

ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА АТОМОВ.

Если для характеристики атомной орбитали достаточно значений трех квантовых чисел: n , l , m_l , то для описания электрона требуется еще одно – *спиновое*.

Любое устойчивое состояние электрона в атоме характеризуется определенными значениями четырех квантовых чисел n , l , m_l и m_s .

Квантовые числа принимают значения целых чисел, каждое из которых отличается от соседнего на единицу.

КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА

Главное квантовое число n характеризует общую энергию электрона в атоме. Оно может принимать значения целых чисел: **1, 2, 3 ... n .**

Орбитальное квантовое число l определяет форму орбитали, а следовательно и электронного облака. Оно может принимать значение от нуля до $n-1$:

$$l = 0, 1, 2, 3 \dots n-1$$

Атомные орбитали, которым отвечают значения l , равные 0, 1, 2 и 3, называются соответственно s -, p -, d - и f -орбиталями.

В графических схемах электронного строения атомов каждая орбиталь обозначается символом \square .

КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА

Магнитное квантовое число m_l характеризует пространственное расположение орбиталей (облаков). Оно может принимать все целочисленные значения от $-l$ до $+l$, включая ноль:

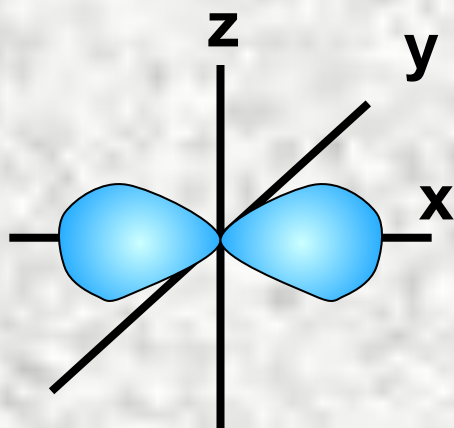
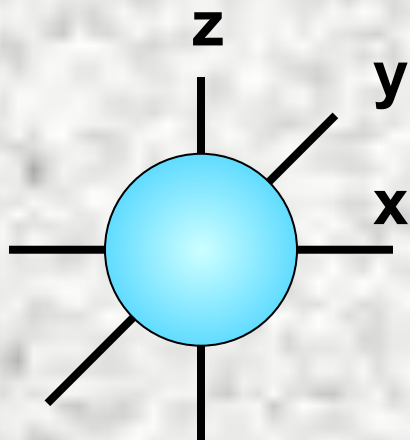
$$m_l = -l \dots 0 \dots +l$$

