

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

УДК 539.1.01

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ ЭЛЕКТРОНОВ В АТОМАХ

Попенко В.И.

Научно-производственная корпорация
«Киевский институт автоматики»

Анализ взаимодействия электрона и протона показывает, что на расстояниях, меньших, чем размеры атомов взаимное притяжение между ними сменяется отталкиванием. Это позволяет предположить, что в атоме водорода и других атомах электроны и ядро могут быть связаны статично. В статье рассмотрены возможные варианты устройства статичных атомов.

Ключевые слова: атом, электрон, протон, ядро, Кулоновское взаимодействие, слабые взаимодействия.

Ионизационный потенциал это энергия, которую необходимо затратить, чтобы разорвать связь электрона с атомом, или ионом (табл. [1]). Вполне обоснованно называть его энергией связи электрона в атоме, или ионе.

Стремление к состоянию с наименьшей энергией общее свойство материи. Электроны и ядра объединяются в атомы, потому что их общая энергия, при объединении в атомы, на величину энергии связи меньше, чем в свободном состоянии. Знак энергии связи отрицателен.

Энергия связи определяет строение ядер атомов и их электронного покрытия, обуславливая энергетически выгодное размещение электронов, с максимальной энергией связи, и минимумом энергии связанных частиц.

В атомной физике известно явление К захват электрона ядром, когда при определенном соотношении протонов и нейтронов в ядре, электрон К оболочки, захватывается ядром и объединяется с одним из протонов ядра в нейтрон [2].

Участие нуклонов в захвате электрона ядром состоит в предоставлении ими добавочной энергии, порядка 0.78 МэВ, на величину которой повышается энергия электрона с протоном при объединении в нейтрон, путём перераспределения энергии меж нуклонного взаимодействия.

Сила Кулоновского притяжения ядром К электрона атомов, способствующая захвату электрона, пропорциональна третьей степени заряда ядра Z , $F_{я,е} \propto eQ_я/r^2 = Z^3 e^2/a_0^2$, где: $Q_я = eZ$, $r = a_0/Z$, a_0 – радиус атома водорода.

Поэтому, начиная с изотопа натрия 22, для которого $Z^3 = 11^3 = 1331$, практически всем химическим элементам с определённым отношением числа протонов к числу нейтронов, присущи реакции К захвата электрона.

Свободный нейтрон, лишенный связи с другими нуклонами, за время, порядка 14 минут распадается на протон, электрон и антинейтрино. От неизбежного для свободных нейтронов распада, нейтроны атомного ядра удерживает связь с другими нуклонами, хотя распад свойственен не только свободным нейтронам. При некотором отношении числа нейтронов к числу протонов в ядре происходит распад нейтронов и внутри ядер, наблюдаемый, как β -распад ядра. Причи-

ной распада нейтрона на протон и электрон, является положительная энергия взаимодействия объединенных в нейтрон электрона с протоном, порядка 0.78 МэВ.

К захват электрона ядром и противоположный ему распад, нейтрона на протон, электрон, относящиеся к слабым взаимодействиям, позволяют найти зависимость энергии взаимодействия электрона с протоном $W_{p,e}$ от расстояния между ними. Для этой зависимости не имеет значения, какие причины способствуют объединению протона с электроном в нейтрон, или его распаду. Важны факты объединения их, с повышением энергии порядка 0.78 МэВ, и распада, с освобождением ~ 0.78 МэВ энергии. Поэтому, отбрасывая причины и условия сопутствующие процессам можно записать: $p + e + 0.783 \text{ МэВ} \rightleftharpoons n$.

С увеличением расстояния между распавшимися частицами, энергия их взаимодействия резко уменьшается с максимального значения +0.78 МэВ в момент начала распада, до минимального значения -13.605 эВ, на расстоянии равном радиусу атома водорода. После чего плавно, обратно пропорционально расстоянию, повышается до нулевого значения на бесконечности, образуя, таким образом, потенциальную яму глубиной -13.605 эВ, рис. 1.

