

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

Формулировка периодического закона Д.И. Менделеева: свойства простых веществ, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины атомных масс элементов.

Величина положительного заряда ядра атома равна порядковому номеру элемента в периодической системе элементов Д.И. Менделеева. Атом электронейтрален, следовательно, число электронов в электронной оболочке атома равно заряду ядра или порядковому номеру элемента в периодической системе Z . Протон (р) – это частица с массой, равной 1 а. е. м., и зарядом $+1$. Нейтрон (n) – это электронейтральная частица массой, близкой к массе протона. Заряд ядра атома определяется числом протонов, которые входят в его состав.

Следовательно, число протонов в ядре атома также равно порядковому номеру элемента в периодической системе Д.И. Менделеева.

Масса атома A равна сумме масс всех частиц, которые входят в атом:

$$A = \text{масса протонов} + \text{масса нейтронов} + \text{масса электронов}.$$

Масса электронов настолько мала, что ею можно пренебречь, и масса атома определяется суммой масс его протонов и нейтронов. Общее число протонов и нейтронов называется массовым числом (A). Оно равно округленному до целого числа значению относительной атомной массы

$$A_r = Z + N,$$

где A_r – относительная атомная масса элемента; Z – число протонов (или порядковый номер элемента в периодической системе); N – число нейтронов.

Таким образом, число нейтронов в ядре атома равно разности между относительной атомной массой элемента и его порядковым номером:

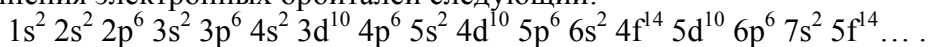
$$N = A_r - Z.$$

Разновидности атомов одного элемента, обладающие одинаковыми зарядами ядер, но разными массовыми числами, называются изотопами.

Реакции, при которых изменяется состояние атомного ядра или ядро превращается в ядра новых элементов, называются ядерными.

Электроны в атоме характеризуются разной энергией, находятся на разном расстоянии от ядра и образуют разные энергетические уровни. Электроны, которые находятся на одинаковом расстоянии от ядра, образуют один энергетический уровень. Пространство вокруг ядра, в котором наиболее вероятно нахождение электрона, называется орбиталью.

Порядок заполнения электронных орбиталей следующий:



Пример 1. Опишите химические свойства элемента с порядковым номером 23 по его положению в периодической системе.

Решение . По периодической системе определяем, что элемент с порядковым номером 23 находится в четвертом периоде и в побочной подгруппе V группы. Этот элемент – ванадий V. Электронная формула V: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$. Следовательно, V – d-элемент.

Элемент может легко отдавать 2 электрона с 4-го уровня, проявляя степень окисления +2. При этом он образует оксид VO и гидроксид $V(OH)_2$, проявляющие основные свойства.

Газообразных водородных соединений ванадий не образует, так как расположен в побочной подгруппе.

Атом ванадия может также отдавать электроны с d-подуровня предпоследнего энергетического уровня (3 электрона) и, таким образом, проявлять высшую степень окисления +5 (численно равную номеру группы, в которой расположен элемент).

Оксид, соответствующий высшей степени окисления, V_2O_5 . Этот оксид обладает кислотными свойствами. В качестве гидроксида ему соответствует неустойчивая метаванадиевая кислота HVO_3 (соли ее – ванадаты – устойчивые соединения).

Пример 2. Изменение свойств элементов в больших периодах периодической системы. Каков характер изменения свойств элементов в четвертом периоде периодической системы?

Решение. Четвёртый период содержит 18 элементов от K ($Z=19$) до Kr ($Z=36$). В атомах элементов третьего периода заполнены электронами только 3s – и 3p-орбитали третьего энергетического уровня, но десять 3d-орбиталей остаются свободными. Но у атомов элементов четвертого периода начинает заполняться электронами 4s-орбиталь (при наличии свободных 3d-орбиталей), так как ядро экранируется плотным электронным слоем $3s^2 3p^6$. Заполнение d-оболочки третьего уровня начинается с Sc ($Z=21$) $3d^1$ и заканчивается у Cu ($Z=29$) $3d^{10}$. Постепенное заполнение электронами d –орбиталей третьего уровня нарушается у атомов Cr и Cu, у которых происходит «провал» электрона в s-состоянии (с четвертого) внешнего энергетического уровня на предпоследний (третий). Десять элементов четвертого периода (Sc-Zn), в атомах которых застраивается d-оболочка предпоследнего уровня, называются переходными. После цинка до криптона продолжается заполнение p-орбиталей четвертого энергетического уровня.

