

## 2. СТРОЕНИЕ АТОМА

Атом любого элемента состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов, в целом атом – система электронейтральная. Заряд ядра равен порядковому номеру элемента в таблице Д.И.Менделеева. Состояние электрона в атоме описывается при помощи набора четырех квантовых чисел: главного  $n$ , орбитального  $l$ , магнитного  $m_l$  и спинового  $m_s$ . Определенные значения трех квантовых чисел ( $n, l, m_l$ ) описывают состояние электрона, называемое атомной орбиталью (АО).

Главное квантовое число  $n$  определяет энергию АО и номер энергетического уровня, на котором находится электрон, и может принимать целочисленные значения от единицы до бесконечности.

Орбитальное квантовое число  $l$  определяет форму АО и энергетический подуровень, оно может принимать значения от нуля до  $n-1$ . Исторически атомным орбитальям со значениями  $l$ , равным 0, 1, 2, 3 присвоены буквенные обозначения  $s$ -,  $p$ -,  $d$ -,  $f$ -. В графических схемах электронного строения атомов каждая орбиталь обозначается символом  $\square$ .

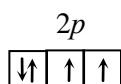
Магнитное квантовое число  $m_l$  определяет пространственную ориентацию АО и отчасти ее форму, оно может принимать значения от  $-l$  до  $+l$ .

Спиновое квантовое число  $m_s$  характеризует собственный момент импульса и связанный с ним магнитный момент и может принимать значения  $\pm 1/2$ .

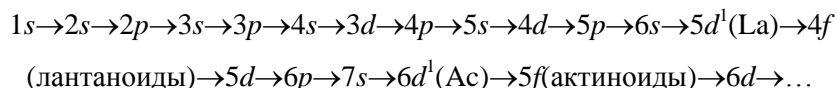
Последовательность распределения электронов в атоме по мере увеличения значений  $l$  и  $n$  выражается электронными или электронно-графическими формулами.

При заполнении АО действует **принцип Паули**, из которого следует, что в атоме не может быть двух электронов, характеризующихся одинаковым набором значений четырех квантовых чисел. Состояние электронов в атоме должно отличаться значением хотя бы одного квантового числа.

Заполнение энергетических подуровней подчиняется **правилу Хунда**, согласно которому электроны в основном состоянии в атоме располагаются так, чтобы модуль суммарного спина всех электронов подуровня был максимальным. Например, четыре валентных  $p$ -электрона атома кислорода размещаются в квантовых ячейках следующим образом:



Последовательность заполнения энергетических уровней и подуровней в атомах выражается **правилом Клечковского**: порядок заполнения определяется возрастанием суммы  $n+l$ , а при одинаковом ее значении первым заполняется подуровень с меньшим значением  $n$  в этой сумме. Например,



Принадлежность элемента к электронному семейству определяется характером заполнения энергетических подуровней:  $s$ -элементы – заполнение внешнего  $s$ -подуровня (например, литий  $1s^2 2s^1$ ),  $p$ -элементы – заполнение внешнего  $p$ -подуровня (например, фтор –  $1s^2 2s^2 2p^5$ ),  $d$ -элементы – заполнение предвнешнего  $d$ -подуровня (например, ванадий –  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^3$ ),  $f$ -элементы – заполнение  $f$ -подуровня второго снаружи уровня (например, неодим –  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^4$ ).

Для  $d$ - и  $f$ -элементов возможны отклонения от описанного способа заполнения АО – так называемый провал электрона. Это явление связано с тем, что для атома устойчивым состоянием является полностью или наполовину заполненная АО, т.е.  $d^{10}$ ,  $d^5$ ,  $f^4$ ,  $f^7$ . В ситуации, когда до достижения такого состояния не хватает одного электрона, он переходит

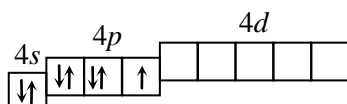
(«проваливается») с предыдущего уровня. Например, электронный паспорт серебра  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^9$  с учетом провала электрона примет вид  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^1 4d^{10}$ .

Если на валентных энергетических уровнях имеются вакантные АО, то при получении электронами порции энергии (возбуждении атома) становится возможным «разъединение» валентных электронов, т.е. их переходы с тех подуровней, где все АО заняты полностью ( $\downarrow\uparrow$ ) или частично ( $\uparrow$ ), на другие валентные подуровни того же уровня, имеющие незаполненные АО. При этом с тех АО, которые в основном (соответствующем минимальной энергии атома) состоянии были заняты полностью, «уходит» по одному электрону последовательно, т.е. возможно несколько возбужденных состояний. Возбуждение меняет валентное состояние атома (число его неспаренных электронов).

