

Тема 4.2 «КВАНТОВОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АТОМА»

Магнитный момент атома.

Периодическая система

элементов Д.И.

Менделеева

Магнитный момент атома.
Периодическая система элементов
Д.И. Менделеева

1. Магнитный момент атома.
2. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона.
3. Распределение электронов по энергетическим уровням в атоме. Принцип Паули. Электронная оболочка и подоболочка.
4. Периодическая система элементов.

1. Магнитный момент атома.

Величина орбитального механического момента атома:

$$\mathbf{L}_e = m_e \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{r}$$

Круговому движению электрона соответствует замкнутый ток:

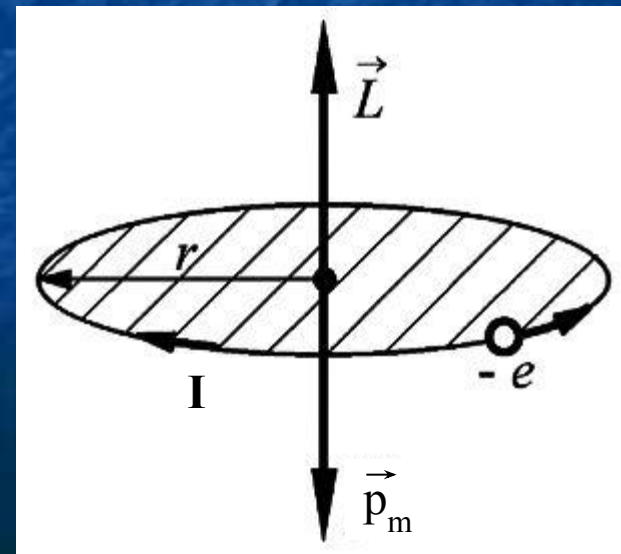
$$\mathbf{I} = \frac{e}{T} = \frac{e \cdot \mathbf{v}}{2\pi r}$$

Микроток характеризуется магнитным моментом:

$$\mathbf{p}_m = \mathbf{I} \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{e \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{r}}{2}$$

Гиромагнитное отношение:

$$g = \frac{\mathbf{p}_m}{\mathbf{L}_e} = \frac{e}{2m_e}$$



Т.о. в любом квантовом состоянии атом обладает, кроме механического, магнитным моментом:

$$\mathbf{p}_m = g \cdot \mathbf{L}_e = \mu_A \sqrt{l(l+1)}$$

μ_B – магнетон Бора – единица измерения магнитных моментов:

$$\mu_A = \frac{e\hbar}{2m_e}$$

из общих положений квантовой механики следует, что проекция момента импульса электрона на выделенное в пространстве направление \mathbf{z} может иметь только определенные значения:

$$L_{ez} = m_l \cdot \hbar$$

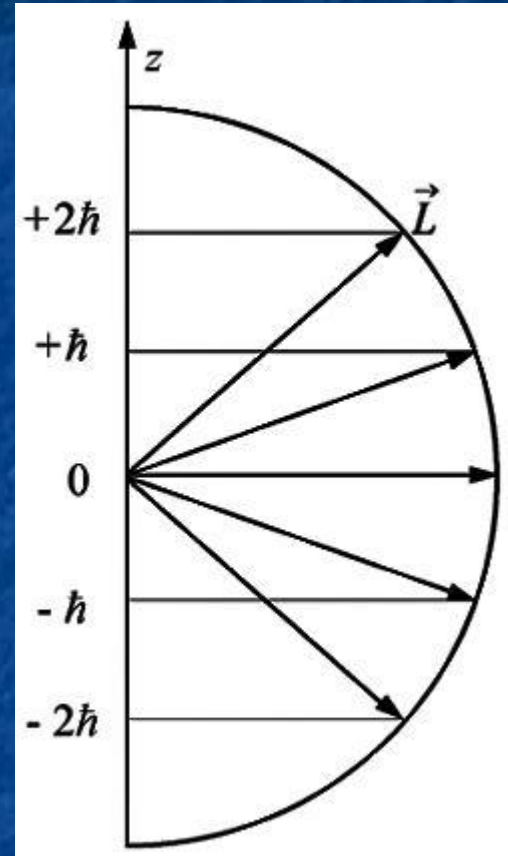
где m_l – магнитное квантовое число.

$$L_{ez} = m_l \cdot \hbar$$

- формула пространственного квантования - определяет возможные дискретные расположения электронных орбит в пространстве по отношению к направлению внешнего магнитного поля.

