

# Лекция 8

Электронное строение атома.  
Периодический закон. Классификация  
химических элементов.  
Распространенность химических  
элементов.

# Из истории атомно-молекулярного учения

## Философская атомистика (V в. до н. э. – XVII в.)

- зарождение атомистики как философского учения: *Левкипп, Демокрит, Платон, Эпикур* – V–III вв. до н.э.; Индия
- использование атомистики для философского объяснения свойств веществ и явлений природы: *Парацельс, Кеплер, Р. Бойль, И. Ньютон, М.В. Ломоносов* – до конца XVIII в

## Химическая атомистика (XIX – начало XX в.)

- начало экспериментального обоснования атомистики: *Дж. Дальтон, 1803*
- систематическое экспериментальное определение атомных весов: *И. Берцелиус и др., 20–40-е гг. XIX в.*
- Установление понятий атома и молекулы. Победа атомистики в химии: *Ст. Канниццаро, 1860*
- Теория химического строения: *А.М. Бутлеров, 1861*

## Физическая атомистика

- Открытие электрона: *Д. Стоней, 1891 – элементарный заряд Дж. Томсон, 1897 – частица*
- Спектроскопия: дискретные уровни энергии атомов: *вторая половина XIX в.*
- Планетарная модель атома. Экспериментальное измерение заряда ядра: *Э. Резерфорд, 1911*
- Наблюдение отдельных атомов в электронном и ионном микроскопе: *И.Мюллер, 1953*

# Из истории атомно-молекулярного учения

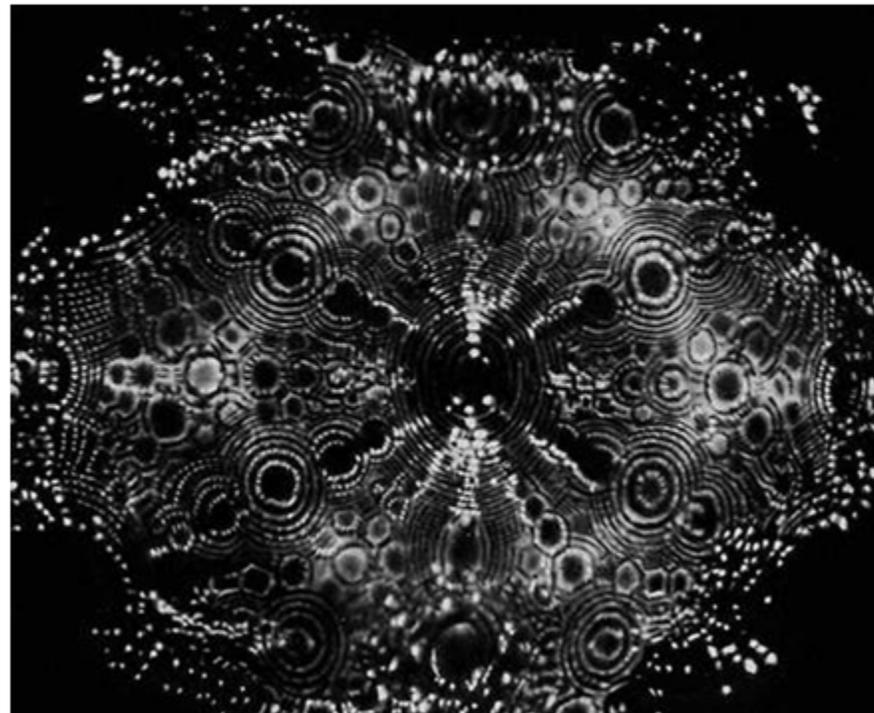
## Философская атомистика (V в. до н. э. – XVII в.)

- зарождение атомистики как философского учения: *Левкипп, Демокрит, Платон, Эпикур* – V–III вв. до н.э.; Индия
- использование атомистики для философского объяснения свойств веществ и явлений природы: *Парацельс, Кеплер, Р. Бойль, И. Ньютон, М.В. Ломоносов* – до конца XVIII в

## Химическая атомистика:

- начало эксперимента: *Дж. Даль*
- систематизация: *И. Берцелиус*
- Установление атомности химии: *Стефан Лавуазье*
- Теория химического строения: *Д. И. Менделеев*

## Первый снимок с атомным разрешением (1953)



ИСТИКИ:

ение атомных весов:

еда атомистики в

1861

нтарный заряд

омов: вторая

ое измерение

ом и ионном

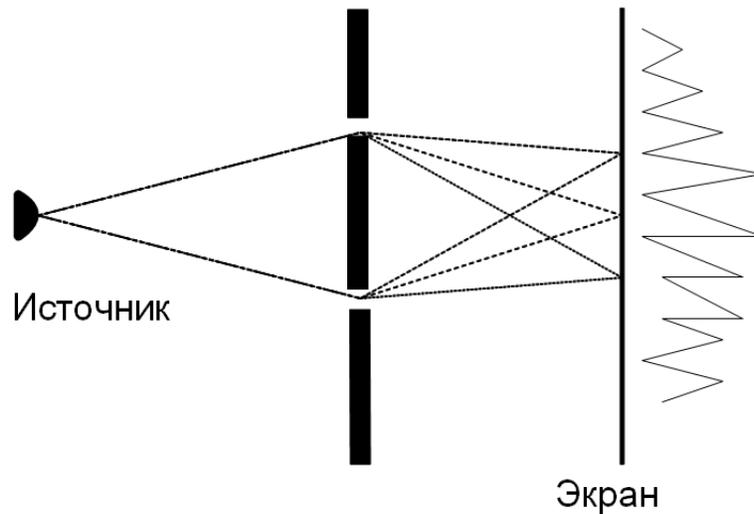
## Физическая атомистика:

- Открытие электрона: *Дж. Томсон*
- Спектроскопия: *Пол Бальмер*
- Планетарная модель атома: *Эрнст Резерфорд*
- Наблюдение квантования энергии: *Макс Планк*
- микроскопия: *В. К. Вильгельм, 1933*

## Современная теория строения атома

- Открытие квантования энергии (*Планк, 1900*)
- Применение «старой квантовой теории» для описания строения и спектра атома водорода (*Н. Бор, 1913*)
- «Волновая» («волноподобная»?) природа материи (*Л. де Бройль, 1924*)
- Построение квантовой и волновой механики (*В. Гейзенберг, 1925; Э. Шредингер, 1925–1926; учет теории относительности – П. Дирак, 1928*)
- Принцип Паули для многоэлектронных систем (*В. Паули, 1925*)
- Орбитальная модель многоэлектронных систем (*Д. Хартри, 1928; В.А. Фок, 1930*)
- Компьютер для расчета строения атома (*Д. Атанасов, 1943*)

# Движение электрона («волновые свойства»)



## Уравнения движения микрочастиц

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \quad (\text{Л. де Бройль, 1924})$$

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \cdot \left( \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \Psi = E\Psi \quad (\text{Э. Шредингер, янв. 1926})$$

# Решения уравнения Шредингера

<i>Волновые функции</i>	<i>Энергии</i>
$\Psi_1(x, y, z, t)$	$E_1$
$\Psi_2(x, y, z, t)$	$E_2$
$\Psi_3(x, y, z, t)$	$E_3$
...	...

## Движение микрочастиц и плотность вероятности

Физический смысл волновой функции:  $P(dV) = |\Psi(x, y, z)|^2 dV$

Классификация решений – «квантовые числа»:

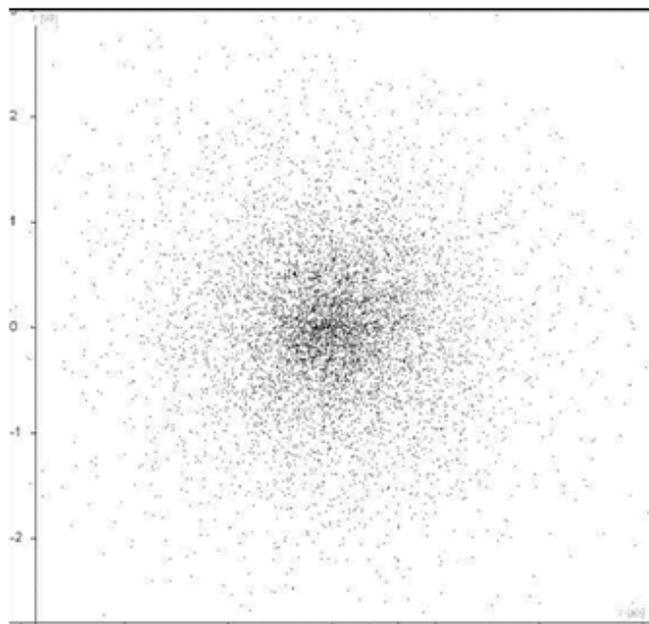
$$n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