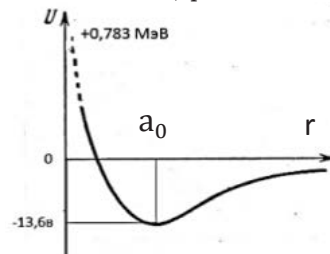


Рис. 1. Энергия взаимодействия электрона с протоном

На расстояниях атомных размеров и превышающих их, энергия взаимодействия электрона с протоном отвечает приближенной зависимости $W_{p,e} \approx -\frac{e^2}{r} \left(2 - \frac{a_0}{r} \right)$, где e – заряд электрона, a_0 – радиус атома водорода. На меньших расстояниях в формуле могут присутствовать члены более высокой степени отношения, a_0/r , $\sim (-a_0/r)^n$, $n \geq 2, 3, \dots$

Из зависимости энергии взаимодействия электрона с протоном от расстояния между ними, рис. 1, следует, что для существования атома водорода и других атомов, нет необходимости электронам вращаться, как предполагал Бор, вокруг ядра. Электрон атома водорода может статично располагаться на дне потенциальной ямы ядра с энергией связи -13.605 эВ, так же как и электроны других атомов в соответствующих им потенциальных ямах.

В силу сферической симметрии потенциалов ядра и электронов, электроны атомов размещаются не хаотически, а сферическими слоями, в местах равно действия сил притяжения ядром и взаимного отталкивания электронов, на одинаковых расстояниях в слое от ядра и одинаковых, максимально возможных расстояниях, друг от друга по сфере слоя.

Электроны K слоя размещаются в потенциальной яме, образуемой Кулоновским и, возможно, как отмечено выше, слабым взаимодействием электронов с протонами. По экспериментальным значениям энергии связи первого электрона атомов W_{K1} (табл. [1]) можно установить зависимость глубины потенциальной ямы ядра атомов от зарядового числа Z :

$$Z = 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;$$

$$W_{K1} = 13.6; 54.4; 122.42; 217.66; 340.14; 484.8; 666.8; 871.1; 1101 \text{ эВ.}$$

$$13.6/13.6 = 1^2; 54.4/13.6 \approx 2^2; 122.42/13.6 \approx 3^2; 217.66/13.6 \approx 4^2; 340.14/13.6 \approx 5^2; \dots$$

где 13.6 эВ $\approx W_H$ – энергия связи электрона атома водорода, откуда получаем:

$$W_{K1}(z) \approx W_H \cdot Z^2. \quad (1)$$

Аналогично, по экспериментальным данным можно установить зависимость энергии связи второго K электрона атомов W_{K2} от зарядового числа ядра Z :

$$W_{K2}(z) \approx W_H \cdot (Z - \delta_K)^2, \text{ где } \delta_K \approx 0.632. \quad (2)$$

Влияние второго K электрона, размещающегося вне ядра, на энергию связи электронов не адекватно уменьшению заряда ядра на единицу, от чего коэффициент компенсации им заряда ядра δ_K в формуле (2) не равен единице.

Глубина потенциальной ямы гелия равна энергии связи первого электрона $W_{He,1} = -54.40$ эВ. Энергия связи его электронов $W_{He} = -2 \times 24.58 = -49.16$ эВ.

Если бы электроны не взаимодействовали друг с другом, энергия связи каждого равнялась глубине потенциальной ямы -54.40 эВ. Разность энергии связи электронов гелия и удвоенной глубины потенциальной ямы равна энергии взаимодействия электронов $W_{ee} = -(2 \times 24.58) - (-2 \times (-54.40)) = +59.64$ эВ.

Из зависимости энергии связи электрона гелия от наличия второго электрона в слое $-54.40 + 29.82 = -24.58$ эВ, следует, что энергия связи электрона в атоме равна его энергии в потенциале ядра, плюс энергия взаимодействия между электронами слоя,

$$W_{He} = W_{a,e} + W_{e,e}. \quad (3)$$

Положительная энергия взаимодействия электронов гелия W_{ee} превышает энергию их связи W_{He} , $59.64 - 49.16 = 10.48$ эВ. При таком соотношении энергии связи и энергии взаимодействия электронов K оболочки, добавление третьего электрона в неё становится энергетически не выгодным.

Рассмотрим это на примере лития с глубиной потенциальной ямы 122.42 эВ. Энергия связи двух K электронов лития $2W_{K,Li} = 2 \times 75.62 = 151.24$ эВ. Энергия взаимодействия K электронов лития равна удвоенной глубине потенциальной ямы минус энергия связи K электронов $W_{e,e,Li} = 2 \times 122.42 - 2 \times 75.62 = 93.6$ эВ.