В зависимости от значения магнитного квантового числа, возможные значения проекции магнитного момента атома на выделенное направление z :

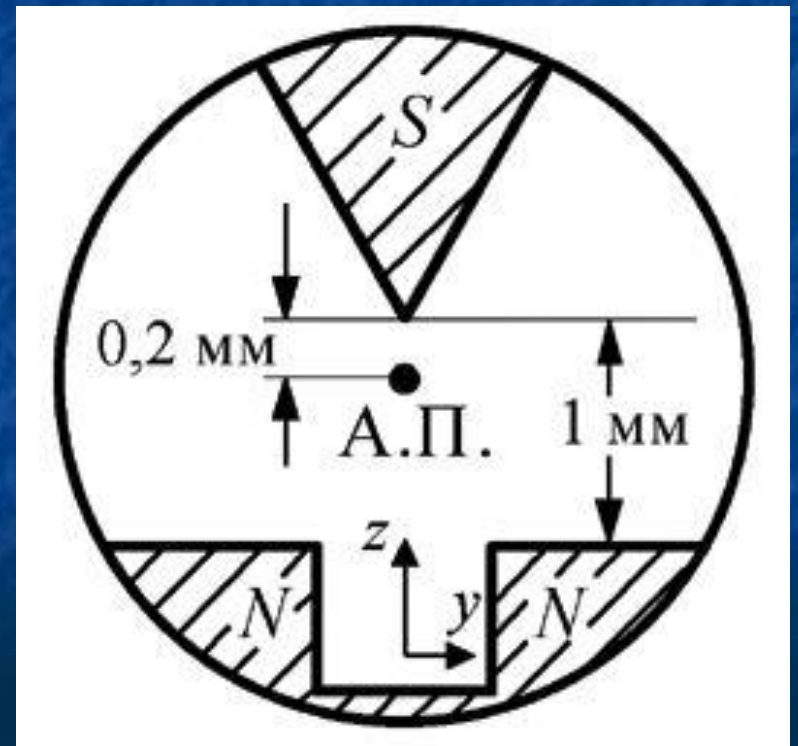
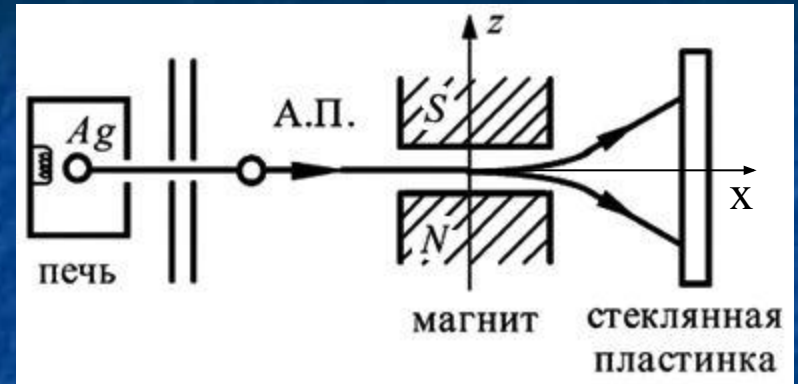
$$p_{mz} = g \cdot L_{ez} = m_l \mu_A$$



2. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона.

В вакууме с помощью полюсных наконечников S и N специальной «ножевидной» формы создавалось магнитное поле, сильно неоднородное вблизи полюса S.

Узкий пучок атомов серебра пропусклся вдоль оси x . Вдоль оси z происходило расщепление пучка, но всегда наблюдалось только два пучка, одинаково отклоненных в противоположные стороны и расположенных симметрично относительно пучка.



Спин электрона – L_s – собственный механический момент импульса – квантовая величина, у нее нет классического аналога; это внутреннее неотъемлемое свойство электрона, подобно его заряду и массе.

Квантование спина:

$$L_s = \hbar \sqrt{s(s+1)}$$

Квантование проекции спина на направление внешнего магнитного поля:

$$L_{sz} = \hbar m_s$$

Вектор L_s может принимать $2s + 1$ ориентаций. Т.к. расщепление происходит на два подуровня, $2s + 1 = 2$, следовательно спиновое квантовое число $s = 1/2$.

Магнитное спиновое квантовое число:

$$m_s = \pm s = \pm \frac{1}{2}$$

Собственный (спиновый) магнитный момент:

$$\vec{p}_{ms} = g\vec{L}_s$$

Гиромагнитное отношение для спиновых моментов:

$$g = \frac{p_{ms}}{L_s} = -\frac{e}{m_e}$$

3. Распределение электронов по энергетическим уровням в атоме. Принцип Паули. Электронная оболочка и подоболочка.