**Пример 1.** Составить электронную формулу атома брома и графическую схему заполнения электронами валентных орбиталей в нормальном и возбужденном состояниях.

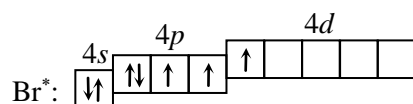
**Решение.** 1. Порядковый номер брома – 35, следовательно атом брома имеет 35 электронов. Бром находится в IV периоде периодической системы, следовательно, АО с  $n$ , равным 1; 2 и 3 заполнены полностью. Бром относится к  $p$ -элементам, следовательно, заполнен  $4s$ -подуровень. В ряду  $4p$ -элементов бром – пятый элемент, следовательно, на  $4p$ -подуровне – пять электронов. Таким образом, электронная формула брома имеет вид  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^5$ .

2. Валентными орбиталями в этом атоме являются орбитали внешнего (четвертого) электронного слоя, т.е.  $4s$ -,  $4p$ - и незаполненные  $4d$ -орбитали. Графически схема заполнения электронами этих орбиталей имеет вид



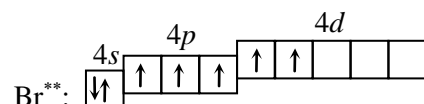
В таком состоянии бром имеет валентность 1, которой соответствуют степени окисления  $-1$  и  $+1$ .

3. При затрате некоторой энергии спаренный  $p$ -электрон перейдет на свободную  $d$ -орбиталь. В этом первом возбужденном состоянии



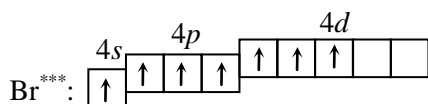
бром имеет валентность 3, которой соответствует степень окисления  $+3$ .

4. При передаче атому брома еще некоторого количества энергии следующий  $p$ -электрон также перейдет на свободную  $d$ -орбиталь. Во втором возбужденном состоянии



бром имеет валентность 5, которой соответствует степень окисления  $+5$ .

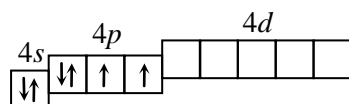
5. При передаче атому брома еще некоторого количества энергии  $s$ -электрон также перейдет на свободную  $d$ -орбиталь. В третьем возбужденном состоянии



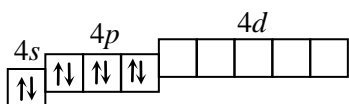
бром имеет валентность 7, которой соответствует степень окисления +7.

**Пример 2.** Составить электронные формулы атома селена в состояниях  $\text{Se}^{-2}$  и  $\text{Se}^{+4}$  и графические схемы заполнения электронами валентных орбиталей.

**Решение.** 1. Составим электронную формулу атома селена (см. пример 1):  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^4$ . Графическая схема заполнения электронами валентных орбиталей имеет вид

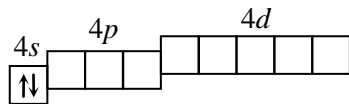


2. Для получения  $\text{Se}^{-2}$  необходимо к атому селена добавить два электрона на  $4p$ -орбиталь (согласно правилу Клечковского). Тогда графическая схема примет вид



Электронная формула  $\text{Se}^{-2} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6$ .

3. Для получения  $\text{Se}^{+4}$  необходимо убрать четыре электрона с  $4p$ -орбитали, атома селена:



Электронная формула  $\text{Se}^{+4} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^0$ .

**Пример 3.** Составить полную электронную формулу элемента, валентные электроны которого имеют конфигурацию  $3d^6$ , определить, к какому периоду таблицы Д.И.Менделеева принадлежит данный элемент.

**Решение.** Согласно правилу Клечковского  $3d$ -элементы находятся в четвертом периоде таблицы Д.И.Менделеева. На данной орбитали находится шесть электронов, значит, это шестой по счету среди  $3d$ -элементов, т.е. железо, полная электронная формула которого  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$ .

**Задание I.** Составить электронные формулы элементов, графические схемы заполнения электронами валентных орбиталей в спокойном и возбужденном состояниях, указать, к какому типу эти элементы относятся.