Общая энергия связи электронов лития равняется энергии связи K электронов и энергия L электрона $W_{Li} = 2W_K + 1W_L = 2 \times 75.62 + 5.39 = 156.63$ эВ. Если мысленно поместить L электрон лития третьим в K оболочку, энергия взаимодействия между электронами утроится: $W_{e,e}^* = W_{1,2} + W_{2,3} + W_{3,1} = 3W_{e,e}$, где $W_{1,2}$, $W_{2,3}$, $W_{3,1}$ – энергия взаимодействия, между первым и вторым, вторым и третьим, третьим и первым электронами соответственно. В результате, энергия связи его электронов будет равна $W_{Li}^* = 3W_{K1} - 3W_{e,e} = 3 \times 122.42 - 3 \times 93.6 = 86.46$ эВ. Размещение двух электронов лития в K оболочке и третьего в L оболочке энергетически выгоднее размещения трёх электронов мысленного лития в K оболочке, $W_{Li} - W_{Li}^* = 156.63 - 86.46 = 70.17$ эВ. По этой причине, два электрона лития размещаются в K оболочке, а третий в L оболочке.

Разность энергии связи граничных электронов слоёв на много превышает разницу соседних электронов в слое. К примеру, разность энергии связи граничных L и K электронов бора составляет $\Delta W_{L,K} = 259.3 - 37.92 = 221.138$ эВ, тогда как примыкающих к границе пары L электронов $\Delta W_{L,L} = 37.92 - 25.5 = 12.77$ эВ, и пары K электронов $\Delta W_{K,K} = 340.12 - 259.3 = 80.83$ эВ, т.е. $\Delta W_{L,K} \gg \Delta W_{K,K}$, $\Delta W_{L,L}$.

Заполнение K слоя начинается первым электроном атома гелия с энергией связи -54.40 эВ и завершается вторым электроном с энергией связи -24.58 эВ. Энергия связи их согласно (1) и (2) растёт с ростом заряда ядра.

Заполнение L слоя атомов начинается третьим электроном атома лития, с разностью энергии связи граничных электронов $\Delta W_{L,K} = 75.62 - 5.39 = 70.23$ эВ. Глубина потенциальной ямы W_L , в которой размещаются электроны L слоя, образуемая зарядами ядра и K электронов, зависит от зарядового числа, ядра Z :

$$W_L(z = 3, 4, 5, \dots) = 5.39; 18.21; 37.92; 64.48; 97.86; 138.1; 185.1; 239.1; \text{ эВ.} \quad (4)$$

$$W_L(z) \approx W_H \alpha_L (Z - \delta_L)^2, \text{ где } \alpha_L \approx 0.25, \delta_L \approx 1.65.$$

Влияние зарядов двух K электронов, размещающихся вне ядра, на глубину потенциальной ямы $W_L(z)$ не адекватно снижению заряда ядра на две единицы, поэтому $\delta_L \neq 2$. Коэффициент $\alpha_L \approx 0.25$ учитывает снижение потенциала ядра, за счет увеличения радиуса слоя, с ростом его номера.

С увеличением заряда ядра приращению глубины потенциальной ямы L слоя, $\Delta W_L = W_{Lz} - W_{Lz-1} \approx 12.82; 19.7; 26.56; 33.38; 40.24; 47; 54$ эВ, возрастает, практически, на постоянную величину $\Delta \Delta W_L = \Delta W_{Lz} - \Delta W_{Lz-1} \approx 7$ эВ.

Электроны L слоя неона размещаются в потенциальной яме, глубина которой равна энергии связи первого электрона слоя $W_{L1} \approx -239,1$ эВ.

Энергия связи электронов при последовательном заполнении L слоя неона, повышается: $W_L(n) \approx -(239,1; 207,2; 157,9; 126,4; 97,16; 63,5; 41,07; 21,56)$ эВ. Причина тому повышение положительной энергии взаимодействия между

электронами слоя, $W_{L,e} = W_L(n) - W_{L1} = 31.9; 81.2; 112.7; 141.94; 175.6; 198.03; 217.54$ эВ. Приращение её $\Delta W_L(n) = W_L(n) - W_L(n+1) \approx 31.9; 49.3; 31.5; 29.24; 33.66; 22.43; 19.51$ эВ для трёх и шести электронов заметно выше соседних (подчёркнутые значения).