Состояние электрона в атоме однозначно описывается набором из четырех квантовых чисел:

Главное	$n = 1, 2, 3, \dots$
Орбитальное	$l = 0, 1, 2, \dots, n - 1$
Магнитное	$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$
Магнитное спиновое	$m_s = \pm 1/2$

Принцип Паули:

В одном атоме не может быть более одного электрона с одинаковым набором четырех квантовых чисел:

$$Z(n, l, m_l, m_s) = 0$$

или

$$Z(n, l, m_l, m_s) = 1$$

Принцип Паули (квантовомеханическая формулировка):

Системы фермионов встречаются в состояниях, описываемых антисимметричными волновыми функциями.

Распределение электронов по оболочкам и подоболочкам.

Максимальное число электронов в состоянии, определяемом главным квантовым числом n :

$$Z(n) = \sum_{l=0}^{n-1} 2(2l + 1) = 2n^2$$

Электронная оболочка

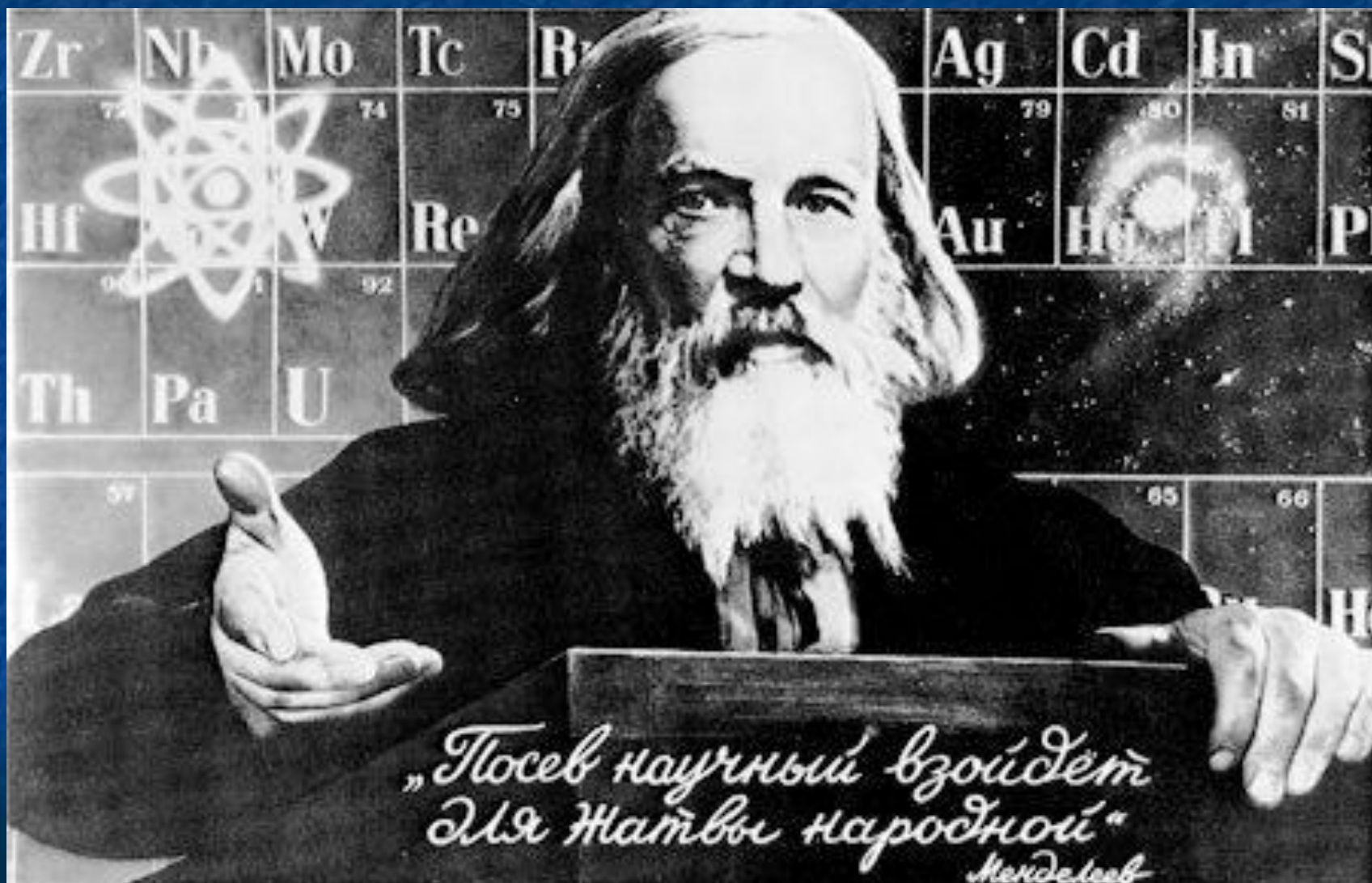
Совокупность электронов в многоэлектронном атоме, имеющих одно и то же главное квантовое число n .


