оболочке; водород-2 (*дейтерий* ^2H , или D) с $1p^+$ и $1n^0$ в ядре и $1e^-$ в оболочке; водород-3 (*тритий* ^3H , или T) с $1p^+$ и $2n^0$ в ядре и $1e^-$ в оболочке. В символах ^1H , ^2H и ^3H верхний индекс указывает *массовое число* – сумму чисел протонов и нейтронов в ядре. Другие примеры:

Элемент <i>кислород</i> O	
Кислород-16 ^{16}O	$8p^+, 8n^0, 8e^-$
Кислород-17 ^{17}O	$8p^+, 9n^0, 8e^-$
Кислород 18 ^{18}O	$8p^+, 10n^0, 8e^-$
Элемент <i>углерод</i> C	
Углерод-12 ^{12}C	$6p^+, 6n^0, 6e^-$
Углерод-13 ^{13}C	$6p^+, 7n^0, 6e^-$

Электронную формулу атома любого химического элемента в соответствии с его расположением в Периодической системе элементов Д. И. Менделеева можно определить по табл. 2.

Пе-риод	Эле-мент	Электронная формула атома	Пе-риод	Эле-мент	Электронная формула атома
1	${}^1_1\text{H}$	$1s^1$	5	${}^{37}_{37}\text{Rb}$	$[\text{Kr}] 5s^1$
	${}^2_2\text{He}$	$1s^2$		${}^{38}_{38}\text{Sr}$	$[\text{Kr}] 5s^2$
2	${}^3_3\text{Li}$	$1s^2 2s^1$		${}^{39}_{39}\text{Y}$	$[\text{Kr}] 4d^1 5s^2$
	${}^4_4\text{Be}$	$1s^2 2s^2$		${}^{40}_{40}\text{Zr}$	$[\text{Kr}] 4d^2 5s^2$
	${}^5_5\text{B}$	$1s^2 2s^2 2p^1$		${}^{41}_{41}\text{Nb}$	$[\text{Kr}] 4d^4 5s^1$
	${}^6_6\text{C}$	$1s^2 2s^2 2p^2$		${}^{42}_{42}\text{Mo}$	$[\text{Kr}] 4d^5 5s^1$
	${}^7_7\text{N}$	$1s^2 2s^2 2p^3$		${}^{43}_{43}\text{Tc}$	$[\text{Kr}] 4d^5 5s^2$
	${}^8_8\text{O}$	$1s^2 2s^2 2p^4$		${}^{44}_{44}\text{Ru}$	$[\text{Kr}] 4d^7 5s^1$
	${}^9_9\text{F}$	$1s^2 2s^2 2p^5$		${}^{45}_{45}\text{Rh}$	$[\text{Kr}] 4d^8 5s^1$
	${}^{10}_{10}\text{Ne}$	$1s^2 2s^2 2p^6$		${}^{46}_{46}\text{Pd}$	$[\text{Kr}] 4d^{10}$
3	${}^{11}_{11}\text{Na}$	$[\text{Ne}] 3s^1$		${}^{47}_{47}\text{Ag}$	$[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^1$
	${}^{12}_{12}\text{Mg}$	$[\text{Ne}] 3s^2$		${}^{48}_{48}\text{Cd}$	$[\text{Kr}, 4d^{10}] 5s^2$
	${}^{13}_{13}\text{Al}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^1$		${}^{49}_{49}\text{In}$	$[\text{Kr}, 4d^{10}] 5s^2 5p^1$
	${}^{14}_{14}\text{Si}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^2$		${}^{50}_{50}\text{Sn}$	$[\text{Kr}, 4d^{10}] 5s^2 5p^2$
	${}^{15}_{15}\text{P}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$		${}^{51}_{51}\text{Sb}$	$[\text{Kr}, 4d^{10}] 5s^2 5p^3$