Неравномерность приращений объясняется закономерностью изменения расстояний между электронами при заполнении слоя.

Первый электрон L слоя неона размещается на дне сферической потенциальной ямы с энергией связи $-239,1$ эВ. Второй размещается на максимальном расстоянии от первого, в диаметрально противоположной точке потенциальной ямы. Энергия взаимодействия электронов 31.9 эВ, повышает энергию связи каждого до -207.2 эВ.

Три электрона, размещаясь на максимальных возможных расстояниях, друг от друга, располагаются в вершинах равностороннего треугольника. Каждый из них взаимодействует не с одним, а двумя соседними электронами слоя. Расстояния между тремя электронами существенно меньше, чем между двумя (не диаметр потенциальной ямы, как в случае двух электронов, а порядка трети её окружности). В результате, приращение энергии их взаимодействия 49.3 эВ выше, чем для двух электронов. Энергия связи повышается на величину энергии их взаимодействия 81.5 эВ до -157.9 эВ.

Увеличение энергии взаимодействия электронов, с переходом от двух к трём электронам приблизительно равно приросту глубины потенциальной ямы, при соответствующем увеличении заряда ядра на единицу. По этой причине, энергии связи второго электрона атома бериллия и изоэлектронных ионов, (первая строчка таблицы), практически равны энергиям связи третьего электрона атома бора и изоэлектронных ионов, (вторая строчка таблицы):

Be, 9.32; *BII*, 25.15; *CIII*, 47.87; *NIV*, 77.45; *OV*, 113.87; *FVI*, 157.1; *NeVII*, 208.1; *NaVIII* 264.2; *MgIX*, 328.8; 8.29; *CI*, 24.37; *NI*, 47.42; *OIV*, 77.39; *FV*, 114.21; *NeVI*, 157.9; *NaVII*, 208.4; *MgVIII*, 265.8; *AlIX*, 330.1.

Где: *Be*, *BII*, *CIII*... – символы атомов и ионов; *9.32*, *25.15*, *47.87*... – эВ.

При почти равных энергиях связи электронов элементы нижней строчки в таблице содержат на один электрон больше, т.е. удельная энергия связи электронов нижней строчки выше, чем верхней. Это означает, что переход от двух электронов к трём в слое энергетически не выгоден. По этому, при переходе от двух электронов в слое к трём, наблюдается нарушение регулярного порядка заполнения электронных слоёв некоторых атомов.

В место перехода от двух к трём электронам в N слое скандия начинается отложенное заполнение десяти электронного слоя M оболочки.

В место перехода от двух к трём электронам в O слое иттрия начинается отложенное заполнение десяти электронного слоя N оболочки.

В место перехода от двух к трём электронам в P слое лантана присоединяется электрон в десяти электронном слое O оболочки.

В место перехода от двух к трём электронам в Q слое тория присоединяется электрон в четырнадцати электронном слое P оболочки.

Четвёртый электрон размещается на оси нормальной плоскости треугольника, в вершинах которого размещены три электрона атома бора.

Три электрона смещаются в противоположную сторону, так что все четыре электрона оказываются в вершинах правильного тетраэдра, в центре которого ядро. Расстояния между равномерно распределёнными по сфере четырьмя электронами, мало отличаются, сравнительно трёх электронов в слое. Приращение энергии взаимодействия 31.5 эВ увеличивают её до 112.4 эВ, повышая энергию связи до 126.4 эВ.

Пять электронов размещаются в вершинах шестигранника, образуемого двумя трёхгранными пирамидами, совмещённых основаниями, в центре которого ядро. Два электрона в вершинах пирамид, три в углах плоскости оснований. Электроны, размещающиеся по углам оснований, взаимодействуют с четырьмя ближними к ним, а в вершинах взаимодействуют с тремя ближними в основаниях и одним отдалённым в вершине другой пирамиды. Приращение средней энергии их взаимодействия составляет 29.28 эВ, повышая её до 141.68 эВ, и соответственно энергию связи каждого до 97.02 эВ.