Подоболочка

Совокупность электронов в каждой из оболочек, соответствующих данному значению l .

n	Символ оболочки	Число электронов в подоболочке					Максимальное число электронов в оболочке
		$l = 0$	$l = 1$	$l = 2$	$l = 3$	$l = 4$	
		s	p	d	f	g	
1	К	2					2
2	L	2	6				8
3	M	2	6	10			18
4	N	2	6	10	14		32
5	O	2	6	10	14	18	50

4. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.



		Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева						VII		VIII							
								(H)	2	He							
1	1	H 1 1,00794 водород								4,002602 гелий	 Периодический закон открыт Д.И. Менделеевым в 1869 г.						
2	2	Li 3 6,941 литий	Be 4 9,01218 бериллий	5	B 5 10,811 бор	6	C 6 12,011 углерод	7	N 7 14,0067 азот	8			O 8 15,9994 кислород	9	F 9 18,998403 фтор	10	Ne 10 20,179 неон
3	3	Na 11 22,98977 натрий	Mg 12 24,305 магний	13	Al 13 26,98154 алюминий	14	Si 14 28,0855 кремний	15	P 15 30,97376 фосфор	16			S 16 32,066 сера	17	Cl 17 35,453 хлор	18	Ar 18 39,948 аргон
4	4	K 19 39,0983 калий	Ca 20 40,078 кальций	Sc 21 44,95591 скандий	Ti 22 47,88 титан	V 23 50,9415 ванадий	Cr 24 51,9961 хром	Mn 25 54,9380 марганец	Fe 26 55,847 железо	Co 27 58,9332 кобальт			Ni 28 58,69 никель				
	5	29 Cu 63,546 медь	30 Zn 65,39 цинк	31 Ga 69,723 галлий	32 Ge 72,59 германий	33 As 74,9216 мышьяк	34 Se 78,96 селен	35 Br 79,904 бром	36 Kr 83,80 криптон								
5	6	Rb 37 85,4678 рубидий	Sr 38 87,62 стронций	Y 39 88,9059 иттрий	Zr 40 91,224 цирконий	Nb 41 92,9064 ниобий	Mo 42 95,94 молибден	Tc 43 [98] технеций	Ru 44 101,07 рутений	Rh 45 102,9055 родий			Pd 46 106,42 палладий				
	7	47 Ag 107,8682 серебро	48 Cd 112,41 кадмий	49 In 114,82 индий	50 Sn 118,710 олово	51 Sb 121,75 сурьма	52 Te 127,60 теллур	53 I 126,9045 йод	54 Xe 131,29 ксенон								
6	8	Cs 55 132,9054 цезий	Ba 56 137,33 барий	La* 57 138,9055 лантан	Hf 72 178,49 гафний	Ta 73 180,9479 тантал	W 74 183,85 вольфрам	Re 75 186,207 рений	Os 76 190,2 осмий	Ir 77 192,22 иридий	Pt 78 195,08 платина						
	9	79 Au 196,9665 золото	80 Hg 200,59 ртуть	81 Tl 204,383 таллий	82 Pb 207,2 свинец	83 Bi 208,9804 висмут	84 Po [209] полоний	85 At [210] астат	86 Rn [222] радон								
7	10	Fr 87 [223] франций	Ra 88 [226] радий	Ac** 89 [227] актиний	Rf 104 [261] резерфордий	Db 105 [262] дубний	Sg 106 [263] сигборгий	Bh 107 [262] борий	Hs 108 [265] гасий	Mt 109 [266] майтнерий	Ds 110 [271] дармштадтий						
	11	111 Rg [272] рентгений	112 Uub [285] унубий	113 (Uut) [] унунтрий	114 Uuq [287] унунквадий	115 (Uup) [] унунпентий	116 Uuh [292] унунгексий	117 (Uus) [] унунсептий	118 Uuo [293] унуноктый								