- |                |                 |                 |                 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. B, Al, Th.  | 9. At, Xe, Lr.  | 17. Yb, Mn, Sn. | 25. He, Hg, Gd. |
| 2. Po, Ba, Lu. | 10. Cs, U, H.   | 18. Mo, La, N.  | 26. Pt, Ne, Sm. |
| 3. Mg, Pm, Be. | 11. Cl, Cu, Bi. | 19. Pu, Ni, Sb. | 27. Ga, Ru, Ho. |
| 4. Br, Co, Hf. | 12. Na, Ac, Fe. | 20. Au, Np, Rn. | 28. Sc, Pr, Os. |
| 5. C, Tm, As.  | 13. Pb, Ra, Dy. | 21. Cr, Tl, Cm. | 29. Ar, Ir, Eu. |
| 6. Nd, Ca, V.  | 14. Ag, Re, In. | 22. Si, I, Zr.  | 30. Zn, Rh, Er. |
| 7. Ta, O, Ce.  | 15. Cd, K, Pa.  | 23. Tb, Sr, Bk. | 31. Kr, Pd, Am. |
| 8. Y, Rb, S.   | 16. P, Se, Li.  | 24. Fr, Ti, W.  | 32. Ge, Cf, F.  |

**Задание II.** Составить электронные формулы атомов в указанных состояниях и графические схемы заполнения электронами валентных орбиталей.

33. $\text{Li}^+$ , $\text{C}^{+2}$ .	41. $\text{I}^{+5}$ , $\text{Fe}^{+3}$ .	49. $\text{Zr}^{+4}$ , $\text{Pb}^{+2}$ .	57. $\text{Cd}^{+2}$ , $\text{Sn}^{+2}$ .
34. $\text{O}^{-2}$ , $\text{F}^-$ .	42. $\text{Be}^{+2}$ , $\text{Co}^{+3}$ .	50. $\text{N}^{+5}$ , $\text{Br}^-$ .	58. $\text{Nb}^{+3}$ , $\text{Hg}^+$ .
35. $\text{Na}^+$ , $\text{N}^{-3}$ .	43. $\text{Cr}^{+6}$ , $\text{Cu}^{+2}$ .	51. $\text{Ni}^{+2}$ , $\text{Cl}^{+5}$ .	59. $\text{Tl}^+$ , $\text{V}^{+3}$ .
36. $\text{Ca}^{+2}$ , $\text{C}^{+4}$ .	44. $\text{I}$ , $\text{P}^{+3}$ .	52. $\text{Se}^{-2}$ , $\text{Cs}^+$ .	60. $\text{Tl}^{+4}$ , $\text{Mn}^{+2}$ .
37. $\text{Al}^{+3}$ , $\text{B}^{-3}$ .	45. $\text{Cr}^{+3}$ , $\text{Br}^{+3}$ .	53. $\text{Te}^{-2}$ , $\text{Sr}^{+2}$ .	61. $\text{Os}^{+3}$ , $\text{Au}^{+3}$ .
38. $\text{C}^{-4}$ , $\text{Ba}^{+2}$ .	46. $\text{Ag}^+$ , $\text{Sn}^{+4}$ .	54. $\text{Bi}^{+3}$ , $\text{Si}^{-4}$ .	62. $\text{Rb}^+$ , $\text{Ce}^{+3}$ .
39. $\text{S}^{+6}$ , $\text{P}^{-3}$ .	47. $\text{Zn}^{+2}$ , $\text{S}^{-2}$ .	55. $\text{B}^{+3}$ , $\text{Sc}^{+2}$ .	63. $\text{Fr}^{+1}$ , $\text{Y}^{+3}$ .
40. $\text{P}^{+5}$ , $\text{Cl}^{-1}$ .	48. $\text{K}^+$ , $\text{Fe}^{+2}$ .	56. $\text{Mg}^{+2}$ , $\text{Mn}^{+7}$ .	64. $\text{H}^+$ , $\text{Re}^{+7}$ .

**Задание III.** Исходя из состояния валентных электронов, составить электронную формулу элемента в нулевой степени окисления. Определить, к какому периоду таблицы Д.И.Менделеева принадлежит данный элемент.

65. $4d^1$ .	73. $7s^2 6d^1$ .	81. $5d^8$ .	89. $5f^7$ .
66. $3d^{10}$ .	74. $5d^3$ .	82. $5s^1 4d^{10}$ .	90. $5d^6$ .
67. $4s^1 3d^{10}$ .	75. $6s^2 4f^2$ .	83. $5s^2 4d^{10}$ .	91. $5f^2$ .
68. $5d^2$ .	76. $6p^1$ .	84. $5s^2$ .	92. $4d^7$ .
69. $6p^2$ .	77. $5s^1 4d^5$ .	85. $5p^3$ .	93. $5d^1 4f^7$ .
70. $6s^1 4f^4 5d^{10}$ .	78. $4f^2$ .	86. $6p^4$ .	94. $4f^{10}$ .
71. $4s^2 3d^5$ .	79. $6d^1 5f^2$ .	87. $4d^6$ .	95. $4d^8$ .
72. $4s^1 3d^5$ .	80. $5s^2 4d^5$ .	88. $5d^6$ .	96. $5p^6$ .