Шесть электронов размещаются в вершинах гексаэдра, в центре которого ядро. Размещение шести электронов в слое плотнее, чем пяти. Каждый электрон взаимодействует с четырьмя ближними электронами и одним отдалённым. Приращение энергии их взаимодействия 33.52 эВ выше, чем для пяти электронов, повышая её до 175.2 эВ, и энергию связи каждого до 63.5 эВ. По этой причине, подобно энергии связи двух и трёх электронов в слое, энергия связи пятого электрона азота и изоэлектронных ему ионов отличается на малую величину от шестого электрона кислорода и изоэлектронных ионов:

N, O II, F III... 14.50; 35.11; 62.65; 97.02; 138.40; 186.5; 241.4; 303.1; 371.6; 447 эВ.

O, F II, Ne III... 13.61; 34.98; 63.50; 98.88; 141.23; 190.4; 246.4; 309.3; 378.9; 455 эВ.

Это же характерно для пятого электрона фосфора и шестого электрона серы, а так же изоэлектронных им ионов:

P, S II, Cl III... 10.48; 23.40; 39.90; 59.70; 82.60; 109.00; 139; 172; эВ

S, Cl II, Ar III... 10.36; 23.80; 40.90; 60.90; 84.39; 111.00; 141; 174 эВ.

Семь электронов размещаются в вершинах десятигранника, образованного двумя пятигранными пирамидами, соединённых основаниями. Электроны, размещающиеся в вершинах пирамид, взаимодействуют с пятью ближними электронами в углах оснований и одним отдалённым, расположенные в углах оснований – с четырьмя ближними и двумя отдалёнными. Приращение энергии взаимодействия между электронами 22.43 эВ увеличивает её до 197.63 эВ, повышая энергию связи каждого до 41.07 эВ.

Равнодействию сил притяжения ядром и взаимного отталкивания электронов для двух, трёх, четырёх, шести и восьми электронам в слое, с одинаковыми расстояниями между соседними электронами соответствует определенный радиус слоя. Для пяти и семи электронов, расстояния между электронами в вершинах образующих пирамид и размещённых в основаниях различаются, поэтому равнодействию сил, кроме соответствия радиуса, соответствует определённое расстояние между электронами в вершинах пирамид.

Восьмой электрон не может присоединиться шестым к пяти электронам, размещающимся в экваториальной плоскости десятигранника, образованного электронами фтора. Расстояния между

вершинами правильного шестиугольника практически равны расстоянию их до его центра. Двенадцатигранник с шестью электронами в экваториальной плоскости будет представлять плоскую фигуру с нулевым расстоянием между полярными электронами. Поэтому шесть экваториальных электронов рассредоточиваются по три в средних широтах полусфер, образуя правильный октаэдр. Каждый электрон взаимодействует с тремя ближними, на расстоянии ребра октаэдра, с тремя, расположенными по диагонали граней и одним, на расстоянии большой диагонали октаэдра. Приращение энергии взаимодействия 19.51 эВ увеличивает её до 218.4 эВ, повышая энергию связи каждого до 21.56 эВ. Приращение энергии взаимодействия меж электронами слоя, снижающей устойчивость электронной оболочки, для восьми электронов в слое имеет наименьшее значение 19.51 эВ, отчего связь восьми электронов оболочки инертных газов наиболее прочна и устойчива.

Девять электронов в слое не могут равномерно разместиться по его сфере, с одинаковой энергией взаимодействия, что приводит до выталкивания девятого электрона за пределы слоя. Рассмотрим это на примере натрия. Энергия связи его восьми L и одного M электрона составляет $W_{L,M} = 8W_L + 1W_M = 8 \times 45.298 + 1 \times 5.14 = 367.524$ эВ.

Разместим мысленно M электрон натрия девятым в L оболочку. Приращения энергии связи, с присоединением седьмого и восьмого электронов к L оболочке натрия составляют 26,2 эВ и 26,5 эВ. Прирост энергии взаимодействия в слое с присоединением девятого электрона экстраполируем 20ю эВ, что значительно меньше предыдущих 26,5 эВ. Энергия связи девяти электронов L оболочки мысленного натрия будет равна $W_L^* = 9 \times (45.298 - 20) = 227.682$ эВ.