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

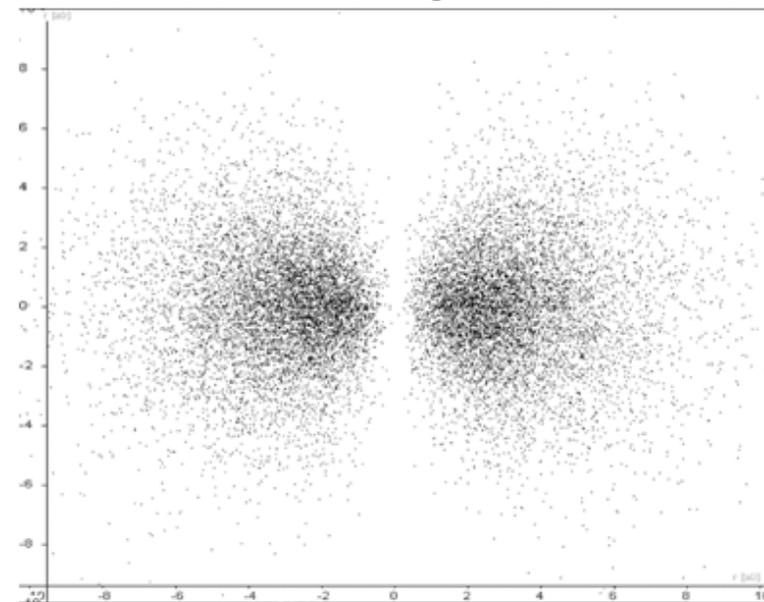
*s*    *p*    *d*    *f*    ...