* Лантаноиды

Ce 58 140,12 церий	Pr 59 140,9077 празеодим	Nd 60 144,24 неодим	Pm 61 [145] прометий	Sm 62 150,36 самарий	Eu 63 151,96 европий	Gd 64 157,25 гадолиний	Tb 65 158,9254 тербий	Dy 66 162,50 диспрозий	Ho 67 164,9304 гольмий	Er 68 167,26 эрбий	Tm 69 168,9342 тулий	Yb 70 173,04 иттербий	Lu 71 174,967 лютеций
---------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

** Актиноиды

Th 90 232,0381 торий	Pa 91 [231] протактиний	U 92 238,0289 уран	Np 93 [237] нептуний	Pu 94 [244] плутоний	Am 95 [243] америций	Cm 96 [247] курий	Bk 97 [247] берклий	Cf 98 [251] калifornий	Es 99 [252] эйнштейний	Fm 100 [257] фермий	Md 101 [258] менделевий	No 102 [259] нобелий	Lr 103 [260] лоуренсий
-----------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

Целое число в скобках – массовое число наиболее устойчивого изотопа

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Период	Группа	Слово	Оболочки					Последовательность заполнения оболочек	Ряд	I		VII							VIII		№								
			s	p	d	f	i			a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a		b							
1	2	К I	s ²					1	1	Водород H 1,00797	2	Гелий							2	Гелий He 4,0026	3, 4	1							
2	8	К I L 2	s ² s ² p ⁶					2	3	Литий Li 6,939	4	Бериллий Be 9,0122	5	Бор B 10,81	6	Углерод C 12,01115	7	Азот N 14,0067	8	Кислород O 15,9994	9	Фтор F 18,9984	10	Неон Ne 20,183	20-22	2			
3	8	К I L 2 M 3	s ² s ² p ⁶ s ² p ⁶					3	11	Натрий Na 22,9898	12	Магний Mg 24,312	13	Алюминий Al 26,9815	14	Кремний Si 28,086	15	Фосфор P 30,9738	16	Сера S 32,064	17	Хлор Cl 35,453	18	Аргон Ar 39,948	35, 37 38, 40	3			
4	18	К I L 2 M 3 N 4	s ² s ² p ⁶ s ² p ⁶ s ² p ⁶ d ¹⁰					4	19	Калий K 39,102	20	Кальций Ca 40,08	21	Скандий Sc 44,956	22	Титан Ti 47,90	23	Ванадий V 50,942	24	Хром Cr 51,996	25	Марганец Mn 54,938	26	Железо Fe 55,847	27	Кобальт Co 58,933	28	Никель Ni 58,69	4
5	18	К I L 2 M 3 N 4 O 5	s ² s ² p ⁶ s ² p ⁶ s ² p ⁶ d ¹⁰ s ² p ⁶ d ¹⁰					5	37	Рубидий Rb 85,47	38	Стронций Sr 87,62	39	Иттрий Y 88,905	40	Цирконий Zr 91,22	41	Нобий Nb 92,906	42	Молибден Mo 95,94	43	Технеций Tc 97,907	44	Рутений Ru 101,07	45	Родий Rh 102,91	46	Палладий Pd 106,42	5
6	32	К I L 2 M 3 N 4 O 5 P 6	s ² s ² p ⁶ s ² p ⁶ s ² p ⁶ d ¹⁰ s ² p ⁶ d ¹⁰ s ² p ⁶ d ¹⁰					6	55	Цезий Cs 132,905	56	Барий Ba 137,34	57	Лантан** La 138,91	72	Гафний Hf 178,49	73	Тантал Ta 180,948	74	Вольфрам W 183,85	75	Рений Re 186,2	76	Осмий Os 190,23	77	Иридий Ir 192,22	78	Платина Pt 195,08	6
7	32	К I L 2 M 3 N 4 O 5 P 6 Q 7	s ² s ² p ⁶ s ² p ⁶ s ² p ⁶ d ¹⁰ s ² p ⁶ d ¹⁰ s ² p ⁶ d ¹⁰ s ² p ⁶ d ¹⁰					7	87	Франций Fr 223,020	88	Радий Ra 226,025	89	Актиний*** Ac 227,028	104	Закаталий E-Hf 264	105	Закатантал E-Ta 271, 273	106	Закволафрам E-W 272-276	107	Закреений E-Re 277	108	Осмий Os 208,980	109	Иридий Ir 208,980	110	Платина Pt 208,980	7
8	32	К I L 2 M 3 N 4 O 5 P 6 Q 7	s ² s ² p ⁶ s ² p ⁶ s ² p ⁶ d ¹⁰ s ² p ⁶ d ¹⁰ s ² p ⁶ d ¹⁰ s ² p ⁶ d ¹⁰					8	111	Эказолото E-Au 287	112	Экартуть E-Hg 288-292	113	Экаолово E-Tl 289	114	Экаолово E-Pb 289	115	Экависмут E-Bi 289	116	Экаполоний E-Po 289	117	Экаастатин E-At 289	118	Экаэкаосмий E-Os 304	119	Экаэкаиридий E-Ir 306-310	120	Экаэкаплатина E-Pt 312	8

* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ		* ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ																																																																																							
54	Железо Fe 55,847	59	Кобальт Co 58,9332	58	Никель Ni 58,71	58	Церий Ce 140,12	59	Прозеродим Pr 140,907	60	Неодим Nd 144,24	61	Прометий Pm 145	62	Самарий Sm 150,35	63	Европий Eu 151,96	64	Гадолиний Gd 157,25	76	Осмий Os 190,23	77	Иридий Ir 192,22	78	Платина Pt 195,08	79	Золото Au 196,967	80	Ртуть Hg 200,59	81	Таллий Tl 204,37	82	Свинец Pb 207,19	83	Висмут Bi 208,980	84	Полоний Po 209	85	Астатин At 210	86	Франций Fr 223	87	Радий Ra 226	88	Актиний Ac 227	89	Торий Th 232	90	Протактиний Pa 231	91	Уран U 238,03	92	Нептуний Np 237	93	Плутоний Pu 244	94	Америций Am 243	95	Кюрий Cm 247	96	Беркелий Bk 247	97	Калифорний Cf 251	98	Эйнштейний Es 252	99	Фермий Fm 257	100	Менделеевий Md 288	101	Нобелий Nb 286	102	Лоренсий Lw 260	103	Дармштадтий Ds 285	104	Рогендий Rg 289	105	Унунбий Uub 289	106	Унунтрий Uut 289	107	Унунквадрий Uuq 289	108	Унунпентий Uup 289	109	Унунгексий Uuh 289	110	Унунсептий Uus 289	111	Унунвосьмий Uuo 289	112	Унундеций Uud 289	113	Унундодий Uud 289	114	Унунтридций Uut 289	115	Унунтетрадий Uut 289	116	Унунпентадий Uup 289	117	Унунгексадий Uuh 289	118	Унунсептадий Uus 289	119	Унуноктадий Uuo 289	120	Унундекадий Uud 289

5. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.

Пе- риод	Z	Эле- мент	K			L			M			N				Пе- риод	Z	Эле- мент	K			L			M			N												
			1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	1s	2s	2p				3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f															
I	1	H	1																													19	K	2	2	6	2	6	—	1
	2	He	2																											20	Ca	2	2	6	2	6	—	2		
II	3	Li	2	1																								21	Sc	2	2	6	2	6	1	2				
	4	Be	2	2																								22	Ti	2	2	6	2	6	2	2				
	5	B	2	2	1																							23	V	2	2	6	2	6	3	2				
	6	C	2	2	2																							24	Cr	2	2	6	2	6	4	2				
	7	N	2	2	3																							25	Mn	2	2	6	2	6	5	2				
	8	O	2	2	4																							26	Fe	2	2	6	2	6	6	2				
	9	F	2	2	5																							27	Co	2	2	6	2	6	7	2				
	10	Ne	2	2	6																							28	Ni	2	2	6	2	6	8	2				
III	11	Na	2	2	6	1																						IV	29	Cu	2	2	6	2	6	10	1			
	12	Mg	2	2	6	2																						30	Zn	2	2	6	2	6	10	2				
	13	Al	2	2	6	2	1																					31	Ga	2	2	6	2	6	10	2	1			
	14	Si	2	2	6	2	2																					32	Ge	2	2	6	2	6	10	2	2			
	15	P	2	2	6	2	3																					33	As	2	2	6	2	6	10	2	3			
	16	S	2	2	6	2	4																					34	Se	2	2	6	2	6	10	2	4			
	17	Cl	2	2	6	2	5																					35	Br	2	2	6	2	6	10	2	5			
	18	Ar	2	2	6	2	6																					36	Kr	2	2	6	2	6	10	2	6			