Из сравнения энергии связи восьми электронов в L и одного M оболочках реального натрия $W_{L,M} = 367.4$ эВ с энергией девяти электронов L в оболочке мысленного натрия $W_L^* = 227.682$ эВ, следует, что размещение восьми электронов в L и одного в M оболочках реального натрия энергетически выгоднее, чем размещение девяти электронов мысленного натрия в L оболочке $W_{L,M} - W_L^* = 367.524 - 227.682 = 139.842$ эВ.

Из-за того что переход к девяти электронам в слое энергетически невыгоден, восьмым электроном заканчивается формирование внешних электронных слоёв атомов инертных газов, исключая гелий. У пяти элементов, Na, K, Rb, Cs, Fr, нарушается регулярный порядок заполнения электронного слоя, когда вместо присоединения девятого электрона в слой присоединяется первый электрон следующего слоя. По этой же причине в атомах меди, палладия, золота, сразу после восьми размещается десять электронов, минуя девять, с одновременным уменьшением на один электрон в следующем слое.

И только при временно отложенном заполнении внутреннего четырнадцатого электронного слоя, диспрозий, имеет девять, эрбий одиннадцать и иттербий тринадцать электронов, с присущей им, аналогичной девяти электронам, неоднородностью размещения. Причина тому, то, что заполнение четырнадцатого электронов N оболочки происходит при уже сформированном сле-

дующем восьми электронном слое O оболочки, имеющим устойчивую октетную конфигурацию. Отщепление электрона от неё, для баланса количества электронов, энергетически менее выгодно, чем девять, одиннадцать и тринадцать электронов в слое, с их энергетической неоднородностью.

Формирование восьми электронного слоя M оболочки, заканчивающееся атомом аргона, происходит аналогично восьми электронному L слою, с подобной зависимостью энергии связи от числа электронов в слое.

Потенциальная яма, в которой размещаются M электроны, образованная зарядами ядра, K и L электронов зависит от заряда ядра Z :

$W_M(Z = 11,12,13,\dots,19) = -(5.14; 15.03; 28.44; 45.13; 65.01; 88.0; 114.3; 143.5; 175.9)$ эВ.

Вычисленная по экспериментальным данным, глубина её W_{M1} , отвечает приближенной зависимости от зарядового числа ядра Z

$$W_{M1} = W_{H\alpha M}(Z - \delta_M)^2, \text{ где: } \alpha_M \approx 0.124, \delta_M \approx 8.8. \quad (5)$$

Влияние на глубину потенциальной ямы W_{M1} десяти зарядов K и L электронов, размещающихся вне ядра, не адекватно снижению заряда ядра на десять единиц, поэтому коэффициент компенсации ими заряда ядра не равен десяти, $\delta_M \approx 8.8 \neq 10$. Коэффициент $\alpha_M \approx 0.124$ учитывает увеличение радиуса оболочки с увеличением её номера.

Приращение глубины ямы с ростом заряда ядра возрастает примерно на 3 эВ, $\Delta W_M = W_{LM} - W_L(z-1) \approx 9.89; 13.41; 16.69; 19.68; 22.99; 26.3; 28.2; 32.4; 35.4$ эВ.

Энергия связи при последовательном присоединении электронов M слоя аргона повышается, $W_{M1} \approx -(143.5; 124.0; 91.3; 75.0; 59.79; 40.90; 27.62; 15.76)$ эВ, по причине роста энергии их взаимодействия: $W_{Mec} = W_{M1} - W_{Mn} \approx 0.0; 19.5; 52.2; 68.5; 83.71; 102.6; 115.88; 127.74$ эВ. Приращения её $\Delta W_{Mec} = W_{Mn} - W_{Mn+1} \approx 19.5; 32.7; 16.3; 15.21; 18.89; 13.82; 11.86$ эВ, для трёх и шести электронов, так же, как и L оболочки заметно выше соседних (подчеркнутые значения).

Заполнение внутренних десяти и четырнадцати электронных слоёв восемнадцати и тридцати двух электронных M, N, O оболочек может отличаться от заполнения внешних восьми электронных слоёв.