# Орбитали атома водорода

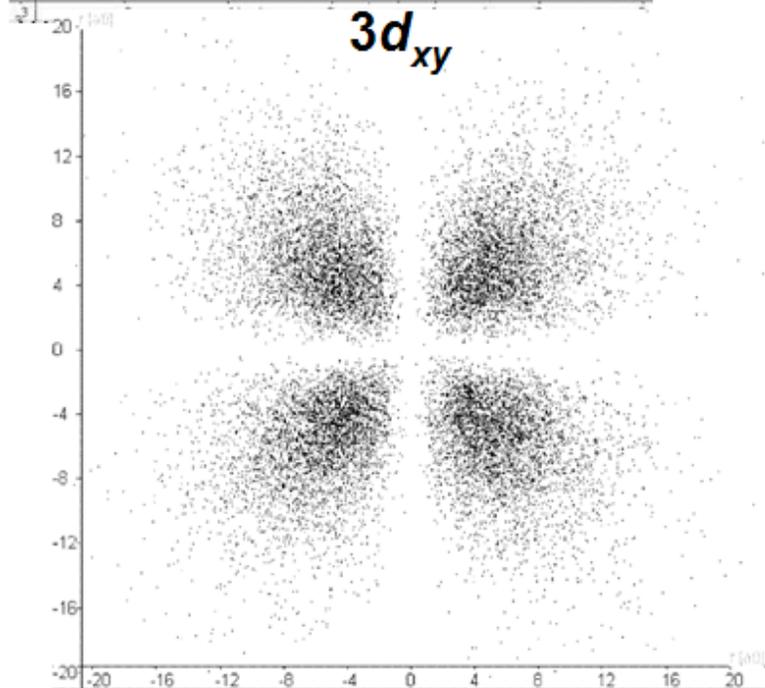
**1s**



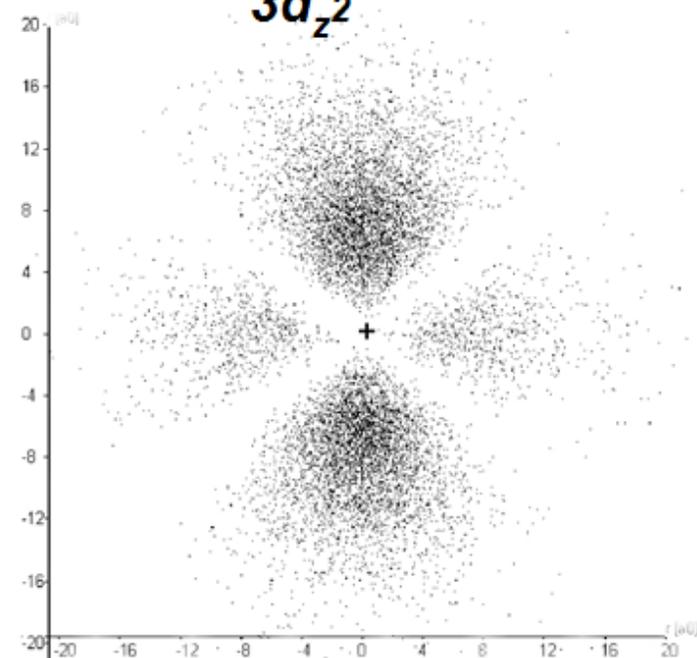
**2p**



**3d<sub>xy</sub>**

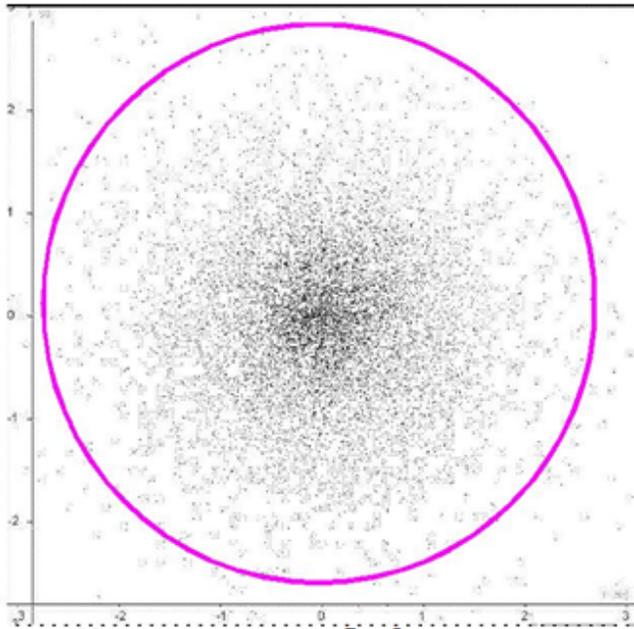


**3d<sub>z<sup>2</sup></sub>**

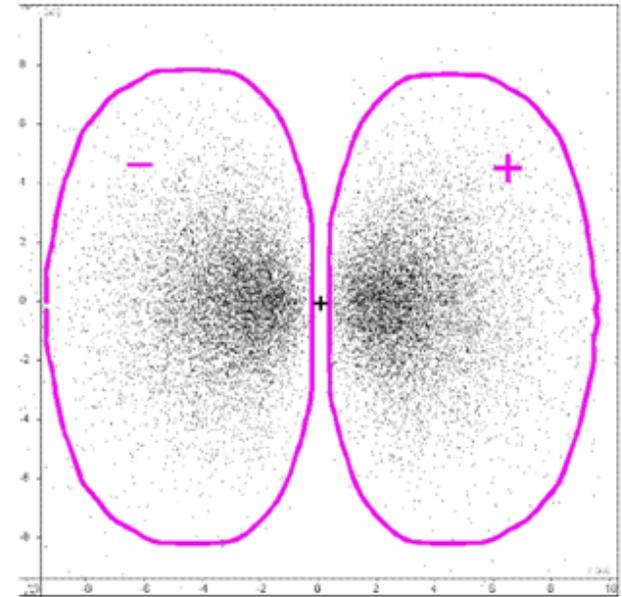