	${}^{16}_{16}\text{S}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^4$		${}^{52}_{52}\text{Te}$	$[\text{Kr}, 4d^{10}] 5s^2 5p^4$
	${}^{17}_{17}\text{Cl}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^5$		${}^{53}_{53}\text{I}$	$[\text{Kr}, 4d^{10}] 5s^2 5p^5$
	${}^{18}_{18}\text{Ar}$	$[\text{Ne}] 3s^2 3p^6$		${}^{54}_{54}\text{Xe}$	$[\text{Kr}, 4d^{10}] 5s^2 5p^6$
4	${}^{19}_{19}\text{K}$	$[\text{Ar}] 4s^1$	6	${}^{55}_{55}\text{Cs}$	$[\text{Xe}] 6s^1$
	${}^{20}_{20}\text{Ca}$	$[\text{Ar}] 4s^2$		${}^{56}_{56}\text{Ba}$	$[\text{Xe}] 6s^2$
	${}^{21}_{21}\text{Sc}$	$[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$		${}^{57}_{57}\text{La}$	$[\text{Xe}] 5d^1 6s^2$
	${}^{22}_{22}\text{Ti}$	$[\text{Ar}] 3d^2 4s^2$		${}^{58}_{58}\text{Ce}$	$[\text{Xe}] 4f^{1-2} 5d^{1-0} 6s^2$
	${}^{23}_{23}\text{V}$	$[\text{Ar}] 3d^3 4s^2$		${}^{59}_{59}\text{Pr}$	$[\text{Xe}] 4f^3 6s^2$
	${}^{24}_{24}\text{Cr}$	$[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$		${}^{60}_{60}\text{Nd}$	$[\text{Xe}] 4f^4 6s^2$
	${}^{25}_{25}\text{Mn}$	$[\text{Ar}] 3d^5 4s^2$		${}^{61}_{61}\text{Pm}$	$[\text{Xe}] 4f^5 6s^2$
	${}^{26}_{26}\text{Fe}$	$[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$		${}^{62}_{62}\text{Sm}$	$[\text{Xe}] 4f^6 6s^2$
	${}^{27}_{27}\text{Co}$	$[\text{Ar}] 3d^7 4s^2$		${}^{63}_{63}\text{Eu}$	$[\text{Xe}] 4f^7 6s^2$
	${}^{28}_{28}\text{Ni}$	$[\text{Ar}] 3d^8 4s^2$		${}^{64}_{64}\text{Gd}$	$[\text{Xe}] 4f^7 5d^1 6s^2$
	${}^{29}_{29}\text{Cu}$	$[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$		${}^{65}_{65}\text{Tb}$	$[\text{Xe}] 4f^8-9 5d^{1-0} 6s^2$
	${}^{30}_{30}\text{Zn}$	$[\text{Ar}, 3d^{10}] 4s^2$		${}^{66}_{66}\text{Dy}$	$[\text{Xe}] 4f^{10} 6s^2$
	${}^{31}_{31}\text{Ga}$	$[\text{Ar}, 3d^{10}] 4s^2 4p^1$		${}^{67}_{67}\text{Ho}$	$[\text{Xe}] 4f^{11} 6s^2$
	${}^{32}_{32}\text{Ge}$	$[\text{Ar}, 3d^{10}] 4s^2 4p^2$		${}^{68}_{68}\text{Er}$	$[\text{Xe}] 4f^{12} 6s^2$
	${}^{33}_{33}\text{As}$	$[\text{Ar}, 3d^{10}] 4s^2 4p^3$		${}^{69}_{69}\text{Tm}$	$[\text{Xe}] 4f^{13} 6s^2$
	${}^{34}_{34}\text{Se}$	$[\text{Ar}, 3d^{10}] 4s^2 4p^4$		${}^{70}_{70}\text{Yb}$	$[\text{Xe}] 4f^{14} 6s^2$
	${}^{35}_{35}\text{Br}$	$[\text{Ar}, 3d^{10}] 4s^2 4p^5$		${}^{71}_{71}\text{Lu}$	$[\text{Xe}, 4f^{14}] 5d^1 6s^2$
	${}^{36}_{36}\text{Kr}$	$[\text{Ar}, 3d^{10}] 4s^2 4p^6$		${}^{72}_{72}\text{Hf}$	$[\text{Xe}, 4f^{14}] 5d^2 6s^2$