По разности энергии связи граничных электронов соседних слоёв, при наличии потенциалов всех степеней ионизации атомов, можно определить структуру всех электронных оболочек атомов. Из-за отсутствия ионизационных потенциалов внутренних восемнадцати и тридцати двух электронных M, N, O оболочек, заполнение которых может отличаться от заполнения внешних восьми электронных слоёв, проанализировать не предоставляется возможным.

Размещение валентных электронов атомов и, отвечающая им энергия связи, от лития, до неона; от натрия, до аргона; от меди, до криптона; от серебра, до ксенона следуют закономерности, подобной L оболочке неона и восьми электронного слоя M оболочки. Отличие их в том, что заполнение L и M слоёв происходит в потенциальных ямах постоянной глубины с повышением энергии связи. Глубина же потенциальных ям, в которых размещаются валентные электроны, увеличивается с ростом заряда ядра, опережая рост энер-

гии взаимодействия электронов, соответственно, энергия связи их понижается.

Ниже приведены энергии связи первых двух групп валентных электронов

$Li \div Ne$ -5.39; -9.32; -8.30; -11.26; -14.53; -13.61; -17.42; -21.56 эВ;

$Na \div Ar$ -5.14; -7.64; -5.98; -8.15; -10.48; -10.36; -13.01; -15.76 эВ.

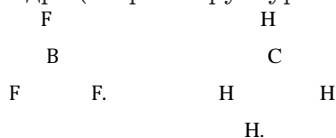
Для трёх и шести электронов энергия связи, как и для L и M электронов заметно повышается (подчеркнутые значения). Следует добавить, что закономерности изменения энергии связи электронов первой и второй группы, с изменением количества электронов, схожи, но не полностью. Причина тому – разные потенциальные рельефы дна потенциальных ям, в которых размещаются электроны. Электроны первой группы опираются на потенциал двух K электронов, второй группы – на потенциал восьми L электронов.

Геометрия размещения валентных электронов атомов подтверждается геометрией образуемых атомами молекул, в которых атомы, связанные в молекулы, размещаются в местах расположения валентных электронов.

Размещение двух электронов внешней оболочки атома бериллия в диаметрально противоположных точках сферической потенциальной ямы подтверждает форма молекулы $BeCl_2$, в которой атомы хлора связанные с валентными электронами бериллия располагаются в линию, $Cl \leftarrow Be \rightarrow Cl$.

Размещение трёх валентных электронов бора в вершинах равностороннего треугольника подтверждает строение молекулы BF_3 , в которой атомы фтора, связанные с валентными электронами бора располагаются, также в вершинах равностороннего треугольника (первая структурная формула ниже).

Размещение четырех валентных электронов углерода в вершинах правильного тетраэдра подтверждает молекула метана CH_4 , в которой атомы водорода, связанные с валентными электронами углерода, так же располагаются в вершинах тетраэдра (вторая структурная формула).



Пять валентных электронов азота размещаются в вершинах шестигранника, составленного из двух трёхгранных пирамид, соединенных основаниями. Шесть валентных электронов кислорода располагаются в вершинах гексаэдра. Семь валентных электронов фтора располагаются в вершинах десятигранника, составленного из двух пятигранных пирамид, соединенных основаниями. Восемь внешних электронов неона располагаются в вершинах октаэдра.

Аналогична геометрия застройки внешних слоёв атомов от лития до неона, от натрия до аргона, от меди до криптона от серебра до ксенона и от золота до радона. Это подтверждается подобием изменения энергии их ионизации от первого одновалентного атома в начале группы до восьми электронов атомов инертных газов в конце.

Из анализа энергии связи электронов атомов следует:

Электроны в атомах статически связаны равно действием Кулоновских сил притяжения

ядром атома и взаимного отталкивания. К связи K электронов с ядром атомов, вероятно, причастны слабые взаимодействия.

Статическая связь электронов в атомах подтверждается конфигурациями размещения электронов атомов и соответствующей им энергией связи.

Энергия связи состоит из двух слагаемых, классически зависящих от зарядов и расстояний между ними, отрицательной энергии электрона в поле ядра и положительной энергии электрона в поле соседних электронов атома. Влияние, каких либо квантовых условий и принципов на энергию связи электронов атома не наблюдается.