# Граничные поверхности орбиталей атома водорода

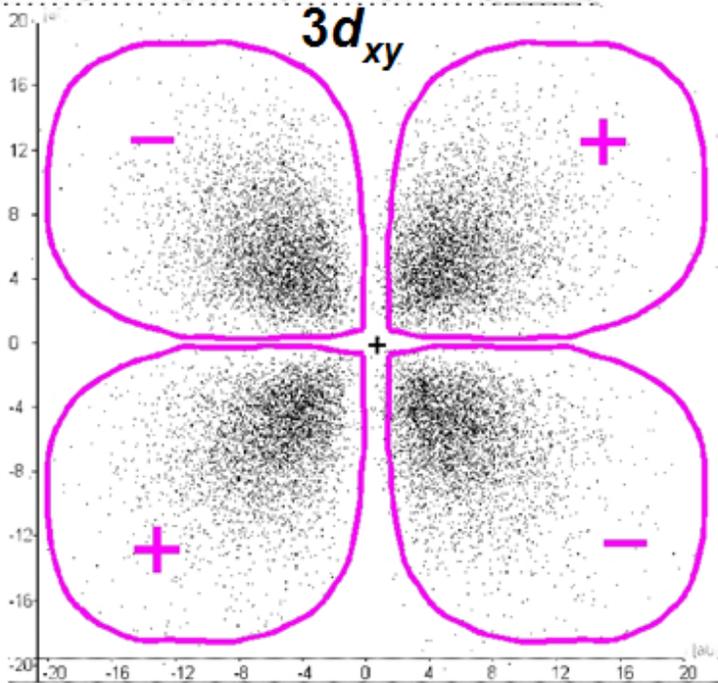
1s



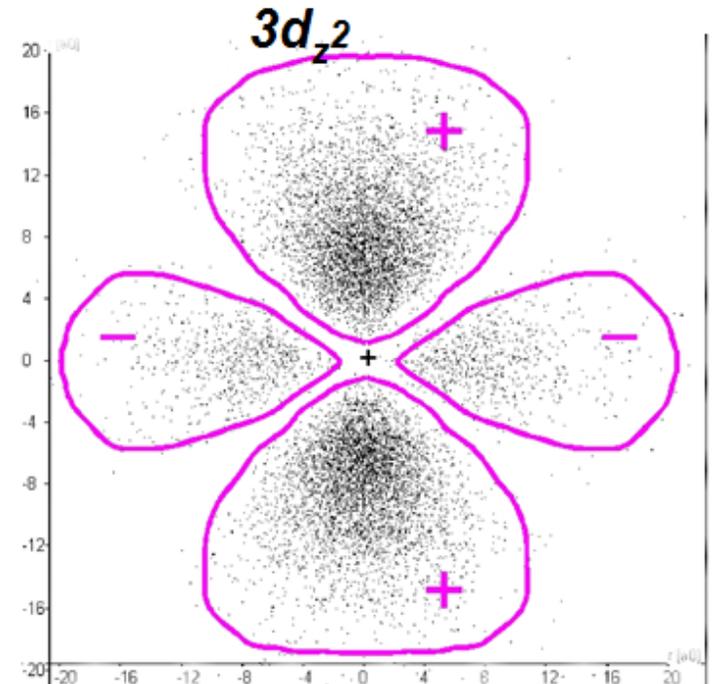
2p



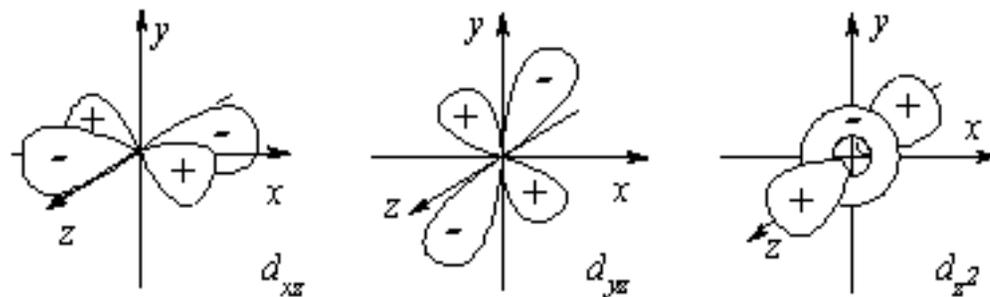
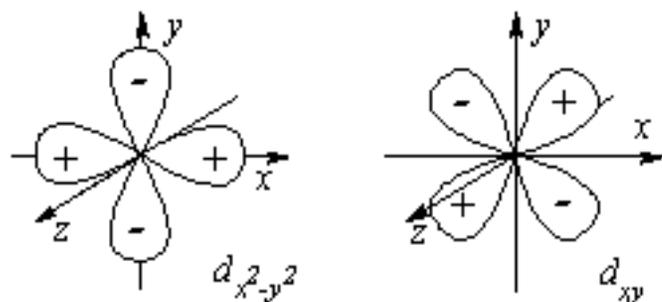
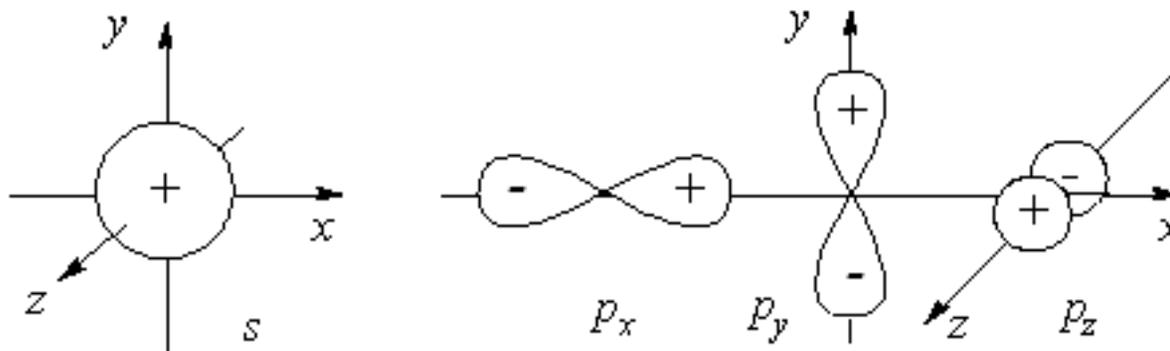
$3d_{xy}$