Например, при $l = 2$ имеем

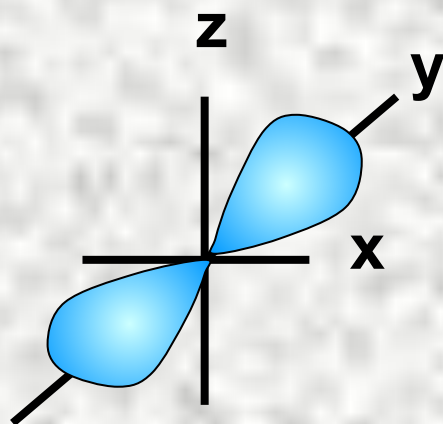
$$m_l = -2, -1, 0, +1, +2$$

Спиновое квантовое число m_s может иметь всего два значения: $+1/2$ и $-1/2$

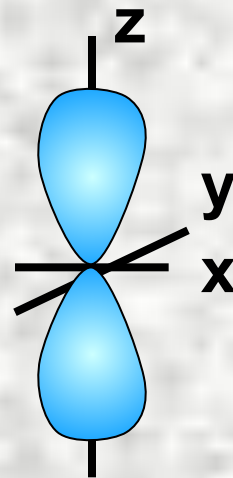
ФОРМЫ s -, p - ОРБИТАЛЕЙ



P_x

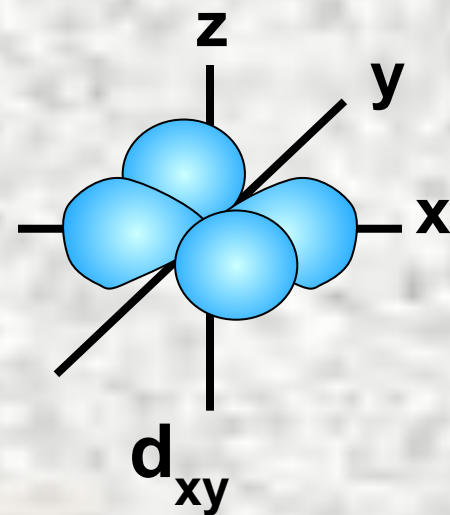
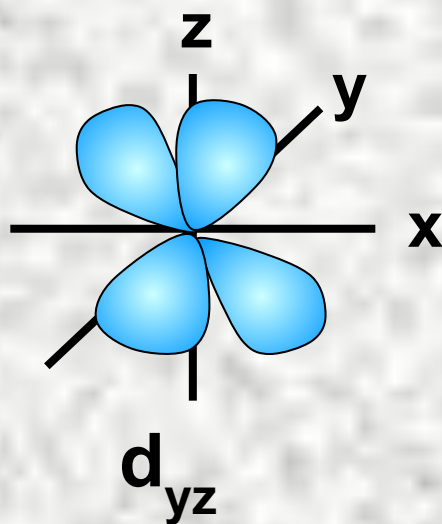
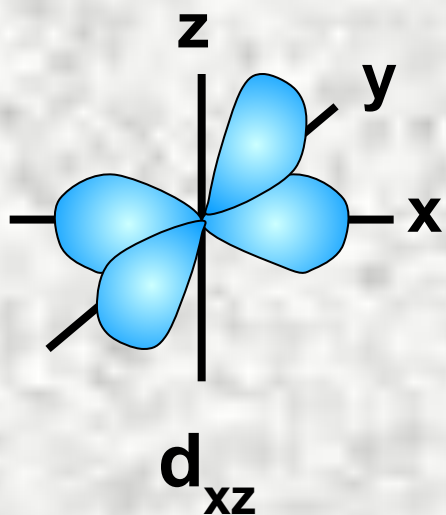
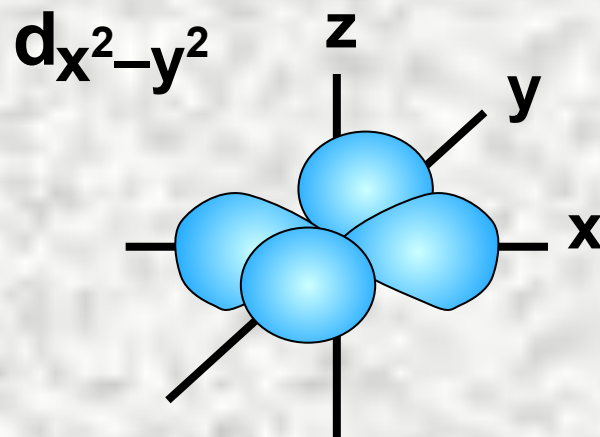
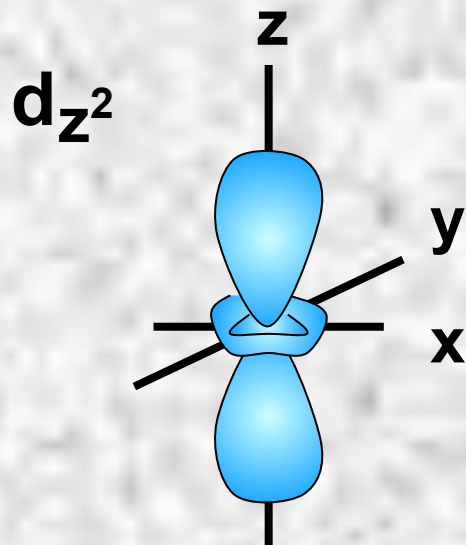