Если бы энергия связи, с увеличением заряда ядра и соответствующим ростом числа электронов, изменялась монотонно, заполнение электронных оболочек было бы регулярным, согласно закону $N = 2 \times n^2$, где N – число электронов в оболочке, n – номер оболочки [3]. Не равномерность изменения энергии связи с переходом от двух к трем и от восьми к девяти электронам в слое, приводит к нарушению регулярного заполнения электронных оболочек объясняемого энергетически выгодным размещением электронов, отвечающим законам электростатики.

Из таблицы ионизационных потенциалов [1] следует, что разность энергии связи электронов соседних оболочек для многоэлектронных атомов порядка десятков – сотен эВ, в то время как разность энергии связи электронов разных оболочек составляет тысячи эВ, к примеру, энергия связи электронов K, L, M, N, O, P оболочек радона, с числом электронов 2, 8, 18, 32, 18, 8, составляет, порядка 99112; 18826; 4590; 1060; 170; 10.7 эВ.

Энергия связи электронов в слоях, которые уже заполнены, возрастает пропорционально увеличению квадрата заряда ядра, с его увеличением. Энергия связи электронов, размещающихся в заполняемых в данный момент слоях и последующих за ними, из-за увеличения энергии меж электронного взаимодействия возрастает значительно медленнее. Это и приводит к значительному увеличению разности энергии связи электронов уже заполненных и заполняемых оболочек, выражаемому тысячами эВ.

Информацию о структуре внешних электронных оболочек атомов, помимо энергии связи даёт их валентность.

Максимальная положительная валентность атомов, имеющих менее восьми электронов во внешней оболочке, совпадает с числом электронов в ней: $Li(1), Be(2), B(3), C(4), N(5); Na(1) \div Cl(7); Ka(1) \div Mn(7); Cu(1) \div Se(6); Rb(1) \div Ru(8); Ag(1) \div I(7)$, где: Li, N, Na – символы химических элементов, (1), (7) – максимальная валентность и число электронов внешней оболочки.

Валентность атомов выше восьми не наблюдается, поэтому атомы с числом электронов внешней оболочки более восьми, в зависимости от энергетической выгоды связи, располагают валентностью от одного до восьми.

Несколько атомов, присоединяемых химическим элементом с высокой валентностью, испытывают взаимное отталкивание, поэтому размещаются они на максимально возможных расстояниях по сфере атома, определяя, как правило, двух или трёх валентные связи цен-

трального атома, як наприклад атоми чотирнадцяти елементів від лантана, до лютеція.

Статичність зв'язи електронів в атомах також підтверджує просторовий форма молекул,

атомів яких, зв'язані в молекули, розміщуються в місцях розташування їх валентних електронів, о чм більш детально в наступній публікації.

Список літератури:

1. Потенціали іонізації атомів і іонів. Справочник хіміка / під ред. Б. П. Нікольського – М-Л.: Хімія, 1982, т. 1, с. 325-327.
2. Широков Ю. М. і Юдин Н. П. Ядерна фізика. – М.: «Наука» 1972.
3. Попенко В. Й. Статичний атом. «Молодий вчений» 2015.

Попенко В.Й.

Науково-виробнича корпорація
«Київський інститут автоматичності»

ЕНЕРГІЯ ЗВ'ЯЗКУ ЕЛЕКТРОНІВ В АТОМАХ

Анотація

Аналіз взаємодії електрона і протона показує, що на відстанях менших за розмір атомів, взаємне тяжіння між ними змінюється відштовхуванням. Це дозволяє припустити, що в атомі водню і інших атомах електрони і ядро можуть бути пов'язані статично. У статті розглянуті можливі варіанти об'єднання статичних атомів.

Ключові слова: атом, електрон, протон, ядро, Кулонівські взаємодії, слабкі взаємодії.

Popenko V.I.

Scientifically Productive Corporation
«Kyiv Institute of Automation»

ENERGY OF CONNECTION ELECTRONS IN ATOMS

Summary

The analysis of co-operation of electron and proton shows that on certain distances an interaction between them is replaced by pushing away, that allows to supposing that in the atom of hydrogen and other atoms electrons and kernel are constrained static. The possible variants of device of static atoms are considered in the article.

Keywords: atom, electron, proton, kernel, Culon cooperation's, weak cooperation's.