$3d_{z^2}$



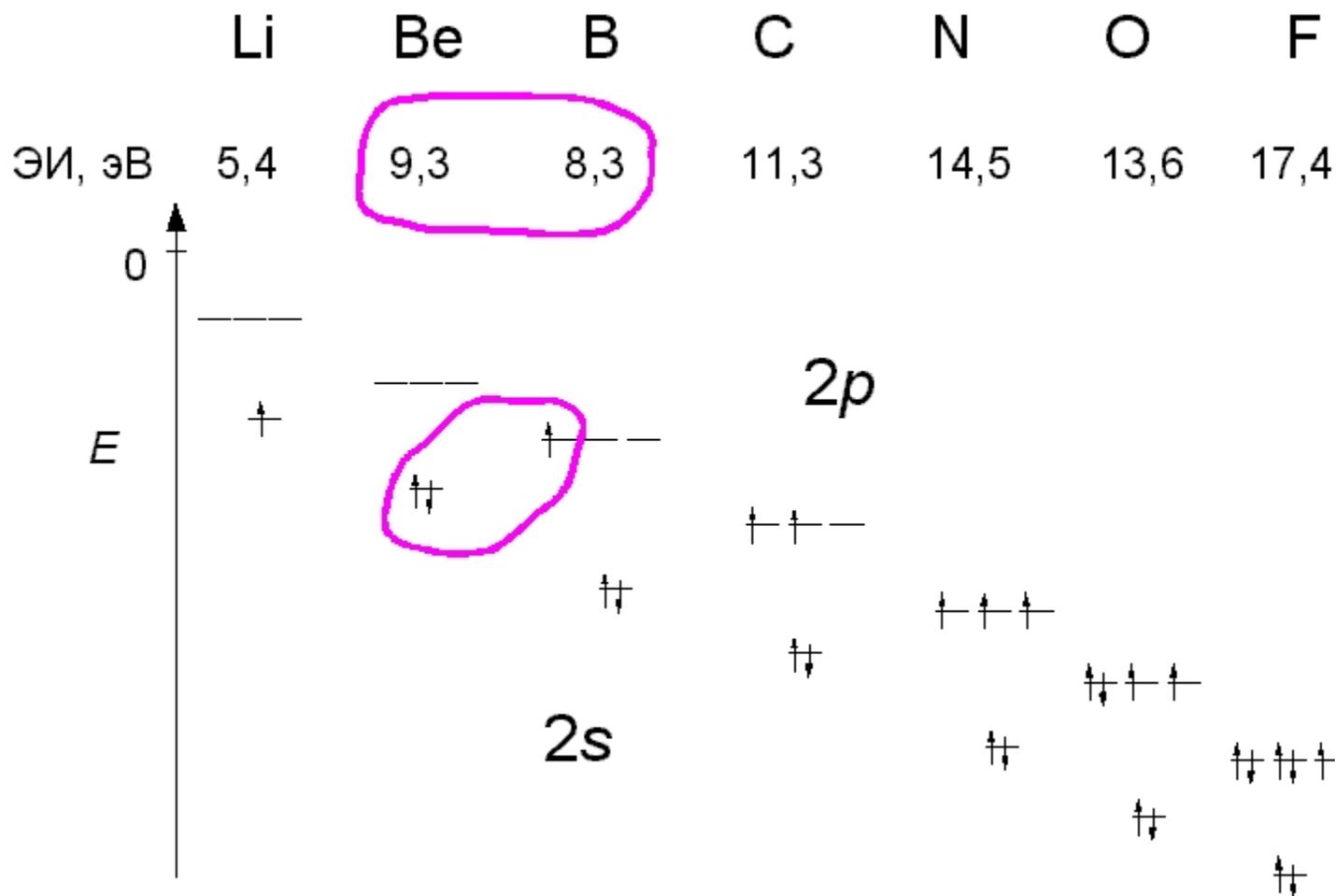
# Схемы граничных поверхностей *s*-, *p*- и *d*-орбиталей