P_y



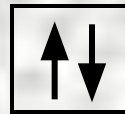
P_z

ФОРМЫ d - ОРБИТАЛЕЙ



ПРИНЦИП ПАУЛИ

Согласно принципу Паули, в атоме не может быть двух электронов, характеризующихся одинаковым набором квантовых чисел. Из этого следует, что каждая атомная орбиталь может быть занята не более чем двумя электронами, причем их спиновые квантовые числа должны быть различными, что символически обозначают так:



Максимальное число электронов равно:

а) на подуровне: $X_l = 2(2l + 1);$

б) на уровне: $N = 2n^2$

ПРИНЦИП НАИМЕНЬШЕЙ ЭНЕРГИИ (ПРАВИЛА КЛЕЧКОВСКОГО)

Устойчивому (невозбужденному) состоянию многоэлектронного атома отвечает такое распределение электронов по АО, при котором энергия атома минимальна. Поэтому АО заполняются в порядке последовательного возрастания их энергий.

Порядок заполнения электронами АО определяется правилами Клечковского, которые учитывают зависимость энергии орбитали от значений как главного n , так и орбитального l квантовых чисел.

ПРАВИЛА КЛЕЧКОВСКОГО

Согласно этим правилам, АО заполняются электронами в порядке последовательного увеличения суммы $n + l$ (**1-е правило Клечковского**), а при одинаковых значениях этой суммы — в порядке последовательного возрастания главного квантового числа (**2-е правило Клечковского**).

ПРАВИЛА КЛЕЧКОВСКОГО

Пример 1. Какой подуровень заполняется в атоме электронами после заполнения подуровня $4p$?

ПРАВИЛА КЛЕЧКОВОГО

Решение 1.

Подуровню $4p$ отвечает сумма $n + l$, равная $4 + 1 = 5$. Такой же суммой $n + l$ характеризуются подуровни $3d$ ($3 + 2 = 5$) и $5s$ ($5 + 0 = 5$). Однако состоянию $3d$ отвечает меньшее значение n ($n = 3$), чем состоянию $4p$; поэтому подуровень $3d$ будет заполняться раньше, чем подуровень $4p$. Следовательно, после заполнения подуровня $4p$ будет заполняться подуровень $5s$, которому отвечает на единицу большее значение n ($n = 5$).

П Р А В И Л О Х У Н Д А

Размещение электронов по АО в пределах одного энергетического подуровня определяется п р а в и л о м Хунда, согласно которому минимальной энергии атома соответствует такое распределение электронов по АО данного подуровня, при котором абсолютное значение суммарного спина атома максимально;

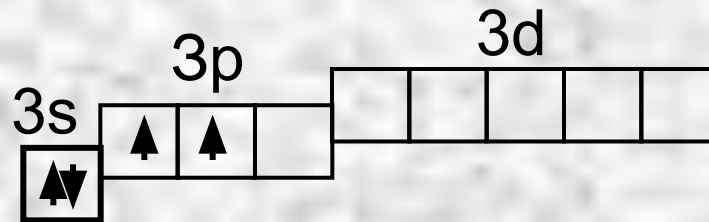
Пример 2. Составить электронную формулу атома кремния и графическую схему заполнения электронами валентных орбиталей этого атома в нормальном и в возбужденном состояниях.

ПРАВИЛО ХУНДА

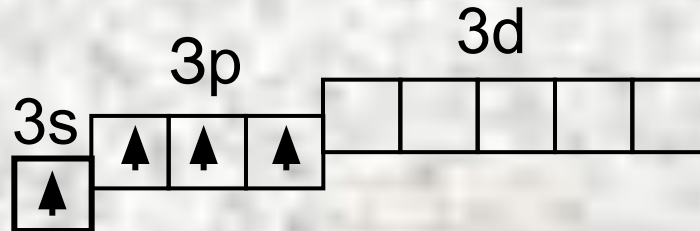
Решение 2.