Пе-риод	Эле-мент	Электронная формула атома	Пе-риод	Эле-мент	Электронная формула атома
6	⁷³ Ta	[Xe, 4f ¹⁴] 5d ³ 6s ²	7	⁹² U	[Rn] 5f ³ 6d ¹ 7s ²
	⁷⁴ W	[Xe, 4f ¹⁴] 5d ⁴ 6s ²		⁹³ Np	[Rn] 5f ⁴⁻⁵ 6d ¹⁻⁰ 7s ²
	⁷⁵ Re	[Xe, 4f ¹⁴] 5d ⁵ 6s ²		⁹⁴ Pu	[Rn] 5f ⁶ 7s ²
	⁷⁶ Os	[Xe, 4f ¹⁴] 5d ⁶ 6s ²		⁹⁵ Am	[Rn] 5f ⁷ 7s ²
	⁷⁷ Ir	[Xe, 4f ¹⁴] 5d ⁷ 6s ²		⁹⁶ Cm	[Rn] 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²
	⁷⁸ Pt	[Xe, 4f ¹⁴] 5d ⁹ 6s ¹		⁹⁷ Bk	[Rn] 5f ⁸⁻⁹ 6d ¹⁻⁰ 7s ²
	⁷⁹ Au ₈	[Xe, 4f ¹⁴] 5d ¹⁰ 6s ¹		⁹⁸ Cf	[Rn] 5f ¹⁰ 7s ²
	⁸⁰ Hg	[Xe, 4f ¹⁴ 5d ¹⁰] 6s ²		⁹⁹ Es	[Rn] 5f ¹¹ 7s ²
	⁸¹ Tl	[Xe, 4f ¹⁴ 5d ¹⁰] 6s ² 6p ¹		¹⁰⁰ Fm	[Rn] 5f ¹² 7s ²
	⁸² Pb	[Xe, 4f ¹⁴ 5d ¹⁰] 6s ² 6p ²		¹⁰¹ Md	[Rn] 5f ¹³ 7s ²
	⁸³ Bi	[Xe, 4f ¹⁴ 5d ¹⁰] 6s ² 6p ³		¹⁰² No	[Rn] 5f ¹⁴ 7s ²
	⁸⁴ Po	[Xe, 4f ¹⁴ 5d ¹⁰] 6s ² 6p ⁴		¹⁰³ Lr	[Rn, 5f ¹⁴] 6d ¹ 7s ²
	⁸⁵ At	[Xe, 4f ¹⁴ 5d ¹⁰] 6s ² 6p ⁵		¹⁰⁴ Rf	[Rn, 5f ¹⁴] 6d ² 7s ²
	⁸⁶ Rn	[Xe, 4f ¹⁴ 5d ¹⁰] 6s ² 6p ⁶		¹⁰⁵ Db	[Rn, 5f ¹⁴] 6d ³ 7s ²
7	⁸⁷ Fr	[Rn] 7s ¹	¹⁰⁶ Sg	[Rn, 5f ¹⁴] 6d ⁴ 7s ²	
	⁸⁸ Ra	[Rn] 7s ²	¹⁰⁷ Bh	[Rn, 5f ¹⁴] 6d ⁵ 7s ²	
	⁸⁹ Ac	[Rn] 6d ¹ 7s ²	¹⁰⁸ Hs	[Rn, 5f ¹⁴] 6d ⁶ 7s ²	
	⁹⁰ Th	[Rn] 6d ² 7s ²	¹⁰⁹ Mt	[Rn, 5f ¹⁴] 6d ⁷ 7s ²	
	⁹¹ Pa	[Rn] 5f ¹⁻² 6d ²⁻¹ 7s ²			

Электронная оболочка любого атома делится на *энергетические уровни* (1, 2, 3-й и т. д.), уровни делятся на *подуровни* (обозначаются буквами *s, p, d, f*). Подуровни состоят из *атомных орбиталей* – областей пространства, где вероятно пребывание электронов. Орбитали обозначаются как 1s (орбиталь 1-го уровня s-подуровня), 2s, 2p, 3s, 3p, 3d, 4s... Число орбиталей в подуровнях:

Подуровень	s	p	d	f
Число орбиталей	1	3	5	7

Заполнение атомных орбиталей электронами происходит в соответствии с тремя условиями:

1) *принцип минимума энергии*

Электроны заполняют орбитали, начиная с подуровня с меньшей энергией.

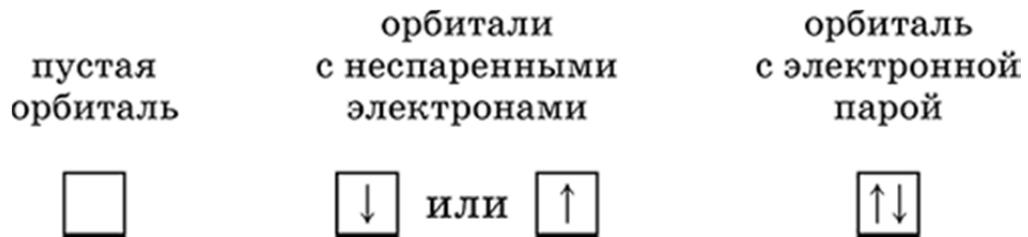
Последовательность нарастания энергии подуровней:

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s \leq 3d < 4p < 5s \leq 4d < 5p < 6s...$$

2) *правило запрета (принцип Паули)*

В каждой орбитали может разместиться не более двух электронов.