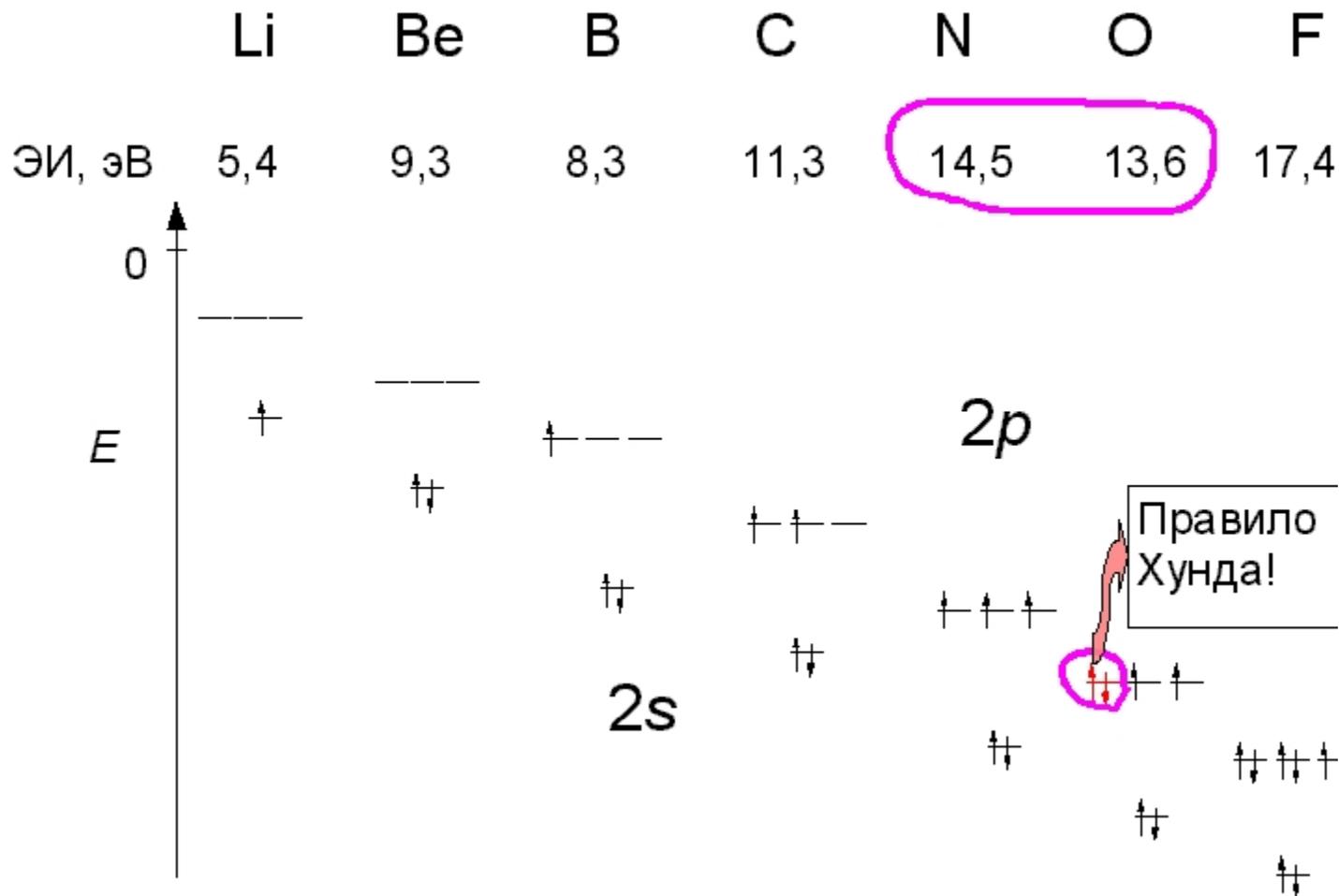
# Многоэлектронные атомы

- **Орбиталь** — *функция, приближенно описывающая состояние отдельного электрона в многоэлектронной системе*
  - *Д. Хартри, 1928; В.А. Фок, 1930*
- *Распределение электронов по орбиталям системы:*
  - *принцип Паули*
  - *правило Хунда*

# Энергии ионизации атомов элементов 2 периода

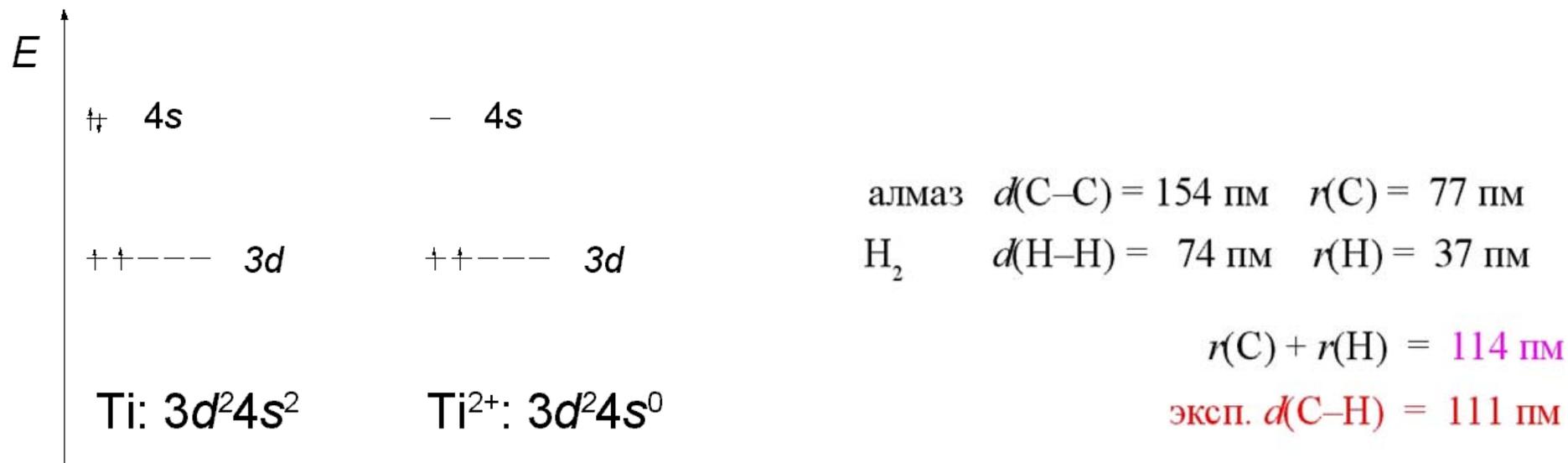


# Энергии ионизации атомов элементов 2 периода



## Электронная структура атомов переходных металлов

## Размер атомов



## Свойства атомов элементов 2 периода

	Li	Be	B	C	N	O	F
ЭИ, эВ	5,4	9,3	8,3	11,3	14,5	13,6	17,4
СЭ, эВ	0,5	-0,6	0,2	1,3	-0,1	1,5	3,5
ЭО, у.е.	1,0	1,2	2,0	2,5	3,0	3,4	4,0