Составляем электронную формулу атома кремния. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$. Валентными орбиталями в этом атоме являются орбитали внешнего (третьего) электронного слоя, т. е. 3s-, 3p- и незаполненные 3d-орбитали. Графически схема заполнения электронами этих орбиталей имеет следующий вид:

а) в нормальном состоянии



б) в возбужденном состоянии



ЭЛЕКТРОННЫЕ ФОРМУЛЫ АТОМОВ

Электронные формулы – это условная запись распределения электронов в атоме по энергетическим уровням и подуровням

В электронных формулах буквами s, p, d, f обозначаются энергетические подуровни. Цифры впереди букв означают энергетический уровень, в котором находится данный электрон, а индекс вверху справа – число электронов на данном подуровне.

Например, запись $5p^3$ означает, что на p – подуровне пятого энергетического уровня располагаются три электрона.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ФОРМУЛЫ АТОМОВ

При составлении электронной формулы атома любого элемента нужно руководствоваться следующей последовательностью:

1. Определить порядковый номер элемента (Z , следовательно, число электронов в атоме);
2. Определить число энергетических уровней, на которых будут располагаться электроны (по номеру периода);
3. Распределить электроны по подуровням и уровням, руководствуясь требованиями основных положений: *принципа Паули, принципа наименьшей энергии и правила Хунда* .

IA										VIII A																									
1										2																									
H 1										He 2																									
1,00794 +1										4,0026 0																									
Водород Hydrogen										Гелий Helium																									
IIA																																			
Li 3		Be 4																																	
6,941 +1		9,0122 +2																																	
Литий Lithium		Бериллий Beryllium																																	
Na 11		Mg 12																																	
22,9898 +1		24,305 +2																																	
Натрий Sodium		Магний Magnesium																																	
IIIB			IVB			VB			VIB			VIIB			VIIIB1			VIIIB2			VIIIB3			IB			IIB								
K 19			Ca 20			Sc 21			Ti 22			V 23			Cr 24			Mn 25			Fe 26			Co 27			Ni 28			Cu 29			Zn 30		
39,0983 +1			40,078 +2			44,9559 +3			47,867 +4			50,9415 +5			51,9961 +3			54,938 +2			55,845 +3			58,9332 +2			58,6934 +2			63,546 +2			65,38 +2		
Калий Potassium			Кальций Calcium			Скандий Scandium			Титан Titanium			Ванадий Vanadium			Хром Chromium			Марганец Manganese			Железо Iron			Кобальт Cobalt			Никель Nickel			Медь Copper			Цинк Zinc		
Rb 37			Sr 38			Y 39			Zr 40			Nb 41			Mo 42			Tc 43			Ru 44			Rh 45			Pd 46			Ag 47			Cd 48		
85,4678 +1			87,62 +2			88,9059 +3			91,224 +4			92,9064 +5			95,96 +6			97,907 +7			101,07 +4			102,9055 +3			106,42 +2			107,8662 +1			112,411 +2		
Рубидий Rubidium			Стронций Strontium			Иттрий Yttrium			Цирконий Zirconium			Ниобий Niobium			Молибден Molybdenum			Технеций Technetium			Рутений Ruthenium			Родий Rhodium			Палладий Palladium			Серебро Silver			Кадмий Cadmium		
Cs 55			Ba 56			La 57			Hf 72			Ta 73			W 74			Re 75			Os 76			Ir 77			Pt 78			Au 79			Hg 80		
132,9055 +1			137,327 +2			138,9055 +3			178,49 +4			180,9479 +5			183,84 +6			186,207 +7			190,23 +4			192,217 +3			195,084 +2			196,9666 +3			200,59 +2		
Цезий Caesium			Барий Barium			Лантан Lanthanum			Гафний Hafnium			Тантал Tantalum			Вольфрам Tungsten			Рений Rhenium			Осмий Osmium			Иридий Iridium			Платина Platinum			Золото Gold			Ртуть Mercury		
Fr 87			Ra 88			Ac 89			Rf 104			Db 105			Sg 106			Bh 107			Hs 108			Mt 109			Ds 110			Rg 111			Cn 112		
[223] +1			226,0254 +2			227,0278 +3			[261] +4			[262] +5			[263] +6			[267] +7			[268] +8			[278] +9			[281] +10			[285] +11			[286] +12		
Франций Francium			Радий Radium			Актиний Actinium			Резерфордий Rutherfordium			Дубний Dubnium			Сиборгий Seaborgium			Борий Bohrium			Хассий Hassium			Мейтнерий Meitnerium			Дармштадтий Darmstadtium			Рентгений Roentgenium			Коперниций Copernicium		
Nh 113			Fl 114			Mc 115			Lv 116			Ts 117			Og 118																				
[286] +1			[289] +2			[289] +3			[289] +4			[294] +5			[294] +6			[294] +7			[294] +8			[294] +9			[294] +10			[294] +11			[294] +12		
Ниихоний Nhonium			Флеровий Flourovium			Московский Moscovium			Ливерморий Livermorium			Теннессион Tennessine			Оганессон Oganesson																				