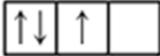
Один электрон на орбитали называется *неспаренным*, два электрона – *электронной парой*:



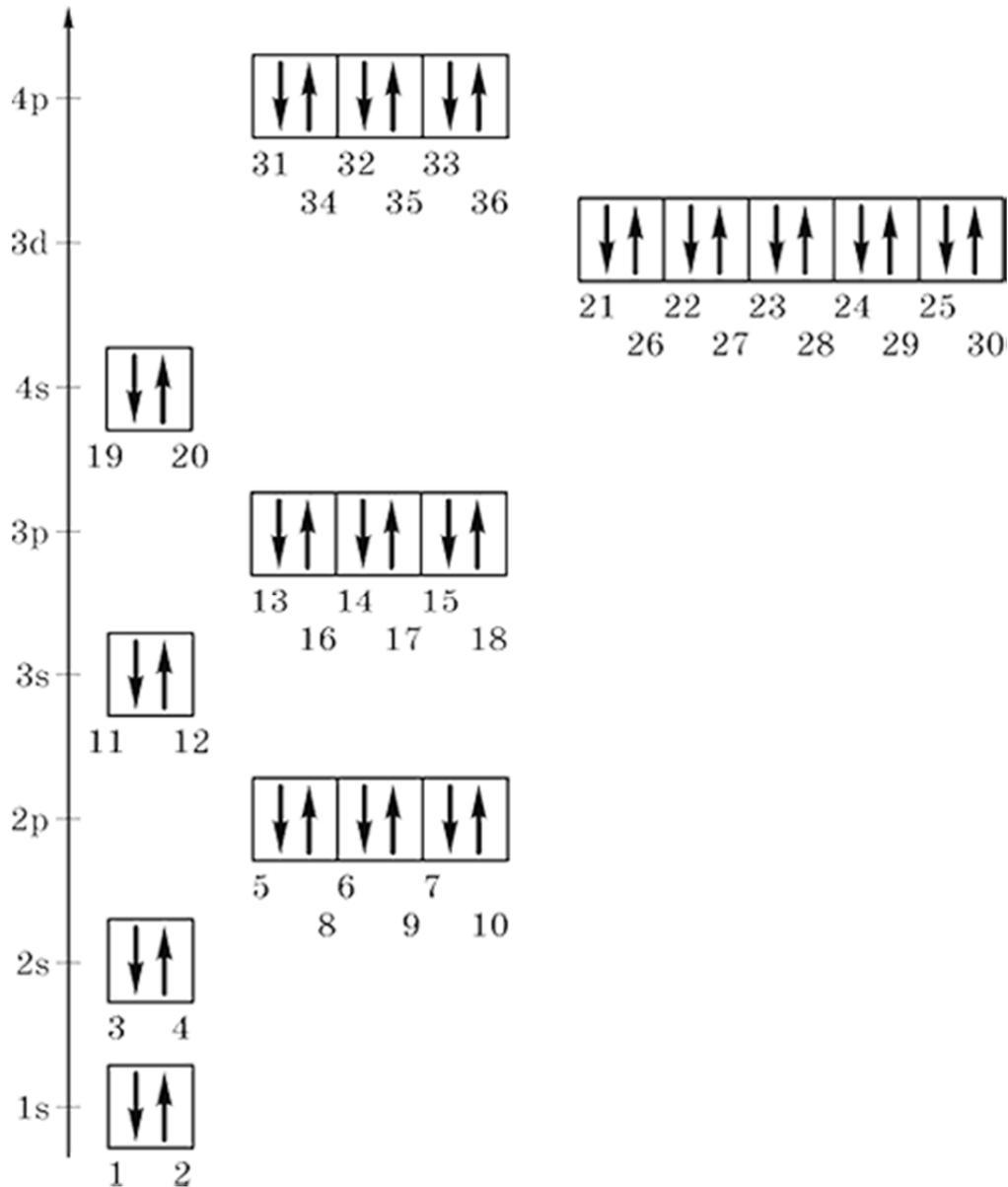
3) принцип максимальной мультиплетности (правило Хунда)

В пределах подуровня электроны сначала заполняют все орбитали наполовину, а затем – полностью.