# Периодическая система («длинный» вариант)

Periodic Table of the Elements  
with relative atomic masses 1993 according to IUPAC

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																														
(I)	(II)											(III)	(IV)	(V)	(VI)	(VII)	(VIII)																														
1 H 1.00794																	2 He 4.002602																														
3 Li 6.941	4 Be 9.012182	Atomic number Symbol Relative atomic mass*										5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.00674	8 O 15.9994	9 F 18.9984032	10 Ne 20.1797																														
11 Na 22.989768	12 Mg 24.3050											13 Al 26.981539	14 Si 28.0855	15 P 30.973762	16 S 32.066	17 Cl 35.4527	18 Ar 39.948																														
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	21 Sc 44.955910	22 Ti 47.867	23 V 50.9415	24 Cr 51.9961	25 Mn 54.93805	26 Fe 55.845	27 Co 58.93320	28 Ni 58.6934	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.61	33 As 74.92159	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80																														
37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.90585	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90550	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.760	52 Te 127.60	53 I 126.90447	54 Xe 131.29																														
55 Cs 132.90543	56 Ba 137.327	La- Lu	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	78 Pt 195.08	79 Au 196.96654	80 Hg 200.59	81 Tl 204.3833	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98037	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)																														
87 Fr (223)	88 Ra (226)	Ac- Lr	104 Db (261)	105 Jl (262)	106 Rf (263)	107 Bh (262)	108 Hn (265)	109 Mt (266)	**																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>57 La 138.9055</td><td>58 Ce 140.115</td><td>59 Pr 140.90765</td><td>60 Nd 144.24</td><td>61 Pm (145)</td><td>62 Sm 150.36</td><td>63 Eu 151.965</td><td>64 Gd 157.25</td><td>65 Tb 158.92534</td><td>66 Dy 162.50</td><td>67 Ho 164.93032</td><td>68 Er 167.26</td><td>69 Tm 168.93421</td><td>70 Yb 173.04</td><td>71 Lu 174.967</td></tr> <tr> <td>89 Ac (227)</td><td>90 Th (232.0381)</td><td>91 Pa (231.03588)</td><td>92 U (238.0289)</td><td>93 Np (237)</td><td>94 Pu (239)</td><td>95 Am (243)</td><td>96 Cm (247)</td><td>97 Bk (247)</td><td>98 Cf (251)</td><td>99 Es (252)</td><td>100 Fm (257)</td><td>101 Md (258)</td><td>102 No (259)</td><td>103 Lr (262)</td></tr> </tbody> </table>																		57 La 138.9055	58 Ce 140.115	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.965	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92534	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93032	68 Er 167.26	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967	89 Ac (227)	90 Th (232.0381)	91 Pa (231.03588)	92 U (238.0289)	93 Np (237)	94 Pu (239)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)
57 La 138.9055	58 Ce 140.115	59 Pr 140.90765	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.965	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92534	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93032	68 Er 167.26	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967																																	
89 Ac (227)	90 Th (232.0381)	91 Pa (231.03588)	92 U (238.0289)	93 Np (237)	94 Pu (239)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)																																	

## Физическое обоснование периодического закона

- Li .. $2s^1$     Na .. $3s^1$     K .. $4s^1$     Rb .. $5s^1$     Cs  
    .. $6s^1$
- F .. $2s^2 2p^5$     Cl .. $3s^2 3p^5$     Br .. $4s^2 4p^5$     I .. $5s^2 5p^5$
- Ti      .. $3d^2 4s^2$     Zr .. $4d^2 5s^2$     Hf .. $5d^2 6s^2$
- Ni      .. $3d^8 4s^2$     Pd .. $4d^{10} 5s^0$     Pt .. $5d^9 6s^1$

# КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

## Металлы

1. Твердые вещества (искл. Hg) с характерным блеском
2. Электропроводность
3. Пластичность
4. Степени окисления (+)
5. Восстановители
6. Оксиды и гидроксиды проявляют преимущественно основные свойства

## Неметаллы

1. Газообразные, жидкие, твердые вещества
2. Диэлектрики ( Si, Se, Te и др. полупроводники)
3. Степени окисления (+) и (-)
4. Окислители
5. Оксиды и гидроксиды проявляют кислотные свойства.