Символ — **At** Номер — **85**

Относительная атомная масса — **[210]**

Название на русском на английском — **Астат Astatine**

Полуметалл —

Устойчивая степень окисления — **-1**

Атомный радиус —

Радиоактивен —

s-элементы

p-элементы

d-элементы

f-элементы

ХИМИЯ – просто

vkcom/chemistryeasyru

III A					IV A					V A					VI A					VII A					VIII A				
B 5					C 6					N 7					O 8					F 9					Ne 10				
10,811 +3					12,0107 +4					14,0067 -3					15,9994 -2					18,9984 -1					20,1797 0				
Бор Boron					Углерод Carbon					Азот Nitrogen					Кислород Oxygen					Фтор Fluorine					Неон Neon				
Al 13					Si 14					P 15					S 16					Cl 17					Ar 18				
26,9815 +3					28,0855 +4					30,9738 -5					32,066 -6					35,4527 -1					39,948 0				
Алюминий Aluminium					Кремний Silicon					Фосфор Phosphorus					Сера Sulfur					Хлор Chlorine					Аргон Argon				
Ga 31					Ge 32					As 33					Se 34					Br 35					Kr 36				
69,723 +3					72,63 +4					74,9216 -3					78,96 +4					79,904 -1					83,798 +2				
Галлий Gallium					Германий Germanium					Мышьяк Arsenic					Селен Selenium					Бром Bromine					Криптон Krypton				
In 49					Sn 50					Sb 51					Te 52					I 53					Xe 54				
114,818 +3					118,71 +4					121,76 +3					127,6 +4					126,9045 -1					131,29 +6				
Индий Indium					Олово Tin					Сурьма Antimony					Теллур Tellurium					Йод Iodine					Ксенон Xenon				
Tl 81					Pb 82					Bi 83					Po 84					At 85					Rn 86				
204,3833 +1					207,2 +2					208,9804 +3					208,98 +4					[210] -1					[222] +2				
Таллий Thallium					Свинец Lead					Висмут Bismuth					Полоний Polonium					Астат Astatine					Радон Radon				
Nh 113					Fl 114					Mc 115					Lv 116					Ts 117					Og 118				
[286] +1					[289] +2					[289] +3					[289] +4					[294] +5					[294] +6				
Ниихоний Nhonium					Флеровий Flourovium					Московский Moscovium					Ливерморий Livermorium					Теннессион Tennessine					Оганессон Oganesson				