В четвертом периоде между типичным металлом (K) и типичным неметаллом (Br) находится 15 элементов (а не пять, как, например, в третьем периоде), из них 10 переходных элементов. Переходные элементы, в атомах которых заполняются d-оболочки предпоследнего уровня, меньше отличаются друг от друга по свойствам, чем элементы малых периодов. В больших периодах, в частности в четвертом, ослабление металлических свойств элементов происходит медленнее, чем в малых периодах (только в конце периода находятся неметаллы). В больших периодах большинство элементов – металлы.

Пример 3. Изменение свойств элементов в главных и побочных подгруппах периодической системы. Как изменяются металлические свойства элементов в главных и побочных подгруппах периодической системы с увеличением заряда ядра атома элемента?

Решение. Главные подгруппы в группах периодической системы образуют s- и p-элементы, а побочные – d-элементы.

В главных подгруппах с увеличением заряда ядра атома элемента увеличивается радиус атома элемента, так как в этом направлении возрастает число электронных слоёв в атоме элемента. Поэтому в главной подгруппе сверху вниз нарастают металлические (восстановительные) свойства элементов.

В побочных подгруппах при переходе от первого элемента ко второму происходит увеличение радиуса атома элемента, а при переходе второго атома к третьему даже некоторое уменьшение. Это объясняется f-(лантаноидным) сжатием. Поэтому в побочных подгруппах с увеличением заряда ядра уменьшаются металлические свойства (за исключением побочной подгруппы третьей группы).

Следовательно, в пределах одной группы свойства элементов главной и побочных подгрупп различны. Различия в свойствах элементов главных и побочных подгрупп значительны для первой группы, затем они ослабевают. Так, элементы главной и побочной подгруппы третьей группы сравнительно близки по свойствам. Потом это различие в свойствах вновь усиливается и делается очень существенным в седьмой группе, где элементы подгруппы Mn сильно отличаются от галогенов.

Пример 4. Какую высшую и низшую степень окисления проявляют мышьяк, селен и бром? Составьте формулы соединений данных элементов, отвечающих этим степеням окисления.

Решение. Высшую степень окисления элемента определяет номер группы периодической системы Д. И. Менделеева, в которой он находится.

Низшая степень окисления определяется тем условным зарядом, который приобретает атом при присоединении того количества электронов, которое необходимо для образования устойчивой восьмизлектронной оболочки (ns^2np^6).

Данные элементы находятся соответственно в главных подгруппах V, VI, VII-групп и имеют структуру внешнего энергетического уровня s^2p^3 , s^2p^4 , s^2p^5 . Следовательно, степени окисления мышьяка, селена, брома в соединениях таковы:

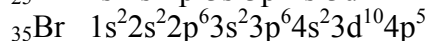
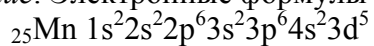
As +5 (высшая), –3 (низшая), например, As_2O_5 , AsH_3 соответственно,

Se +6 (высшая), –2 (низшая), например, SeO_3 , Na_2Se соответственно,

Br +7 (высшая), –1 (низшая), например, $KBrO_4$, KBr соответственно.

Пример 5. У какого из элементов четвертого периода марганца или брома сильнее выражены металлические свойства?

Решение. Электронные формулы данных элементов:



Марганец – d-элемент VII-группы побочной подгруппы, а бром – p-элемент VII-группы главной подгруппы. На внешнем энергетическом уровне у атома марганца два электрона, а у атома брома – семь. Атомы типичных металлов характеризуются наличием небольшого числа электронов на внешнем энергетическом уровне, а следовательно, тенденцией терять эти электроны. Они обладают только восстановительными свойствами и не образуют отрицательных ионов. Элементы, атомы которых на внешнем энергетическом уровне содержат более трех электронов, обладают определенным сродством к электрону, а следовательно, приобретают отрицательную степень окисления и образуют отрицательные ионы. Таким образом, марганец, как и все металлы, обладает только восстановительными свойствами, тогда как для брома, проявляющего слабые восстановительные свойства более свойственны окислительные функции. Следовательно, металлические свойства более выражены у марганца.