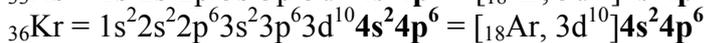
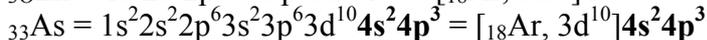
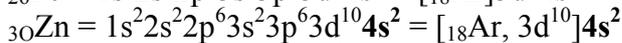
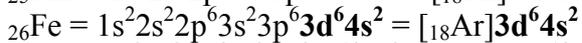
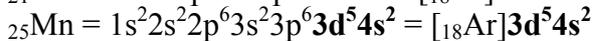
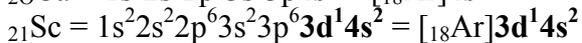
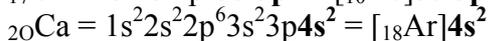
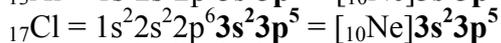
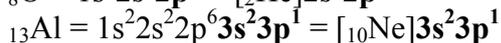
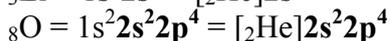
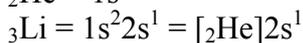
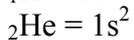
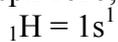
Каждый электрон имеет свою собственную характеристику – спин (условно изображается стрелкой вверх или вниз). Спины электронов складываются как вектора, сумма спинов данного числа электронов на подуровне должна быть **максимальной** (мультиплетность):

Число электронов	Правильно	Неправильно
2		
3		
4		

Заполнение электронами уровней, подуровней и орбиталей атомов элементов от H ($Z = 1$) до Kr ($Z = 36$) показано на *энергетической диаграмме* (номера отвечают последовательности заполнения и совпадают с порядковыми номерами элементов):



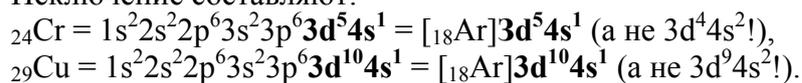
Из заполненных энергетических диаграмм выводятся *электронные формулы* атомов элементов. Число электронов на орбиталях данного подуровня указывается в верхнем индексе справа от буквы (например, $3d^5$ – это 5 электронов на $3d$ -подуровне); вначале идут электроны 1-го уровня, затем 2-го, 3-го и т. д. Формулы могут быть полными и краткими, последние содержат в скобках символ соответствующего благородного газа, чем передается его формула, и, сверх того, начиная с Zn, заполненный внутренний d-подуровень. Примеры:



Электроны, вынесенные за скобки, называются *валентными*. Именно они принимают

участие в образовании химических связей.

Исключение составляют:



Примеры заданий части А

1. Название, **не относящееся** к изотопам водорода, – это
 - 1) дейтерий
 - 2) оксоний
 - 3) протий
 - 4) тритий
2. Формула валентных подуровней атома металла – это
 - 1) $4s^2 4p^4$
 - 2) $3d^5 4s^2$
 - 3) $2s^2 2p^1$
 - 4) $3s^2 3p^6$
3. Число неспаренных электронов в основном состоянии атома железа равно
 - 1) 2
 - 2) 3
 - 3) 4
 - 4) 8
4. В возбужденном состоянии атома алюминия число неспаренных электронов равно
 - 1) 1
 - 2) 2
 - 3) 3
 - 4) 4
5. Электронная формула $[\text{Ar}]3d^9 4s^0$ отвечает катиону
 - 1) Ti^{2+}
 - 2) Cu^{2+}
 - 3) Cr^{2+}
 - 4) Zn^{2+}
6. Электронная формула аниона $\text{Э}^{2-} [\text{Ne}] 3s^2 3p^6$ отвечает элементу
 - 1) аргон
 - 2) хлор
 - 3) сера
 - 4) фосфор
7. Суммарное число электронов в катионе Mg^{2+} и анионе F^- равно
 - 1) 9
 - 2) 10
 - 3) 20
 - 4) 21

Ответы

1. 2. 2. 2. 3. 3. 4. 3. 5. 2. 6. 3. 7. 3.