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	
140,116 +3		140,9077 +3		144,24 +3		[145] +3		150,36 +3		151,964 +3		157,25 +3		158,9253 +3		162,5 +3		164,9303 +3		167,26 +3		168,9342 +3		173,045 +3		174,967 +3	
Церий Cerium		Празеодим Praseodymium		Неодим Neodymium		Прометий Promethium		Самарий Samarium		Европий Europium		Гадолиний Gadolinium		Тербий Terbium		Диспрозий Dysprosium		Гольмий Holmium		Эрбий Erbium		Тулий Thulium		Иттербий Ytterbium		Лютеций Lutetium	
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	
232,0381 +4		231,0369 +5		238,0289 +6		237,0482 +5		[244] +3		[243] +3		[247] +3		[247] +3		[251] +3		[252] +3		[257] +3		[258] +3		[259] +2		[260] +3	
Торий Thorium		Протактиний Protactinium		Уран Uranium		Нептуний Neptunium		Плутоний Plutonium		Америций Americium		Кюрий Curium		Берклий Berkelium		Калифорний Californium		Эйнштейний Einsteinium		Фермиум Fermium		Менделеев Mendeleevium		Нобелий Nobelium		Лоуренсий Lawrencium	

ЧЕТЫРЕ ТИПА ЭЛЕМЕНТОВ

В зависимости от того, какой подуровень заполняется электронами, все элементы делятся на четыре типа (семейства):

1) s – элементы: заполняется s-подуровень внешнего уровня. Их общая формула:

$$\dots nS^{1-2} \quad n - \text{номер периода}$$

К s–элементам относятся первые два элемента каждого периода.

2) p – элементы: заполняется P- подуровень внешнего уровня. Их общая формула:

$$\dots nS^2 n P^{1-6}$$

К p – элементам относятся последние шесть элементов каждого периода (кроме 1-ого и 7-ого).

ЧЕТЫРЕ ТИПА ЭЛЕМЕНТОВ

3) ***d* – элементы**: у них заполняется *d*- подуровень второго снаружи уровня. Их общая формула:

$$\dots (n-1) d^{1-10} nS^2$$

На наружном уровне у них 2 иногда 1 электрон (s^{1-2}).

К *d*-элементам относятся 10 элементов больших периодов, расположенных между *s*- и *p*- элементами.

4) ***f* – элементы**: у них заполняется *f*- подуровень третьего снаружи уровня. Их общая формула:

$$\dots (n-2) f^{1-14} ns^2 \quad \text{или} \quad (n-2) f^{1-14} (n-1) d^1 nS^2$$

К *f*-элементам относятся лантаноиды и актиноиды.

ЧЕТЫРЕ ТИПА (СЕМЕЙСТВА) ЭЛЕМЕНТОВ

1. **s** – элементы ... ns^{1-2}

2. **p** – элементы ... $ns^2 n p^{1-6}$

3. **d** – элементы ... $(n-1) d^{1-10} ns^2$

4. **f** – элементы ... $(n-2) f^{1-14} ns^2$

или ... $(n-2) f^{1-14} ns^2$

Составление электронных конфигураций атомов без помощи таблицы Менделеева

Для этого нужно знать:

1. Сколько элементов содержится в периоде:

№ периода	Число элементов в периоде	
1	2	
2	8	$\sum^{1-3} = 18$
3	8	
4	18	$\sum^{1-4} = 36$
5	18	$\sum^{1-5} = 54$
6	32	$\sum^{1-6} = 86$
7	не закончен	

Составление электронных конфигураций атомов без помощи таблицы Менделеева

2. Что **первые два** элемента в периоде- это **S-элементы**.
3. **Последние шесть** элементов каждого периода (кроме 1-го и 7-го) - это **p-элементы**.
4. **10 элементов** (начиная с 3-го) больших периодов – это **d-элементы**.
5. После лантана (${}_{57}\text{La}$) следуют **4f-элементы**.
6. После актиния (${}_{89}\text{Ac}$) следуют **5f-элементы**

Составление электронных конфигураций атомов без помощи таблицы Менделеева

Пример: Составить электронную конфигурацию $_{27}\text{Э}$.