Пример 6. Символ изотопа элемента ${}_{92}^{238}\text{Э}$. Укажите: а) название элемента; б) число нейтронов и протонов, содержащихся в ядре; в) число электронов, содержащихся в электронной оболочке атома.

Решение. В символе элемента нижний индекс указывает заряд ядра, численно совпадающий с номером элемента в периодической системе элементов, верхний массовое число A , представляющее собой сумму $Z + N$, где Z – число протонов (p) в ядре, определяющее заряд ядра, а N – число нейтронов (n) в ядре.

Заряд ядра атома искомого элемента 92 численно совпадает с номером элемента в периодической системе. Элемент № 92 – уран, символ U. Число нейтронов в данном ядре $N = A - Z = 238 - 92 = 146$. Число электронов в атоме равно заряду ядра; в данном случае число электронов равно 92.

Пример 7. В природных соединениях хлор находится в виде изотопов ${}^{35}\text{Cl}$ [75,5% (масс.)] и ${}^{37}\text{Cl}$ [24,5% (масс.)]. Вычислите среднюю атомную массу природного хлора.

Решение. Относительная атомная масса элемента A_r , которая приводится в периодической системе, – это средняя величина массовых чисел природных изотопов этого элемента с учетом процентного содержания каждого изотопа. Поэтому

$$A_r(\text{Cl}) = \frac{35 \cdot 75,5 + 37 \cdot 24,5}{100} = 35,453$$

Пример 8. Период полураспада некоторого радиоактивного изотопа равен 3 часам. Какая масса его останется нераспавшейся через 18 часов, если первоначальная масса изотопа составляла 200 г?

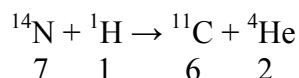
Решение. Периодом полураспада ($T_{1/2}$) называется время, за которое распадается половина исходного количества радиоактивного изотопа. В течение первого периода полураспада распадается $1/2$ часть от первоначального числа ядер изотопа N_0 и остается $1/2 N_0 = 2^{-1}N_0$ ядер. В течение второго периода распадается половина от $2^{-1}N_0$ и остается $1/2 \cdot 2^{-1}N_0 = 2^{-2}N_0$ ядер и т.д. В конце n -го периода полураспада остается $2^{-n}N_0$ ядер исходного изотопа. Аналогичное выражение справедливо для массы (m) нераспавшегося изотопа: $m = 2^{-n} m_0$, где m_0 – исходная масса изотопа.

За время хранения радиоактивного изотопа прошло $18/3 = 6$ периодов полураспада ($n = 6$). Отсюда масса нераспавшегося изотопа, оставшаяся после 18 часов хранения, равна:

$$m = 2^{-n} m_0 = 2^{-6} \cdot 200 = 200/64 = 3,125 \text{ г.}$$

Пример 9. Изотоп углерода ${}_{11}\text{C}$ образуется при бомбардировке протонами ядер атомов ${}_{14}\text{N}$. Составьте уравнение этой ядерной реакции и напишите его в сокращенной форме.

Решение. При ядерных реакциях происходит изменение состава ядер атомов химических элементов. С их помощью можно из атомов одних элементов получить атомы других элементов. Превращения атомных ядер записывают в виде уравнений ядерных реакций. При этом сумма массовых чисел и алгебраические суммы зарядов частиц в левой и правой частях равенства должны быть равны:



Сокращенная форма записи: ${}^{14}\text{N}(p, \alpha) {}^{11}\text{C}$. В скобках на первом месте пишут бомбардирующую частицу, а на втором, через запятую – частицу, образующуюся при данном процессе. В сокращенных уравнениях частицы ${}^4\text{He}$, ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{D}$, 1_0n обозначают соответственно α , p , d , n .