Решение: 1) Определим в каком периоде находится элемент: $18 < 27 < 36$, значит это элемент 4-го периода;

2) Определим какой по счету он в периоде: $27-18=9$, значит это 9-й элемент 4-го периода;

3) Учитывая, что первые два элемента в периоде относятся к **s**-элементам, делаем вывод, что это 7-ой **d**-элемент 4-го периода;

4) Общая формула **d**-элементов: $\dots(n-1)d^{1-10}ns^2$

5) Значит формула элемент $_{27}\text{Э}$: $(n-1)d^{1-10}ns^2 = 3d^74s^2$

ПРИМЕРЫ и ЗАДАЧИ

Пример 3. Имеется ли d-подуровень на втором энергетическом уровне?

Пример 4. Почему число АО на L-уровне равно четырем?

ПРИМЕРЫ и ЗАДАЧИ

Решение 3. Нет, так как для d-подуровня $l = 2$, что возможно только для значений $n > 3$.

Решение 4. Каждая АО характеризуется тремя значениями квантовых чисел: n, l, m_l . Уровень L ($n = 2$) имеет два подуровня: $l = 0$ и $l = 1$. При $l = 0$ имеется единственное значение $m_l = 0$ (одна АО), а при $l = 1$ имеется три значения $m_l = -1, 0, +1$ (всего три АО), следовательно, общее число АО на L -уровне равно четырем.

ПРИМЕРЫ и ЗАДАЧИ

Пример 5. Каково максимальное число ориентаций f -орбиталей в пространстве?

Пример 6. Возможно ли наличие в атоме двух электронов с одинаковыми значениями трех квантовых чисел: l, m_l, m_s ?

ПРИМЕРЫ и ЗАДАЧИ

Решение 5. Так как при $l = 3$ (f -подуровень) имеется семь значений квантового числа $m_l = -2, -1, 0, +1, +2$, характеризующих ориентацию электронных облаков в пространстве, то число ориентаций f -орбиталей равно семи.

Решение 6. Да, возможно, это не противоречит принципу Паули. Например, для первого электрона $n=1, l = 0$ (s -электрон), $m_l = 0, m_s = + 1/2$ и для второго $n = 2, l = 0$ (s -электрон), $m_l = 0, m_s = + 1/2$.

ПРИМЕРЫ и ЗАДАЧИ

Пример 7. Запишите электронную конфигурацию двухзарядного положительного иона олова Sn^{2+} и четырехзарядного Sn^{4+} . Как соотносятся энергии ионизации у этих ионов и их радиусы?

ПРИМЕРЫ и ЗАДАЧИ

Решение 7.

Электронная конфигурация атома олова Sn — $[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^2$, так как олово расположено в 5 периоде и IVA-подгруппе. При ионизации электроны удаляются именно с внешнего уровня, где они наиболее удалены от ядра атома. Следовательно, электронная конфигурация ионов Sn^{2+} — $[\text{Kr}]4d^{10}5s^25p^0$ и Sn^{4+} — $[\text{Kr}]4d^{10}5s^05p^0$.

Энергией ионизации называют энергию, которую нужно затратить для отрыва электрона от атома с превращением последнего в положительно заряженный ион. Энергию ионизации обычно выражают в электрон-вольтах (эВ). $1 \text{ эВ} = 96,48 \text{ кДж/моль}$

ПРИМЕРЫ и ЗАДАЧИ

Решение 7.

При удалении электронов от ядра в процессе ионизации необходимо затратить энергию ионизации, причем тем большую, чем больше заряд иона. Поэтому энергии ионизации соотносятся как $I_1 < I_2 < I_4$.

Удаление электронов из нейтрального атома при образовании положительных ионов уменьшает их радиусы вследствие уменьшения периферийной электронной плотности и большего притяжения оставшихся электронов к ядру из-за уменьшения межэлектронного отталкивания. Действительно, по табличным данным радиус атома олова $r(\text{Sn}) = 0,158$ нм, иона $r(\text{Sn}^{2+}) = 0,102$ нм, иона $r(\text{Sn}^{4+}) = 0,067$ нм.